
TRABAJO DE GRADO - OPCION DIPLOMADO

Nombre estudiante: Stefany Rincón Osorio

Código: 363215264

Firma:



Nombre del tutor: Sandy Paola Bello Rocha

Título: Ingeniera Agrónoma, Especialista en Gerencia de Empresas Agrarias y Agroindustriales, Maestrante en Desarrollo Rural.

Fecha de Radicación ante el comité de grado: 10-noviembre-2020

TÍTULO

Análisis Multitemporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el Municipio de Melgar - Tolima, implementando Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

INTRODUCCIÓN

La deforestación es considerada como un desequilibrio ecológico, un inhibidor que mantiene colapsada la sustentabilidad contribuyendo al cambio climático global (Miles et al., 2006). La causa principal de la deforestación en Colombia es la conversión de los ecosistemas terrestres nativos para otros usos; principalmente el agrícola, ganadero o para el crecimiento de las zonas urbanas (Alanís, 2009).

Chuvieco (1996), destaca la importancia del análisis Multitemporal con el objeto de detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio.

Un método viable y económico para mejorar la calidad y aumentar la información sobre los recursos naturales es la teledetección, el cual dentro de sus aplicaciones cuenta con el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que funciona concretamente comparando de forma matemática la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada, a partir de allí se determina que cuando hay un alto rango de actividad fotosintética, esta se asocia con vegetación densa o sana, la cual tendrá menos reflectancia en la banda roja y mayor reflectancia en el infrarrojo cercano (Toribio, 2019). A la hora de realizar un análisis comparativo de estos dos valores, se llega a detectar e identificar confiablemente la cubierta vegetal por separado de otros tipos de cobertura natural del suelo, de esta manera la aplicación de este índice se convierte en una herramienta versátil a la hora de elaborar mapas de vegetación, Gil et. al (2016) lo definen como documentar el cambio en el uso del suelo, mediante la comparación temporal de imágenes de la misma área. Para el caso específico del municipio de Melgar, Tolima en el PBOT– 2015, se mencionan las actividades económicas relacionadas con uso de suelo las cuales son la agricultura, la ganadería, la explotación minera y la urbanización, principales causantes de la degradación de la vegetación del municipio.

Según Caicedo y Peña (2017) en su estudio aplicativo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) el departamento del Tolima ha sufrido una serie de eventos climatológicos y afectaciones de tipo agrícola que han cambiado a lo largo del tiempo la vegetación presente en la región, a su vez corroboran con datos del DANE que en el año 2013

el departamento del Tolima se categorizo como el tercer productor agrícola más grande del país, produciendo un 7.3% del total del mismo, lo que nos lleva a pensar que este aumento en la producción influye en la degradación continua de los suelos debido al inadecuado uso y aprovechamiento que se le brinda, cabe resaltar que para el año 2016, el país sufrió uno de los peores fenómenos del niño, especialmente en el suroriente y parte del centro del departamento, lo cual fue devastador para la agricultura y ganadería de la zona. Estos factores son de gran importancia para tenerlos en cuenta en los análisis de la aplicación de índices de vegetación como el aplicado en este estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El informe sobre deforestación en Colombia, presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y el IDEAM, reveló que en 2019 fueron deforestadas 158.894 Ha de bosque en Colombia, 38.265 menos que en 2018, cuando se reportaron 197.159 Ha deforestadas. Flanagan y Mosquera (2016) concuerdan que la mayor parte de deforestación en el país se está produciendo en la Amazonia y en la Región andina, afectando la calidad de vida u regeneración de recursos naturales, impactando de manera inadecuada los usos de suelos en un territorio. La deforestación causa daños casi irreversibles en los ecosistemas, además de una gran pérdida de biodiversidad y aridez del terreno, se evita la fijación de dióxido de carbono (CO₂) por lo cual se contribuye al cambio climático y las regiones que sufren la deforestación tienden a generar una erosión del suelo para convertirse, finalmente, en tierras no productivas.

El caso del municipio de Melgar localizado en el Departamento de Tolima y en la Región andina con una población de 40.000 habitantes, el cual registra una población flotante

de más de 80.000 visitantes, se evidencia el deterioro de la vegetación debido a las diferentes actividades económicas presentes en el municipio (Gonzales y Pérez, 2013), a su vez la demanda de bienes y servicios urbanos, no se apropia de manera adecuada afectando los comportamientos urbanos del territorio de forma considerable en el uso del suelo.

Por ello los procesos relacionados con el cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal están asociados directamente a la exposición de las actividades antropogénicas y fenómenos naturales, lo que genera la pérdida de su capacidad, por lo tanto, se analizó cual ha sido la resiliencia del suelo ante diferentes disturbios naturales como incendios e inundaciones, los cuales provocan que la regeneración en las capas y nutrientes disminuya como también su erodabilidad descrita por los autores Ramirez et. al (2009) como “el índice de susceptibilidad del suelo a ser erosionado”, el crecimiento urbanístico es otro factor que afecta el uso del suelo, así como la falta de ordenamiento territorial.

Los estudios relacionados con los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo como lo afirma Maroneze et al, (2014) han cobrado importancia en la ingeniería ambiental, ya que han permitido evaluar las tendencias espacio-temporales de procesos como la deforestación y degradación ambiental, provocadas por desastres naturales o actividades antrópicas, Así se concluye que la implementación de sistemas de información geográfica como herramientas de automatización e integración para el manejo sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento territorial que será aplicado en el Municipio de Melgar, Tolima es de gran importancia para determinar si las actividades como ganadería intensiva, agricultura o fenómenos como incendios naturales e inundaciones están cambiando de manera drástica la calidad de la vegetación de esta región.

JUSTIFICACION

La aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Melgar, Tolima constituye una etapa fundamental para la obtención de información en base al estado de la vegetación de la región y al cambio que se ha evidenciado a través del tiempo, por lo cual el presente estudio, busca sustituir los modelos estadísticos que asumen por lo general que los cambios en el uso y cobertura son estacionarios, mientras que las herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG) representan los cambios en el tiempo y en relación con alteraciones como la superficie del territorio. Por eso es importante tener conocimiento del estado de la vegetación del municipio y esto se consigue a través de la implementación de este índice, dado que en la actualidad no se dispone de mucha información científica y ante el crecimiento exponencial de desertificación de suelos en Colombia, es una problemática a investigar por medio del uso de herramientas tecnológicas

Fue necesaria la implementación de la metodología Corine Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio colombiano, ya que es una herramienta necesaria para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra.

Corredor et al. (2011) registran que la metodología Corine Land Cover es un medio eficiente para gestionar y analizar información, en Colombia se utilizó por primera vez en el año 2004, mediante la aplicación del proyecto para la adaptación a las condiciones del país participando el IGAC, el IDEAM y CORMAGDALENA sobre el área de jurisdicción de esta última. Así mismo, se han adelantado ejercicios de actualización a los años 2005-2007 en algunos sectores del territorio nacional, pero no se han publicado ejercicios de análisis Multitemporal en el País.

En base a lo anterior, la importancia del presente proyecto tiene como objeto aportar al Municipio un estado de su cobertura respecto a la salud de su vegetación, a su vez se considera como una base estratégica para proponer recomendaciones para la reforestación de zonas en estado vulnerables o en estado de restauración ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Determinar los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el municipio de Melgar, Tolima en el periodo comprendido entre los años 2015 a 2020, a partir de herramientas SIG.

Objetivos Específicos.

- Calcular el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para determinar el estado de la cobertura vegetal en el municipio de Melgar, Tolima.
- Identificar las coberturas presentes en el municipio de Melgar, Tolima mediante la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.
- Proponer recomendaciones para la reforestación de zonas afectadas por factores naturales y actividades antropogénicas en Melgar, Tolima.

MARCO NORMATIVO

Para la implementación de la metodología Corine Land Cover se siguió la guía *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia. Escala 1:100.000* el cual se entrega como un nuevo paso en el proceso de consolidación de una propuesta metodológica para realizar la caracterización de las coberturas

naturales y antropizadas presentes en el territorio colombiano. Ésta permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer cómo está cubierto el país, a partir de la adaptación realizada de la metodología europea CORINE Land Cover a nuestro entorno.

Para la aplicación del Índice de vegetación de diferencia normalizada no se siguió una guía explícita ya que no la hay, por el contrario, se hizo uso de diversos artículos en los que se implementó este índice como lo fueron *“Análisis de las Tendencias del NDVI Con Imágenes Satelitales En Cuauhtémoc, Chihuahua (2000-2014)”*, *“Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el Distrito de Puquina, Moquegua”*, *“Análisis del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) en la Zona Oriente del Departamento Del Tolima”*

Las recomendaciones de restauración se realizaron siguiendo las guías *“Plan de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas”* expuesta por el ministerio de medio ambiente y el *“manual de reforestación de especies nativas realizado por Arriaga, et al., (1994)”*, a su vez se hizo uso de los instrumentos de gestión públicos del municipio de Melgar, Tolima como fuente de información, los cuales fueron el *“P.B.O.T plan básico de ordenamiento territorial del Melgar”* y la *“Agenda Ambiental del Municipio de Melgar”*

DISEÑO METODOLÓGICO

El presente documento se concibió desde un método cuantitativo puesto que se realiza un análisis y estudio de fenómenos que son observables a partir de la obtención de imágenes satelitales en las cuales se implementa una herramienta GIS con el fin de extraer datos estadísticos, de esta manera se presenta como un enfoque exploratorio. Cabe señalar que, en el

municipio de Melgar, Tolima no se encuentran investigaciones bibliográficas respecto a las coberturas vegetales en el territorio hace cinco años y por lo tanto este trabajo será un aporte referencial para futuros proyectos los cuales quieran analizar de manera más profunda cuales son las principales actividades que están ocasionando estos cambios, y a su vez para proponer estrategias con las cuales se permita llegar a mitigar y disminuir los impactos que se han estado presentando en materia de degradación de las coberturas vegetales del municipio.

Evaluación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es un indicador simple de biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación (Toribio, 2019). El análisis se realizó en el periodo comprendido entre los años 2015 a 2020, con la finalidad de identificar los cambios en la cobertura vegetal ocasionados por fenómenos naturales y actividades antropogénicas en el municipio de Melgar, Tolima.

Obtención de Imágenes Satelitales

Para la obtención de las imágenes necesarias para este estudio, se tuvieron en cuenta los diferentes programas en los que se permita llegar a realizar el procesamiento de estas imágenes, de este modo se decidió trabajar con imágenes del programa SENTINEL-2, el cual es una misión que pertenece a la ESA (European Spacial Agency) que forma parte del Programa Copérnico para la observación de la Tierra. El programa tiene planeados 5 misiones, donde cada uno cuenta con cierto número de satélites, la SENTINEL-2 o S2, se basa en una constelación de dos satélites. El primero S2A, fue lanzado el 23 de junio de 2015 El S2B fue lanzado el 7 de marzo de 2017 (Ruiz y Tabares, 2019). El par de satélites entrega datos de toda la superficie terrestre con un tiempo efectivo de 5 días (Borrás, 2017).

En el caso de este estudio las imágenes se recortaron al contorno del Municipio de Melgar y se realizaron las correspondientes correcciones atmosféricas de las imágenes debido a que una imagen satelital sin la corrección puede generar datos menos precisos además de que se presentaría una distorsión en la escena, este procedimiento se realizó en el software Qgis a través de la herramienta semi-automatic classification plugin.

Para la adquisición de las imágenes se hizo uso de la plataforma EOS (Earth Observing System), la cual cuenta con un almacenamiento de información geoespacial, el acceso y obtención de la información es de libre acceso, y cuenta con escenas tanto Lansat como Sentinel, las imágenes satelitales fueron obtenidas de esta plataforma ya que la plataforma oficial de imágenes sentinel-2 “Copernicus open Access Hub” no estaba disponible, es así como se hizo la adquisición de dos escenas una del 21 de diciembre de 2015 y otra del 14 de enero del 2020.

Para la elaboración de este estudio se seleccionaron las escenas sin presencia de nubosidad en el área que comprende el municipio.

Figura 1. *Imágenes Satelitales Obtenidas Desde La Plataforma EOS.*

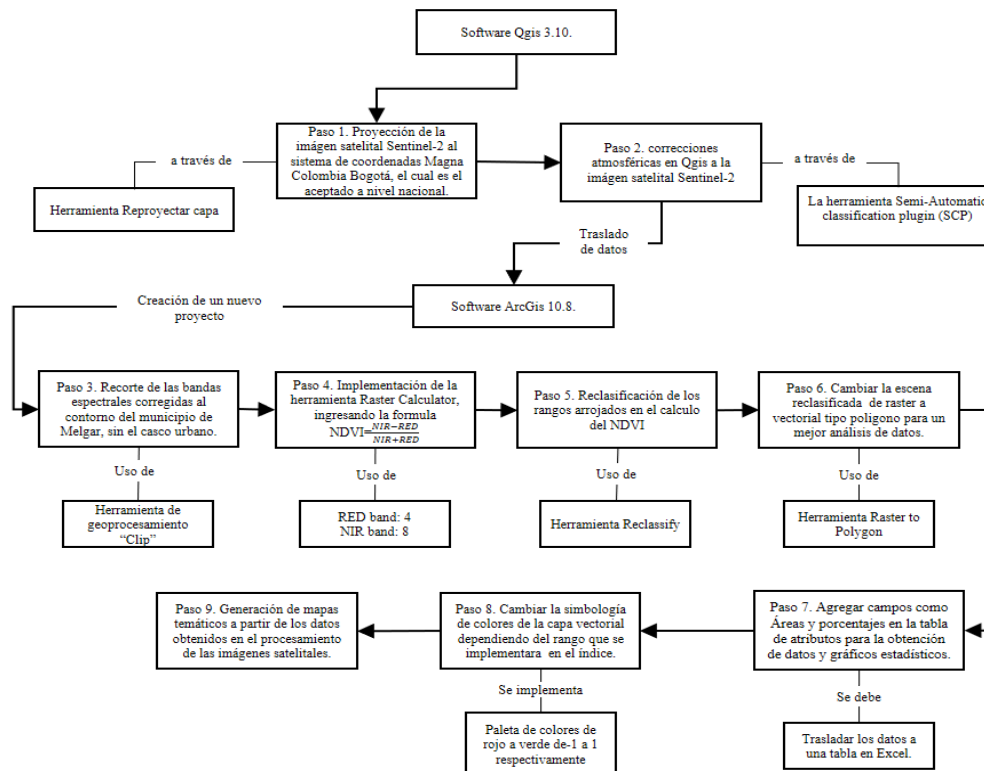


Fuente: autoría propia.

Procesamiento de las Imágenes

Para el procesamiento de las imágenes y su análisis se hizo uso de dos softwares GIS los cuales fueron ArcGis en su versión 10.8 y Qgis en su versión 3.10, el diagrama del proceso se presenta a continuación.

Figura 2. Diagrama de proceso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.



Fuente: autoría propia.

Al implementar este índice no se tuvo en cuenta toda el área del municipio, se excluyó el casco urbano, ya que al generar el índice se ampliaba el rango de vegetación muerta debido a la urbanización de la zona.

Para los resultados del cálculo del NDVI se aplicaron rangos de -1 a 1. Los valores negativos correspondieron a las áreas con superficies de agua, estructuras artificiales, rocas, nubes; en donde el suelo desnudo cae dentro de un rango de 0.1 a 0.2; las plantas siempre estarán en valores positivos entre 0.2 y 1, el dosel forestal de vegetación sano y denso estará

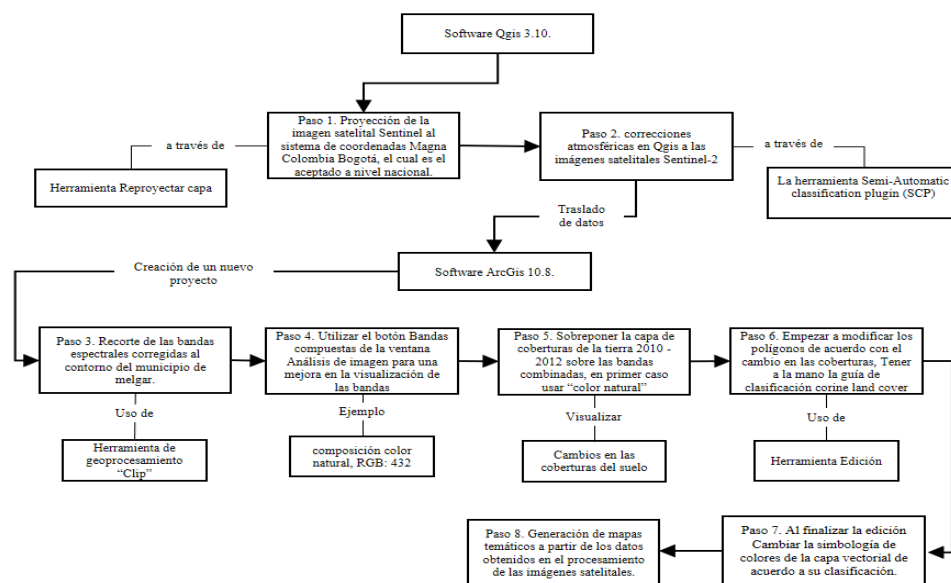
por encima de 0.5, la vegetación dispersa presenta valores dentro del rango de 0.2 a 0.5. Es importante resaltar que hay que tener siempre en cuenta la temporada a la hora de realizar el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada.

Clasificación de las coberturas existentes en el municipio de Melgar

Para la determinación de los tipos de coberturas del suelo existentes en el municipio de Melgar se realizó un mapa temático implementando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en donde se permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (Henríquez, 2017).

Para la realización de este mapa temático se adquirió de la plataforma del IDEAM la capa de coberturas de la tierra 2010 - 2012 a la cual se le realizó un recorte al contorno del municipio, el siguiente paso consistió en una actualización con una imagen satelital Sentine-2 del 2020 del 14 de enero del 2020, el método se basó principalmente en la observación y modificación de los polígonos de las coberturas presentes en el mapa desactualizado.

Figura 3. Diagrama de la metodología Corine Land Cover



Fuente: autoría propia.

Recomendaciones de Reforestación

En consecución con las recomendaciones de reforestación se implementó el uso de gestores bibliográficos como redaylc, scopus, dialnet entre otros, con el apoyo de la biblioteca virtual de la universidad de Cundinamarca con el fin de recopilar artículos, libros y manuales de reforestación en los cuales se encontraran estrategias que al implementarlas llegaran a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible y objetivos del milenio, además del uso de instrumentos de gestión públicos del municipio de Melgar en los cuales se especificaran el tipo de vegetación nativa de la región para sugerirla, además de investigar los beneficios de las mismas y verificar si cumplían con los parámetros básicos a la hora de realizar una reforestación en suelos degradados.

Los pasos que se siguieron para realizar las recomendaciones de reforestación en el municipio de melgar se encuentran a continuación:

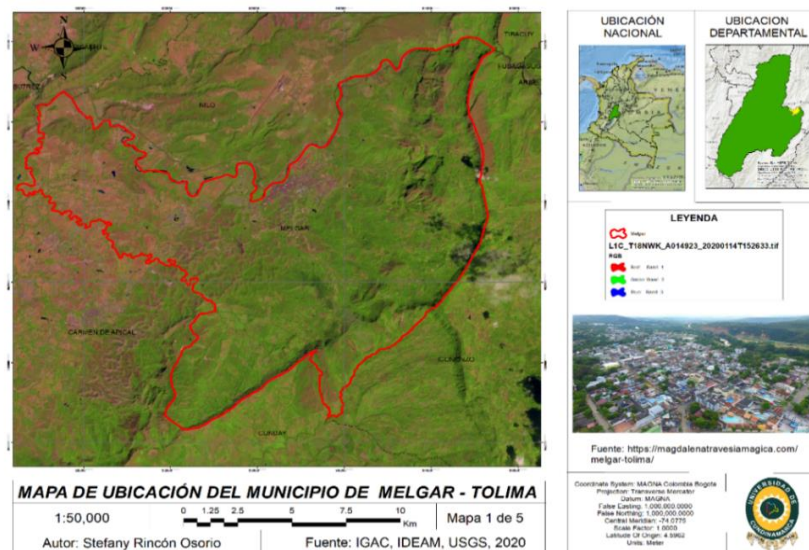
- *Paso 1.* En que sitios reforestar, teniendo en cuenta que las zonas que se elijan para reforestar deben reunir características ambientales mínimas que aseguren la viabilidad del trabajo.
- *Paso 2.* A través de los instrumentos de gestión del municipio se obtuvo información sobre las especies vegetativas nativas que se pueden llegar a implementar en una reforestación de zonas degradadas en el municipio.
- *Paso 3.* Se hizo uso del manual de reforestación de especies nativas realizado por Arriaga, et al., (1994) exponiendo los métodos de reforestación viables dependiendo de la clase de propágulo, técnica de producción que se utilice, e infraestructura necesaria. Se dividen en los que requieren o no de vivero

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ubicación Geográfica

El municipio de Melgar está ubicado en el departamento del Tolima, Colombia. Se encuentra a 98 km al suroccidente de Bogotá, capital del país y está localizado en el valle del río Sumapaz muy cerca de su desembocadura con el río Magdalena. Su clima es cálido semi-seco con una temperatura promedio anual de 28 °C. Sus límites son al norte con el departamento de Cundinamarca, al este con el municipio de Icononzo, al sur con el municipio de Cunday. El área total del municipio es de 202 km², su cabecera municipal está ubicada a 323 m.s.n.m. (Gobernacion del Tolima , 2019).

Figura 4. Mapa de Ubicación del Municipio de Melgar, Tolima.



Fuente: autoría propia.

Melgar cuenta con 48 barrios en el área urbana y por 26 veredas en el área rural, la hidrografía del municipio se caracteriza por una cuenca principal que es el río Sumapaz y por las quebradas de Apicalá y la de la Inalí, que reciben numerosos riachuelos (Alcaldía de Melgar, 2015)

Resultados Metodología Corine Land Cover

A partir de la implementación de la clasificación Corine Land Cover para el municipio de Melgar se pudieron identificar y clasificar un total de 17 coberturas incluyendo ríos, tal y como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 1. Coberturas del municipio de Melgar según metodología corine land cover 2020

CODIGO	LEYENDA	AREA Km2
111	1.1.1. Tejido urbano continuo	7.344222
112	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	2.266682
121	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0.314148
124	1.2.4. Aeropuertos	0.768449
142	1.4.2. Instalaciones recreativas	2.59761
2222	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	12.450134
231	2.3.1. Pastos limpios	63.993806
233	2.3.3. Pastos enmalezados	3.872694
242	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.954485
243	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6.355979
244	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	24.305739
314	3.1.4. Bosque de galería y ripario	2.232284
32111	3.2.1. Herbazal	4.869691

323	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	62.300443
332	3.3.2. Afloramientos rocosos	0.807183
333	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	4.056206
511	5.1.1. Ríos (50 m)	0.679441

Fuente: Autoría propia

Descripción de las coberturas con mayor área identificadas en el municipio

Tejido urbano continuo: Son aquellos espacios conformados principalmente por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano. La superficie de la unidad debe ser superior a cinco Ha (IDEAM, 2010).

Pastos limpios: Son zonas las cuales presentan hierba densa, estos campos están enlazados a la acción antrópica con el fin de ser zonas de desarrollo de ganadería, con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70% de la superficie se clasificará como pastos limpios, puede incluir presencia esporádica a ocasional de arbustales o árboles, con cubrimiento menor a 30% del área de pastos o presencia de áreas de cultivos, con cubrimiento menor a 30% del área de pasto (IDEAM, 2010).

Mosaico de pastos y cultivos: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual (IDEAM, 2010).

Mosaico de pastos con espacios naturales: se encuentra constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios

naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente y las parcelas de pastos presentan un área menor a 25 hectáreas. Las coberturas de pastos representan entre 30% y 70% de la superficie total del mosaico (IDEAM, 2010).

Vegetación secundaria o en transición: Son aquellas coberturas que han sufrido un proceso de sucesión de la vegetación natural la cual se presenta debido a la intervención o destrucción de la vegetación primaria. Se desarrollan en zonas las cuales fueron intervenidas para diversos usos como lo son áreas agrícolas abandonadas o zonas en las cuales debido a la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida (IDEAM, 2010).

Tierras desnudas y degradadas: Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas (IDEAM, 2010). Este tipo de cobertura puede estar enlazada a procesos de minería y ganadería, actividades desarrolladas en el municipio de Melgar.

Es importante resaltar que la extensión del Municipio es de 201 kilómetros cuadrados, de los cuales el 92% es rural y el restante 8% urbano. Del suelo rural, tan solo el 9,2% se dedica a la agricultura (1.854 hectáreas), el 43,8 son bosques (8.804 hectáreas) y el 47% tiene otros usos (9.445 hectáreas), especialmente para asentamientos militares (PBOT, 2015).

Como resultado final de la identificación de las coberturas según la metodología Corine Land Cover, se obtiene el mapa temático de coberturas del municipio de Melgar en donde se presentan las áreas de las coberturas delimitadas y su respectiva leyenda.

Los mapas se interpretan teniendo en cuenta la coloración que representa un rango específico, el cual cuenta con su adecuada descripción como se muestra en la *tabla 2* a continuación:

Tabla 2. Interpretación respecto a rangos y colores de los mapas de (NDVI)

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO	
Planta muerta u objeto inanimado	1	-1	- 0
Planta Enferma	2	0	- 0.33
Planta medianamente sana	3	0,33	- 0.66
Planta muy sana	4	0,66	- 1

Fuente: autoría propia.

Resultados NDVI para el año 2015

En la *tabla 3* se muestran los valores absolutos y porcentuales de superficie correspondiente a cada rango del NDVI para el año 2015 arrojados en el estudio, al no incluir el casco urbano para el año 2015 el área correspondiente fue de 19.381,5 Ha, en donde se determinó que el rango con mayor porcentaje fue el correspondiente a plantas muy sanas con un área de cubrimiento de 11.201,5 Ha que representa un 57,69% del área comprendida en este estudio del municipio de Melgar, seguido de Plantas medianamente sanas con un 37,65% con un área de 7.298,1 Ha. No obstante, las clasificaciones con menores porcentajes corresponden a plantas enfermas con un área total de 863,7 Ha representado un porcentaje del 4,45%, finalizando con plantas muertas u objetos inanimados los cuales cuentan con un área de 18,2 Ha y un porcentaje de 0,09%.

Según los datos obtenidos para el año 2015 se determinó que era mayor el porcentaje de vegetación muy sana y medianamente sana, esto quiere decir, que el municipio no contaba con altos índices de desertificación. de tal manera se determina que la influencia de las actividades antropogénicas y fenómenos naturales no se presentaban en gran magnitud (intensidad y severidad), sin embargo, hay que resaltar que estos impactos ya estaban presentes y empezaban a manifestarse a medida que transcurría el tiempo.

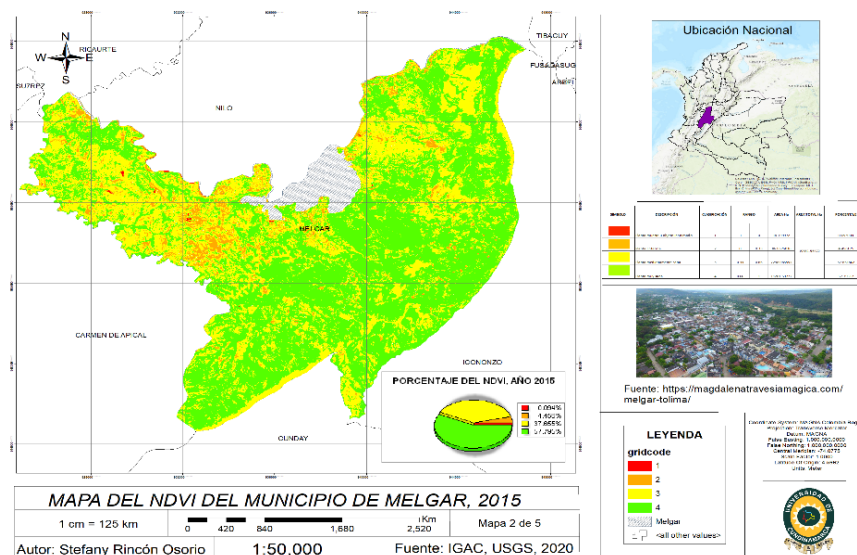
Tabla 3. *Tabla de Resultados del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para el año 2015.*

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO	AREA Ha	AREA TOTAL Ha	PORCENTAJE
Planta muerta u objeto inanimado	1	-1 - 0	18,200	19.381,55472	0,094
Planta Enferma	2	0 - 0.33	863,676		4,456
Planta medianamente sana	3	0,33 - 0.66	7.298,086		37,655
Planta muy sana	4	0,66 - 1	11.201,593		57,795

Fuente: autoría propia.

A continuación, se evidencia el primer resultado del estudio, en el cual se obtuvo un mapa temático de aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada, según la clasificación establecida junto con sus respectivos rangos, en el cual se representa la delimitación de las áreas, porcentajes y categorías junto a su leyenda. A su vez se observa el casco urbano excluido de este estudio en una coloración gris.

Figura 7. *Mapa del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del Municipio de Melgar- Tolima, 2015.*



Fuente: autoría propia.

Resultados NDVI para el año 2020

En la *tabla 4* de igual forma no se tuvo en cuenta el casco urbano actualizado para el 2020, se trabaja entonces con un área total de 19.286,2 Ha. Los datos estadísticos obtenidos arrojaron que el rango con mayor porcentaje fue el correspondiente a plantas muy sanas con un área de cubrimiento de 9.196,2 Ha que representa un 47,68% del área estudiada del municipio, seguido de Plantas medianamente sanas con un 44,53% con un área de 8.589,2 Ha. Los datos obtenidos para las clasificaciones con menores porcentajes corresponden a plantas enfermas con un área total de 1.479,5 Ha representado un porcentaje del 7,67%, finalizando con plantas muertas u objetos inanimados los cuales cuentan con un porcentaje de 0,11 % y un área de 21,3 Ha.

Tabla 4. Tabla de Resultados del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para el año 2020.

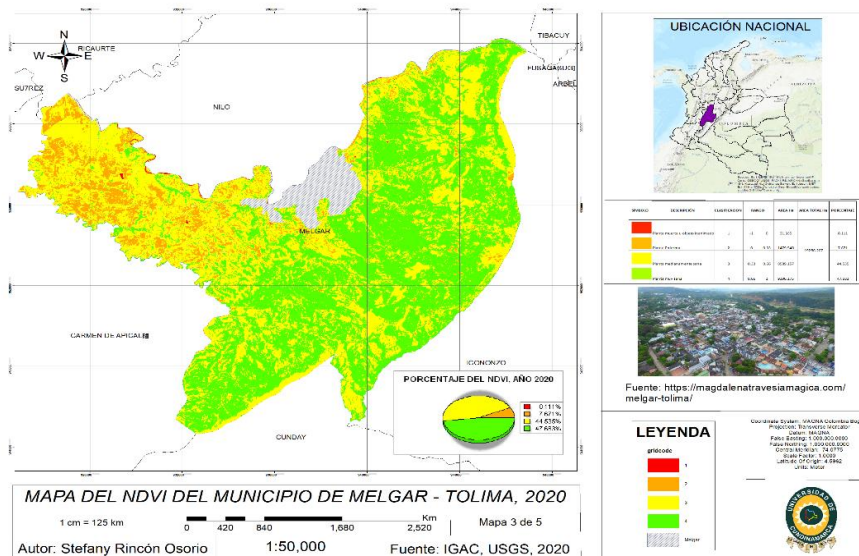
DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	RANGO	AREA Ha	AREA TOTAL Ha	PORCENTAJE
-------------	---------------	-------	---------	---------------	------------

Planta muerta u objeto inanimado	1	-1	-	0	21,335	0,111
Planta Enferma	2	0	-	0,33	1,479,540	7,671
Planta medianamente sana	3	0,33	-	0,66	8,589,157	44,535
Planta muy sana	4	0,66	-	1	9,196,175	47,683

Fuente: autoría propia.

De igual manera se obtiene el mapa temático de aplicación del NDVI para el año 2020, el cual se muestra en la *Figura 8*, siguiendo los mismos parámetros establecidos para el año 2015.

Figura 8. Mapa del NDVI del Municipio de Melgar- Tolima, 2020.



Fuente: autoría propia.

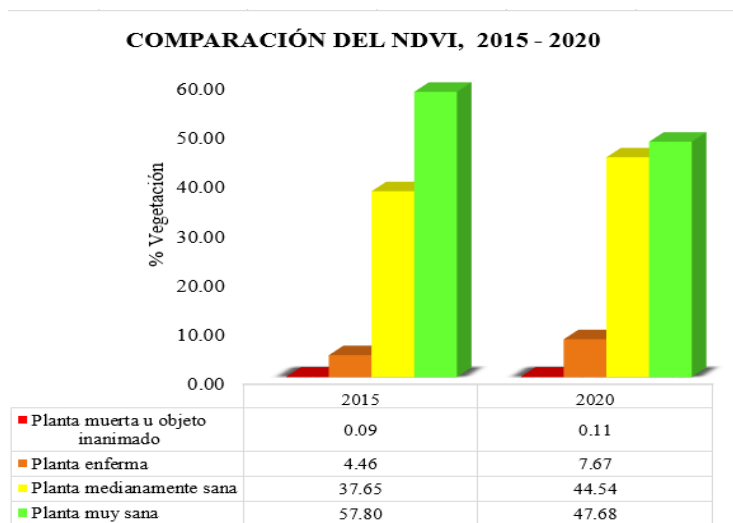
Análisis de los Cambios del NDVI entre 2015-2020 en el Municipio de Melgar

en la *Figura 9* se muestra un diagrama de barras comparativo en el cual se determina que la vegetación del Municipio de Melgar durante el periodo de estudio de 2015 a 2020, presento un aumento del 6,87% para plantas medianamente sanas, por ende, el porcentaje de

plantas muy sanas disminuyo, aunque no se presenta una gran diferencia en el lapso de tiempo estimado en vegetación muerta, esta categoría de vegetación fue la que se mantuvo más conservada en comparación con las demás categorías.

Cabe resaltar que la zona del casco urbano tuvo un cambio en área ya que en el 2015 contaba con 674,4 Ha y para el 2020 fue de 734,4 Ha, el aumento fue de 60 Ha, debido a la expansión urbana que se presenta en el municipio con gran intensidad puesto que la población flotante es continua por el turismo y se ha expandido el casco urbano por la construcción de condominios y conjuntos cerrados.

Figura 9. Comparación Del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), 2015-2020



Fuente: autoría propia.

Se determina que Melgar es un territorio en el cual las actividades de tipo antropogénicas han estado cambiando las condiciones y el estado de la vegetación de las coberturas boscosas del municipio, en donde las actividades en la zona oeste según el mapa de coberturas aplicando la metodología Corine Land Cover, indica que en estas áreas se presenta la agricultura en coberturas determinadas como mosaico de pastos y cultivos y mosaico de

pastos con espacios naturales, a su vez se evidencia la categoría tierras desnudas y degradadas de la cual las actividades que se desempeñan en esta zona son de tipo agropecuaria y extracción minera, información corroborada con la revisión del PBOT del municipio de Melgar, Tolima actualizado para el año 2015. Por otro lado, la categoría vegetación secundaria o en transición corrobora que las zonas boscosas han sufrido un proceso de sucesión de la vegetación natural la cual se presenta debido a la intervención o destrucción de la vegetación primaria, esto es un claro indicativo de que se las actividades antrópicas han estado presentándose en estas zonas.

Es importante resaltar que los mapas de índices de vegetación de diferencia normalizada, demuestran que la zona oeste del municipio es la más afectada en vegetación enferma y medianamente sana, de la cual la influencia solar puede llegar a ser una variable que está contribuyendo a que la vegetación se degrade especialmente en los meses de verano, ya que el régimen es bimodal en el departamento del Tolima, en donde se presentan dos periodos secos en junio-julio-agosto y en diciembre-enero-febrero, siendo la principal la correspondiente a mitad de año.

Tabla 5. *Características Climáticas del Municipio de Melgar, Tolima.*

Zona Climática	Características	Area (Has)	Area (Km2)
Medio ligeramente húmedo. (bosque húmedo premontano)	Altura: 900–1400 m.s.n.m Precipitación: 1500 - 1800mm Temperatura 20-24 °C Humedad relativa: 50-75% Nubosidad: alta Brillo solar: bajo	4720,20	47, 202
Cálido semihumedo (Bosque húmedo tropical)	Altura: 500–900 m.s.n.m Precipitación: 1200 - 1500mm Temperatura 24-27 °C Humedad relativa: 50-75%	4066,43	40,664

	Nubosidad: Baja		
	Brillo solar: Moderado		
Cálido semiseco	Altura: 300–600 m.s.n.m	11353,05	113,530
(Bosque seco tropical)	Precipitación: 1200 - 1500mm		
	Temperatura 26-28 °C		
	Humedad relativa: <50%		
	Nubosidad: Baja		
	Brillo solar: Moderado		

Fuente: P.B.O.T *Plan Básico de Ordenamiento Territorial para el municipio de Melgar*

Otro factor que puede influir es que, en la zona este, las temperaturas son más bajas que en la oeste, además de los cambios altura, precipitación y nubosidad como se muestra en la *tabla 5* de características climáticas del municipio de Melgar, Tolima.

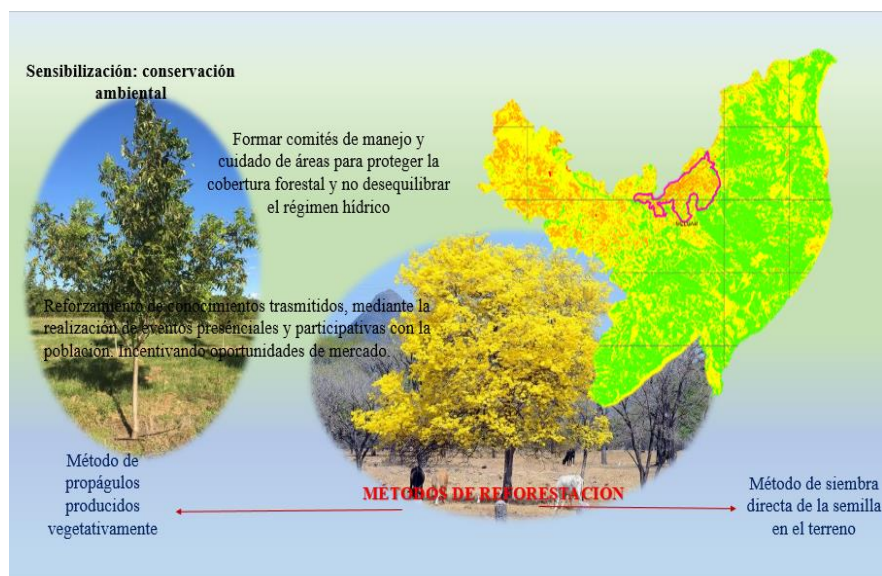
Recomendaciones de Reforestación

Las recomendaciones de reforestación estipuladas en este apartado se basan en el planteamiento de una metodología para el control de la cobertura vegetal en plantaciones que pueda ser adaptada como un conjunto de actividades que comprenden la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles en zonas que han sufrido un tipo de degradación del suelo, y de esta manera mejorar las condiciones del mismo, en donde la práctica ecológica presenta múltiples actividades planificadas en áreas para sembrar cualquier variedad de especies arbóreas, con el fin de poblar espacios en el Municipio de Melgar donde la capa boscosa se ha reducido en mayor porcentaje, especialmente en las áreas en las que el índice de vegetación de diferencia normalizada determino plantas enfermas o muertas ya que son los suelos que presentan mayor vulnerabilidad a degradarse. En la *figura 10*, se realiza una breve síntesis del fortalecimiento

de estrategias de reforestación con el objeto de integrar comunidad, espacio y economía para disminuir los índices de áreas degradadas y zonas vulnerables. La comunidad que se acoplaría a este tipo de estrategias son aquellas que desarrollan actividades agropecuarias y agrícolas, esto con el fin de sensibilizarlos y mostrar un camino sostenible en el que se interesen por el desarrollo de sus actividades económicas sin generar grandes impactos en el medio ambiente.

De acuerdo con Torres, (2001) para determinar un área mínima representativa para reforestar, se sugiere emplear la metodología planteada por Lamprecht y Matteuci (1982) basada en un número de área vs número de especies con tres tipos de parcelas; la primera parcela de 10m x 10m para la identificación de fustales, la segunda Parcela de 5m x 5m para la identificación de estratos boscosos intermedios y Parcelas de 2m x 2m para la identificación de brinzales (semilla que germina de la semilla caída del árbol). También se debe tener presente la textura del suelo en el lugar de cada levantamiento con el fin de analizar diferencias en características como profundidad efectiva, textura y pH.

Figura 10. Métodos de Reforestación.



Fuente: autoría propia.

Arriaga, et al., (1994), concuerda que en las áreas degradadas catalogadas cobertura muerta o enferma, es decir, vulnerables, se debe realizar un distanciamiento de siembra de 7m x 8m en cada área de 800 Ha con variedades como Cedro (*Cedrela montana*), Guayacán trébol (*Platymiscium hebestachyum*), Nogal (*Juglans neotropica*), Yarumo (*Cecropias spp*), palma de cuesco del Tolima (*Scheleea butyracea*), Tunos (*Miconia spp*), Chaparro (*Curatella americana*) de periodo vegetativo de mediano crecimiento, con fines de recuperación de suelos degradados. Cabe señalar, que dichas especies presentan ventajas de profundización de raíces y forman macollos y/o sepas que entretrejen y/o compactan al suelo, la caída de las hojas ayuda a fertilizar lo suelos, también mantiene y/o retiene el agua y humedad (Nepstad et al., 2013). Rico y Hidalgo, (2008) presentan como sustento que de 142.857 unidades de las plantas usadas en la reforestación un 10% presentaría mortalidad en un área de 800 Ha.

De acuerdo con el manual de reforestación de especies nativas realizado por Arriaga, et al., (1994) el Método de propágulos producidos vegetativamente, especificado en la figura 10, se puede utilizar en los casos en que se cuenta con especies que se propagan vegetativamente, es decir, cuando es posible obtener, a partir de las partes vegetativas de una planta, un individuo independiente, esto se recomienda particularmente cuando existen problemas para obtener plantas a partir de semillas. Una de las ventajas que permite es contar con plantas de características conocidas, ya que los propágulos presentan las mismas características que la planta que proporcionó la estaca, lo que permite obtener plantas con características deseables. Otro método también conocido es la siembra directa de la semilla en el terreno; para su empleo se necesita que el suelo cuente con buenas características (textura franca, buena aireación, permeabilidad al agua y profundidad de por lo menos 50 cm), una buena preparación (removido y libre de malezas), un suministro adecuado de agua por lo

menos en la época de germinación y establecimiento; en Colombia se practica esta metodología en la temporada de menos lluvia, una ventaja de presentar climas bimodales.

La plántula debe prevalecer con cuatro meses de lluvia, antes de que llegue la temporada adversa (sequía). Adicionalmente, se debe conocer el porcentaje de germinación de la semilla antes de la siembra, para así poder estimar la cantidad de semilla que se requerirá según la densidad deseada.

El practicar este método en el Municipio de Melgar, radica en que se evita la producción de plantas en vivero en el caso de la siembra directa de la semilla en el terreno, ya que, las plantas que se obtienen de esta forma presentan mejor arraigo que las que son trasplantadas. Una opción viable es que las plántulas que se obtengan de la reforestación se pueden trasplantar en los sitios en donde la germinación no haya sido muy exitosa. Se sugiere, que al realizar el proceso germinativo se debe conocer las especies que se introducirán, y los requerimientos para su germinación y realizar un control para conocer la disponibilidad de hojas, flores y frutos a lo largo del año, durante un periodo de 3 años un seguimiento de las especies en cuestión, en diferentes condiciones ambientales y antrópicas como la disponibilidad de recursos para el consumo humano, urbanización y del ganado.

Finalmente y en resumen se sugiere que la Restauración Vegetal de un área degradada, debe partir de la identificación de las principales especies que caracterizan ecológicamente las coberturas vegetales presentes en la zona (Organización de Naciones Unidas., 2018), para que con ellas se puedan efectuar las diferentes revegetalizaciones en las proporciones y relaciones específicas, que promuevan la recuperación adecuada según las particularidades de la zona. En el Municipio de Melgar, para constituir una visión más amplia y un crecimiento en la periferia del terreno se debe realizar una inversión en cercas vivas de especies con crecimiento

arbustivo, este tipo de cerca se hace sembrando a altas densidades especies espinosas y/ o arbustivas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Lo más recomendable para establecerlas es usar especies nativas, como especies capaces de adaptarse a la zona en cuestión.

CONCLUSIONES

Se puede destacar que el índice de vegetación de diferencia normalizada es de gran utilidad y aplicabilidad para la determinación del estado de las coberturas vegetales, a su vez es importante resaltar la eficacia de las nuevas tecnologías y software que nos permiten desarrollar nuevos procedimientos y determinar parámetros como el estado de la vegetación de una zona sea agrícola, o boscosa.

Es importante tener en cuenta a la hora de adquirir las imágenes satelitales para un estudio que involucre la aplicación del NDVI, se debe cerciorar que las tomas hayan sido capturadas en los periodos secos de las zonas de estudio, esto para disminuir los errores debido a la presencia de alta nubosidad y a su vez se deben hacer las debidas correcciones atmosféricas en este caso en imágenes Sentinel-2 para que a la hora de la obtención de datos estos sean mucho más precisos cercanos a la realidad.

Así mismo, la realización de un estudio aplicando este índice permite comprender los cambios de un territorio, las alteraciones en sus diferentes dinámicas y cómo estas han influido en las transformaciones del lugar, de igual forma este método de evaluación aporta la información necesaria para la toma de decisiones a la hora de mejorar las herramientas de

gestión y planificación de un territorio con el fin de restablecer las condiciones de los ecosistemas que han sido impactados por actividades antrópicas o factores naturales.

En el caso del municipio de Melgar, Tolima a partir de la aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la metodología Corine Land Cover se determinó que las actividades antropogénicas como ganadería y agricultura e incluso la expansión urbana han sido los impulsores de los cambios desfavorables de las coberturas del suelo, ya que de la extensión total del Municipio (201 km²), el 92% es rural y el restante 8% urbano, del suelo rural, el 9,2% se dedica a la agricultura (1.854 Ha), el 43,8 son bosques (8.804 Ha) y el 47% tiene otros usos (9.445 Ha), especialmente para asentamientos militares y esto hablando de un documento que aún no ha sido actualizado al actual año 2020 (PBOT, 2015).

Se habla de las actividades agropecuarias como los impulsores de los cambios desfavorables de las coberturas del suelo del puesto que han llegado a degradarlas de manera notable como se observó en el periodo de tiempo estudiado, el cual demostró que en el paso de esos 5 años la vegetación ha sufrido un desmejoramiento en su salud.

Fue de gran importancia sugerir recomendaciones de reforestación como las mencionadas en esta investigación para que en futuros proyectos aplicando estas sugerencias se pueda llegar a mitigar y disminuir el cambio desfavorable de las zonas boscosas del municipio de Melgar, Tolima.

BIBLIOGRAFÍA

Alanís, G. (2009). *Libro verde*. el patrimonio natural de México, amenazas y herramientas para resolverlas. pp. 89.

http://centro.paot.org.mx/documentos/fmcn/Libro_Verde_final.pdf

Alcaldía de Melgar, (2015). Revisión y ajuste P.B.O.T. plan básico de ordenamiento territorial de melgar. Atributo suelo.

Alarcón Hincapié, J.C. (2008). *Mapa de Cobertura de la Cuenca Magdalena-Cauca*.<http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=11419>

Arriaga, V, Cervantes, V, Vargas, A, (1994) *manual de reforestación de especies nativas*, Journal of Visual Languages & Computing, Universidad autonoma de mexico, Río Elba N° 20. Colonia Cuauhtémoc, 186
<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/164>

Borràs, J. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista De Teledetección*, (48), 56-66.
<https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/7133>

Condori Luna, I. J. Loza Murguía, M. G. Mamani Pati, F. y Solíz-Valdivia, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 - 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9 (1), 25–44.
<https://doi.org/10.36610/j.jsars.2018.090100025>

Cuervo, G. y Gómez, C. (2003). *La desertificación en Colombia y el cambio global*. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (12) 121-134

Chuvieco, E. (1996) *Fundamentos de Teledetección espacial*. 3ª edición revisada. Ediciones Rialp, Madrid. España; pp. 568.

Caicedo, D. y Peña, K. (2019). *Análisis del índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI) en la zona oriente del departamento del Tolima*. (Tesis de pregrado en

Ingeniería Civil). Universidad de Ibagué, Tolima, Colombia.

<https://hdl.handle.net/20.500.12313/1250>

Eduardo, C. Torres, T. (2001). Estudio básico de restauración vegetal en áreas de subpáramo degradadas de la vereda Monquentiva- Guatavita. *Colombia Forestal*, 7 (15), 116–123. <https://doi.org/10.14483/2256201X.3212>

Earth Observing System. (1 de 3 de 2019). Earth Observing System. Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <https://eos.com/>

ESRI . (2016). <http://desktop.arcgis.com>. Recuperado el 14 de 1 de 2019, de <http://desktop.arcgis.com: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-of-orthorectifying-a-raster-dataset.htm>

Gil-Leguizamón, P. A., & Morales-Puentes, M. E. (2016). *Información espacial, herramientas de análisis en la transformación de las coberturas vegetales*. *Ingeniería e Innovación*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.21897/23460466.1176>

Hernández Atencia, Y. (2013). Caracterización y análisis de la amenaza y la vulnerabilidad física por taludes inestables en la microcuenca de la Quebrada Cay, Ibagué, departamento del Tolima. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 111-128. <https://doi.org/10.18359/rcin.1800>

Henriquez Avilez, E. M. (2017). Desarrollo De Una Solución De Captura Y Almacenamiento De Información En Un Sistema Sig Para La Aplicación De Una Metodología De Corine Land Cover Basada En Imágenes De Drones (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones).

-
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, D. C.: 0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Maroneze, MM, Zepka, LQ, Vieira, JG, Queiroz, MI y Jacob-Lopes, E. (2014). *Tecnología de eliminación de fósforo: Gestión de elementos en residuos industriales*. Medio ambiente y agua: una revista interdisciplinaria de ciencias aplicadas, 9 (3), 445-458.
- Mena, A.V. (1994). *Manual de Reforestacion de Especies Nativas*. Journal of Visual Languages & Computing, Universidad autonoma de mexico 1ª edición, pp. 55.
<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/164>
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., & Gordon, J. E. (2006). *A global overview of the conservation status of tropical dry forests*. Journal of Biogeography, 33(3) 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Política para la Gestión Sostenible del Suelo*.
http://www.andi.com.co/Uploads/politica_para_la_gestion_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf
- Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible (2015). Plan de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas. <https://cutt.ly/EhokdFQ>
- Nepstad, D. C., Bezerra, T., Stickler, C., y Mcgrath, D. G. (2013). *Deforestación en colombia: Aumentar la producción terrestre*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023780/Caracterizacion.pdf>
- Organización de Naciones Unidas. (2018). *Los objetivos de desarrollo del milenio*. ¿Qué son? Naciones Unidas. República Dominicana.

<http://portal.onu.org.do/republica-dominicana/objetivos-desarrollo-milenio/7>

Rico, R., y Hidalgo, G. (2008). *El futuro de los energéticos en la globalización*.

Análisis Económico, XXIII(54), (pp. 305–327).

Ramírez, F. A., Hincapié, E., y Sadeghian, S. (2009). Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de caldas. *Conservación de suelos* 60(1) 58-71

Skole, D.L., Chomentowski, W.H., Salas, W.A, Nobre, A.D. (1994). *Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia*. *Bioscience* 44(5) 314-22

SIGAM, CORTOLIMA, MINAMBIENTE y Alcaldía de Melgar (2015). Agenda Ambiental del Municipio de Melgar. <https://cutt.ly/7hoj7PZ>

Tabares, S. y Ruiz, E. (2019) Aplicación de la Metodología Corine Land Cover para la Identificación de Áreas Sensibles y Zonificación en el Municipio de Bojacá-Cundinamarca. (Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental). Universidad de Cundinamarca, Colombia.

Toribio, G. (2019). *Cursos Teledetección*. Recuperado de Grupo TYC GIS Formación: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>