

**Análisis Espaciotemporal del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia:
2019 & 2020**

Marcela Reina Osorio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Ibagué

2021

**Análisis Espaciotemporal del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia:
2019 & 2020**

Marcela Reina Osorio

Trabajo para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:

Juan Felipe Méndez Espinosa

Línea de investigación:

Gestión, manejo ambiental y biotecnología

Semillero/Grupo de Investigación:

BIOSIG/COBIDES

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Ibagué

2021

Página de Aceptación

Juan Felipe Méndez Espinosa

Director Trabajo de Grado

Jurado 1

Jurado 2

Ibagué-2021

Dedicatoria

El presente documento está consagrado a mi familia, pero sin duda alguna especialmente a mi madre que ha sido una pieza clave durante mi formación personal y, como producto de su respaldo económico y moral hoy se materializa esta meta

Agradecimientos

Inicialmente quiero agradecer a Dios por iluminarme, protegerme y permitirme llegar hasta esta instancia, de igual manera a mi familia por apoyarme y estar vigente en todas mis facetas, sin más preámbulo un agradecimiento con creces para mi director Juan Felipe Méndez, quien siempre se encargó de difundir sus conocimientos y sabiduría, representados en el apoyo brindado en el manejo de diversos softwares que acompañado de una invaluable humildad honorifica su labor como maestro, además debo hacer un reconocimiento especial a Yuri Alexandra González Castillo por su valiosa asesoría en torno al manejo de Google Earth Engine.

Resumen

El Índice de Aerosoles Absorbentes de luz (IAA) es un parámetro de análisis de aerosoles presente en la columna atmosférica que absorben radiación ultravioleta y azul. A diferencia de otros parámetros, el IAA puede ser obtenido en presencia de superficies brillantes (v.g., nubes y desiertos). Su importancia radica en la posibilidad de analizar desde el espacio los aerosoles asociados a la mala calidad del aire y cambio climático desde lo local, regional y nacional. Así las cosas, el presente proyecto tuvo por objeto central analizar espacial y temporalmente el IAA para Colombia durante el 2019 & 2020. Para ello, se implementó la plataforma Google Earth Engine (GEE) que contiene la información del instrumento TROPOMI a bordo del satélite Sentinel 5p de la Agencia Espacial Europea (ESA). Se identificaron las principales ciudades de Colombia según su IAA. Así mismo, se encontró que las zonas más impactadas por aerosoles absorbentes de luz relacionadas a polvo mineral y quema de biomasa fueron la Guajira, parte de la Sierra Nevada de Santa Marta y algunas ciudades que se encuentran localizadas en las tres cordilleras. El impacto negativo es registrado por valores de 0.4/1 he influenciado por el aislamiento por COVID-19 así como características orográficas del país.

Palabras claves: Contaminación atmosférica, Cambio climático, Google Earth Engine, Sensor Tropomi, Sentinel 5p.

Abstract

The Light Absorbing Aerosol Index (AAI) is an analysis parameter of aerosols presented in the atmospheric column that absorb ultraviolet and blue radiation. Unlike other parameters, AAI can be obtained on shiny surfaces (e.g., clouds and deserts). The importance lies in the possibility of analyzing from space the aerosols associated with air pollution and climate change from the local, regional, and national levels. Thus, the main aim of this project is to analyze spatially and temporally the light-absorbing aerosol index for Colombia during 2019 & 2020. For this, the Google Earth Engine (GEE) platform was used since it contains information from the TROPOMI instrument onboard the Sentinel-5p satellite of the European Space Agency (ESA). The main cities of Colombia were determined according to their AAI. Likewise, the most impacted areas by light-absorbing aerosols related to mineral dust and biomass burning were Guajira, areas of the Sierra Nevada de Santa Marta, and some cities that are in the three mountain ranges. The negative impact is registered by AAI values of roughly 0,4/1, and influenced by COVID-19 lockdown and orographic conditions.

Keywords: Pollution, Climate change, Google Earth Engine, Tropomi sensor, Sentinel 5p.

Contenido

Introducción	12
Planteamiento del Problema	13
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco Conceptual.....	17
Marco Teórico.....	19
Metodología	23
Área de Estudio.....	23
Análisis Mensual de la Serie Temporal de IAAL.....	25
Distribución Espacial del IAAL en Colombia.....	26
Protocolo en torno al Manejo de GEE.....	26
Resultados y Discusión.....	27
Análisis Temporal del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz para las 12 principales ciudades colombianas	27
Distribución espacial del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia	40
IAAL registrados en enero de 2019 y 2020.....	40
IAAL registrados en febrero de 2019 y 2020	42
IAAL registrados en marzo de 2019 y 2020.....	44
IAAL registrados en abril de 2019 y 2020.....	46
IAAL registrados en mayo de 2019 y 2020.....	48

IAAL registrados en junio de 2019 y 2020.....	50
IAAL registrados en Julio de 2019 y 2020	52
IAAL registrados en agosto de 2019 y 2020	54
IAAL registrados en septiembre de 2019 y 2020	56
IAAL registrados en octubre de 2019 y 2020.....	58
IAAL registrados en noviembre de 2019 y 2020.....	60
IAAL registrados en diciembre de 2019 y 2020.....	62
Protocolo para el Análisis de Valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz a partir de la plataforma Google Earth Engine	64
Conclusiones	66
Recomendaciones	67
Referencias.....	68

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución Espacial de las Ciudades Analizadas.....	24
Figura 2. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para San Andrés	28
Figura 3. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Barranquilla.....	29
Figura 4. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cartagena	30
Figura 5. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cali	31
Figura 6. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cúcuta	32
Figura 7. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Bucaramanga.....	33
Figura 8. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Medellín	34
Figura 9. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Ibagué.....	35
Figura 10. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Bogotá	36
Figura 11. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Puerto Carreño	37
Figura 12. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Villavicencio.	38
Figura 13. Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Leticia.....	39
Figura 14. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en enero de 2019	41
Figura 15. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en enero de 2020	41
Figura 16. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en febrero de 2019	43
Figura 17. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en febrero de 2020	43
Figura 18. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en marzo de 2019.....	45
Figura 19. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en marzo de 2020	45
Figura 20. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en abril de 2019.....	47
Figura 21. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en abril de 2020.....	47
Figura 22. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en mayo de 2019	49

Figura 23. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en mayo de 2020	49
Figura 24. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en junio de 2019.....	51
Figura 25. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en junio de 2020.....	51
Figura 26. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en julio de 2019.....	53
Figura 27. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en julio de 2020.....	53
Figura 28. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en agosto de 2019.....	55
Figura 29. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en agosto de 2020.....	55
Figura 30. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en septiembre de 2019	57
Figura 31. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en septiembre de 2020	57
Figura 32. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en octubre de 2019	59
Figura 33. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en octubre de 2020	59
Figura 34. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en noviembre de 2019	61
Figura 35. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en noviembre de 2020.....	61
Figura 36. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en diciembre de 2019	63
Figura 37. Distribución Espacial de IAAL para Colombia en diciembre de 2020	63
Figura 38. Pasos para la elaboración del Protocolo	64

Introducción

La contaminación atmosférica en conjunto con el cambio climático ha traído consigo efectos adversos tanto para los ecosistemas como la humanidad, esto se ha venido tomando auge por la deficiente gestión de gobernantes y las Corporaciones Autónomas Regionales con respecto a la vigilancia y seguimiento de esta. Desafortunadamente la mayoría de las ciudades colombianas tienen equipos manuales antiguos o en su defecto ninguno. Por tanto, no se realiza monitoreo continuos que permitan determinar la variación estacional de los aerosoles, esto está influenciado por el bajo presupuesto ambiental que impide el desarrollo óptimo de la gestión y operacional en esta materia. De igual forma Bogotá y Medellín cuentan con Redes Automáticas de Monitoreo de la Calidad del Aire que están en funcionamiento, Bogotá posee un archivo de datos disponibles desde agosto del 2007 y Medellín tiene mediciones desde el 2000 hasta el año 2017. Así mismo Bucaramanga conserva mediciones desde el 2002 hasta el 2012, pero se encuentra en etapa de actualización, lo que ha obstaculizado su completo funcionamiento (Belalcázar Cerón et al., 2018). El resto del país posee mediciones de superficie discontinuas o no cuenta con ninguna. Por tanto, esta situación es alarmante, pues al no existir información es difícil diagnosticar y confrontar este inconveniente. Considerando lo anterior, este proyecto nació como propuesta para mitigar dicha problemática a partir del uso de la plataforma (GEE), en donde se estudió el Índice de Aerosoles Absorbentes de luz (IAA) parámetro que investiga los aerosoles presentes en la columna atmosférica que absorben la radiación ultravioleta y azul. El proyecto se centró en analizar espacial y temporalmente el Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz para Colombia durante el 2019 & 2020. Haciendo uso de GEE focalizado en el producto “OFFL/L3_AER_AI”. Que alberga la información del sensor TROPOMI que se encuentra a bordo del satélite Sentinel 5p proveniente de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Planteamiento del Problema

Inicialmente se establece que la contaminación atmosférica hace referencia a: “la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema” (Oyarzún, 2010, p.17), sin duda alguna con la revolución industrial se dio apertura a la emisión a gran escala de contaminantes a la atmósfera, situación que se ha venido agudizando, así como pasa con el cambio climático, pues la emisión de gases efecto invernadero (GEI) y partículas absorbentes de luz aceleran el aumento de la temperatura que deteriora tanto a ecosistemas marinos como terrestres. Además, en las grandes ciudades, el aumento en las partículas y/o aerosoles es un indicador de la pésima calidad del aire que agudiza las enfermedades respiratorias, y cardiovasculares.

Con el fin de mitigar el cambio climático y combatir la contaminación atmosférica algunas ciudades europeas han venido modificando los planes integrales para la gestión de la calidad del aire. Es así como Madrid, Londres, Barcelona, Paris, Ámsterdam (García, 2008) han considerado robustecer el monitoreo de los contaminantes que promueven el cambio climático e impactan negativamente la calidad del aire. Por el contrario, en algunos países de Latinoamérica, solo algunas zonas de su territorio son monitoreadas deficientemente debido al desconocimiento, ineficiente gestión ambiental, y por supuesto, un déficit en el presupuesto ambiental.

Desafortunadamente Colombia no es ajena a este problema, pues solo dos ciudades principales como:

Bogotá y Medellín poseen Redes Automáticas de Monitoreo de Calidad del Aire que están funcionando continuamente. Bogotá cuenta principalmente con datos disponibles desde agosto del 2007 y Medellín cuenta con mediciones desde el 2000 hasta el año 2017. Por su parte, Bucaramanga posee mediciones desde el 2002 hasta el 2012, pero se encuentra en una etapa de

actualización, lo que ha impedido su completo funcionamiento (Belalcázar Cerón et al., 2018, p.166).

El resto del territorio colombiano cuenta con mediciones de superficie discontinuas o en el peor de los casos, no cuenta con ninguna. Dado esto, se considera que la situación del país en torno a esta materia es alarmante, pues al no existir información es difícil diagnosticar y afrontar el problema de la mejor manera. Los equipos que se requieren para el monitoreo de la calidad del aire tienen altos costos operativos y logísticos ya que requieren fuente de poder, seguridad, personal, entre otros. Junto a la falta de voluntad política, las limitantes anteriormente mencionadas han conllevado a la ausencia de monitoreo y vigilancia de la calidad del aire en diferentes zonas del país (sobre todo en aquellas zonas más olvidadas por el estado). Considerando lo anterior, el presente proyecto busca promover el uso de información satelital (proveniente de la ESA) para apoyar la correcta gestión de la calidad del aire en toda la nación. A partir de esta propuesta, se espera dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Cuáles son las zonas más afectadas de Colombia debido a aerosoles absorbentes de luz durante el 2019&2020?

Justificación

La contaminación atmosférica y la intensificación del cambio climático han desencadenado el deterioro de ecosistemas y la salud humana. Esta problemática se ha agudizado en gran medida por la carencia en la correcta y eficiente gestión tanto de Gobernantes y Corporaciones Autónomas Regionales en torno a la vigilancia y seguimiento de la contaminación atmosférica. De igual manera gran parte de las ciudades adscritas al territorio colombiano cuenta con equipos manuales antiguos o no cuenta con ninguno. Por lo que se dificulta analizar la variación estacional de los aerosoles ya que no se cuenta con un presupuesto ambiental que permita una correcta gestión logística y operacional. Considerando lo anterior, este proyecto nace como propuesta para mitigar dicha problemática a partir del uso de la plataforma Google Earth Engine- GEE, es una herramienta que permite monitorear la calidad del aire a través de las mediciones satelitales para que las regiones que no cuentan con mediciones de superficie puedan obtener, procesar y analizar los datos de diferentes contaminantes como los aerosoles (más preocupante en Colombia) con el fin de formular estrategias para mitigar los impactos socio-ambientales de la contaminación atmosférica.

Este proyecto permitirá por primera vez, mostrar las ventajas del uso de información satelital para analizar espacial y temporalmente los aerosoles absorbentes de luz durante el 2019 & 2020 considerando que el proyecto de la ESA entrega datos a partir de mediados del 2018 (Google Earth Engine, 2018). Este primer ejercicio permitirá encontrar las zonas colombianas más impactadas con base en el IAA. Así mismo, identificar los meses más preocupantes por el aumento en el IAA. Conjuntamente, y en pro de promover y transferir conocimiento, el proyecto generara un protocolo general para el análisis de valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz a partir de la plataforma Google Earth Engine.

Objetivos

Objetivo General

Analizar espacial y temporalmente el Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia durante el 2019 & 2020.

Objetivos Específicos

Analizar mensualmente la serie temporal de valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz para las 12 principales ciudades de Colombia a partir de información del satélite Sentinel 5P durante el 2019 & 2020.

Identificar la distribución espacial de los valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia a partir del satélite Sentinel 5P con el fin de localizar los valores extremos durante el 2019 & 2020.

Diseñar un protocolo para el análisis de valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz a partir de la plataforma Google Earth Engine

Marco Conceptual

Aerosol Optical Depth (AOD): Este término hace referencia a la “medición de dispersión y absorción de luz visible por las partículas presentes en la columna vertical de la atmosfera, es implementado para analizar la calidad del aire mediante el valor proporcional a la concentración de partículas presentes en la atmosfera” (*Aerosol Optical Depth (AOD)* - Servir, 2009).

Aerosoles: “Es una suspensión gaseosa, que contiene partículas sólidas o líquidas” (Heyder, 2009, p.217).

Algoritmos: “Es una serie de instrucciones secuenciales que permiten ejecutar acciones o programas” (Avantel, 2020).

Contaminación atmosférica: Es “la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema” (Oyarzún, 2010, p.17).

Google Earth Engine (GEE): “Es una plataforma geomática basada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes de satélite de nuestro planeta” (Google Earth Engine, 2021).

Índice de Aerosoles Absorbentes de luz (IAA): Hace referencia a la “presencia de aerosoles absorbentes elevados en la troposfera. Separa el contraste espectral en dos ultravioleta (UV) longitudes de onda causadas por la absorción de aerosoles de la de otros efectos” (de Graaf et al., 2005, p.1).

Material particulado: “Es el conjunto de partículas sólidas o líquidas que se encuentran en suspensión en la atmosfera, suelen tener un origen natural o antropogénico” (Arciniégas, 2012, p.195).

Sentinel 5p: “Es un satélite de órbita sincrónica casi polar que vuela a una altitud de 817 km, con un tiempo de sobrevuelo en el nodo ascendente (LTAN) de 13:30 (hora local) y un ciclo de repetición de 17 días” (Forero Castro, 2019, p.19).

Sensor Tropomi: “Es un instrumento satelital a bordo del satélite Copernicus Sentinel-5 Precursor que permite la obtención de diferentes parámetros relacionados a la calidad del aire fue lanzado el 13 de octubre” (Tropomi, 2021).

Marco Teórico

A inicios del siglo XV hasta finales del siglo XVIII surgió un periodo conocido como la era preindustrial, en dicha época se tenía la concepción de que la atmósfera era un excelente medio de depuración de contaminantes ya que en algunas ocasiones los contaminantes tomaban un rol inocuo tanto para el ambiente como para los humanos, por lo que solo se manifestaban en molestias mínimas como: olores leves y algunos inconvenientes con la visibilidad, sin embargo esta equivocada concepción condujo a la agudización de la problemática que a su vez se relaciona directamente con la revolución industrial por causa de la introducción de la máquina de vapor, que para su operación se requería la quema de carbón esto a su vez desencadenó la emisión de dióxido de carbono (CO_2) (Hernández, 2016), así mismo se presume que no solo se emitió CO_2 si no también otros contaminantes procedentes de sectores como: el transporte, la industria química entre otros; sin duda alguna una prueba de ello se registró en el “Himalaya, mediante la extracción de núcleos de hielo provenientes del glaciar Dasuopu en el Himalaya central a unos 10.300 kilómetros donde se presume fue la cuna de la revolución industrial” (El Ágora Diario, 2020), estos núcleos de hielo son como una línea de tiempo pues gracias a ellos se puede establecer el año exacto de la formación glacial de la capa y otros fenómenos de carácter antrópico o natural, como por ejemplo se evidenció entre los años 1810 y 1880, se registró la presencia de metales pesados como: cadmio, cromo y níquel.

Desde ese momento hasta la actualidad la calidad del aire se ha disminuido exponencialmente, esto se debe a la tecnificación en un 100% de los procesos, así mismo el aumento poblacional impulsa la explotación de recursos naturales para la producción de bienes y servicios con el fin de satisfacer las necesidades humanas, lo anterior incrementa la problemática atmosférica, pues la gran mayoría de las zonas de amortiguamiento que se encargan

de absorber la contaminación que producen las grandes ciudades y a su vez aportan oxígeno al planeta, son principalmente deforestadas y adaptadas para actividades industriales.

Sin duda alguna la contaminación atmosférica se le atribuye a la carencia de gestión en torno a la calidad del aire así mismo como no existe mediciones de superficie, tampoco se registran datos e información lo que imposibilita el diagnóstico real de la situación actual en algunas ciudades, sin embargo se debe resaltar el trabajo desarrollado por algunas ciudades que se encargan de mejorar continuamente las falencias que presentan sus planes de calidad del aire como lo son: Madrid, Londres, Barcelona, París, Ámsterdam (García, 2008).

De igual modo la dependencia a los combustibles fósiles solo empeora la situación, pues gran parte de la contaminación y el smog fotoquímico se debe a las emisiones por la quema de los mismos provenientes de fuentes móviles y fijas, afortunadamente algunos países se catapultan como referentes en reducir sus emisiones e igualmente una óptima gestión en Planes con el fin de garantizar una buena calidad del aire entre ellas se encuentra; en primer instancia esta Dinamarca, este país produce casi el 100% de energía eólica, en segundo lugar esta Alemania produce el 30% proveniente de energía solar o eólica, en tercer lugar Suecia quiere convertirse en el primer país libre de combustibles fósiles y finalmente encontramos a Italia, Holanda, España (Ciudad Vegana, 2018).

En el contexto nacional, la situación es precaria puesto que muchas ciudades no cuentan con redes de monitoreo de calidad del aire, por lo que los niveles de contaminación no se están monitoreando, es por ello que el acceso a la información o datos no está disponible, el estado Colombiano procura no hacer inversiones en esta materia ya que el valor de estos equipos automáticos suele tener costos muy elevados y además personas inescrupulosas buscan apoderarse de ellos ilegalmente, así mismo en algunas ciudades poseen equipos manuales ya que

son más asequibles económicamente, sin embargo estos equipos no ofrecen la variación de las concentraciones de contaminantes durante un año por lo que la información que entrega es limitada, cabe resaltar que en el territorio Colombiano solo existen 3 redes automáticas de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en;

“Bogotá, que tiene una estación que ofrece los datos correspondientes a las mediciones desde el año 2000, también Medellín cuenta con datos disponibles desde el 2007, en tercera instancia se encuentra la estación de Bucaramanga que registra datos desde el 2002 hasta el 2012, pero desafortunadamente esta estación se encuentra en proceso de actualización por lo que se presume que debería estar funcionando en un futuro próximo” (Belalcázar Cerón et al., 2018, p.166).

Por lo anteriormente argumentado las mediciones de superficie en Colombia se han convertido en una labor utópica, sin embargo la problemática atmosférica requiere ser investigada con mayor constancia y de forma detallada, es por ello que las mediciones por satélite se catapultan como una excelente alternativa para monitorear la calidad del aire y así diagnosticar la situación Colombiana y a su vez formular unas estrategias para minimizar dicho inconveniente bajo la contextualización de las necesidades de cada región, es por ello que GEE se convierte en una herramienta ejemplar para realizar análisis y monitoreo geoespacial a diversas problemáticas ambientales como por ejemplo: monitorear la cobertura vegetal y las emisiones a nivel mundial entre otros, sin duda alguna es una plataforma estrella que ofrece análisis de gestión rápida, así mismo es gratuita y de fácil acceso, además alberga imágenes históricas satelitales que permite contrastar la información para un mejor análisis. Definitivamente GEE se ha convertido en un aliado para monitorear los fenómenos antrópicos en los ecosistemas así mismo tiene un enfoque hacia la conservación de dichas áreas, caso particular de la provincia de Trat de Tailandia, en la que se implementó el análisis de las imágenes

satelitales durante tres décadas con el fin de determinar y monitorear las variaciones físicas en los manglares y sus alrededores, gracias a ello se logró establecer que el área agrícola tuvo una reducción sustancial (Pimple et al., 2018), sin embargo se evidenció que las alteraciones que posee el bosque de manglar se le atribuyen a el desarrollo de actividades como: piscicultura, ya que en la zona se encuentran instaladas granjas de peces exactamente para la producción de camarones además también se registró tierras desnudas, por lo anterior incluso se puede proponer a Google Earth Engine como una instrumento eficaz para la planeación del territorio.

Finalmente, Colombia ha fomentado acciones para ejercer un control de la contaminación del aire, esto se reflejó en “1967, cuando se instalaron los primeros equipos con el fin de monitorear la calidad del aire, pero realmente en 1982 se decretó y adoptó la primera norma que reguló la emisión y la concentración de contaminantes presentes en la atmosfera”(Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008, p.18). Como dichos esfuerzos son mínimos algunas ciudades principales registran altos niveles de contaminación lo que a su vez disminuye la calidad del aire y paralelamente a ello afecta la salud humana y por consiguiente afecta la dinámica en los ecosistemas.

Por tal motivo la gestión de la calidad del aire resulta ser deficiente y esto se relaciona directamente por la carencia de inversión en equipos que permitan monitorear las emisiones, es por ello que GEE se perfila como un instrumento para combatir esa deficiencia en la gestión en torno a la calidad del aire, sin duda alguna es una herramienta que permite acceso a cualquier región del territorio Colombiano, lo que es realmente una ventaja cuando las mediciones de superficie no se encuentran disponibles.

Metodología

En el siguiente proyecto se analizó espacial y temporalmente el IAA para Colombia durante el 2019 & 2020. Para ello, se implementó la plataforma Google Earth Engine (GEE) considerando el producto “OFFL/L3_AER_AI”. Este producto considera la información capturada por el sensor TROPOMI a bordo del satélite Sentinel 5p de la Agencia Espacial Europea (ESA). GEE se ejecutó para analizar temporalmente el IAA de las 12 principales ciudades de Colombia. Además, se determinaron las zonas más impactadas por aerosoles absorbentes de luz relacionadas a polvo mineral y quema de biomasa en Colombia. Paralelamente a ello se elaboró un documento en el cual se estipuló unas instrucciones básicas para el manejo de GEE en torno a la temática previamente mencionada.

Área de Estudio

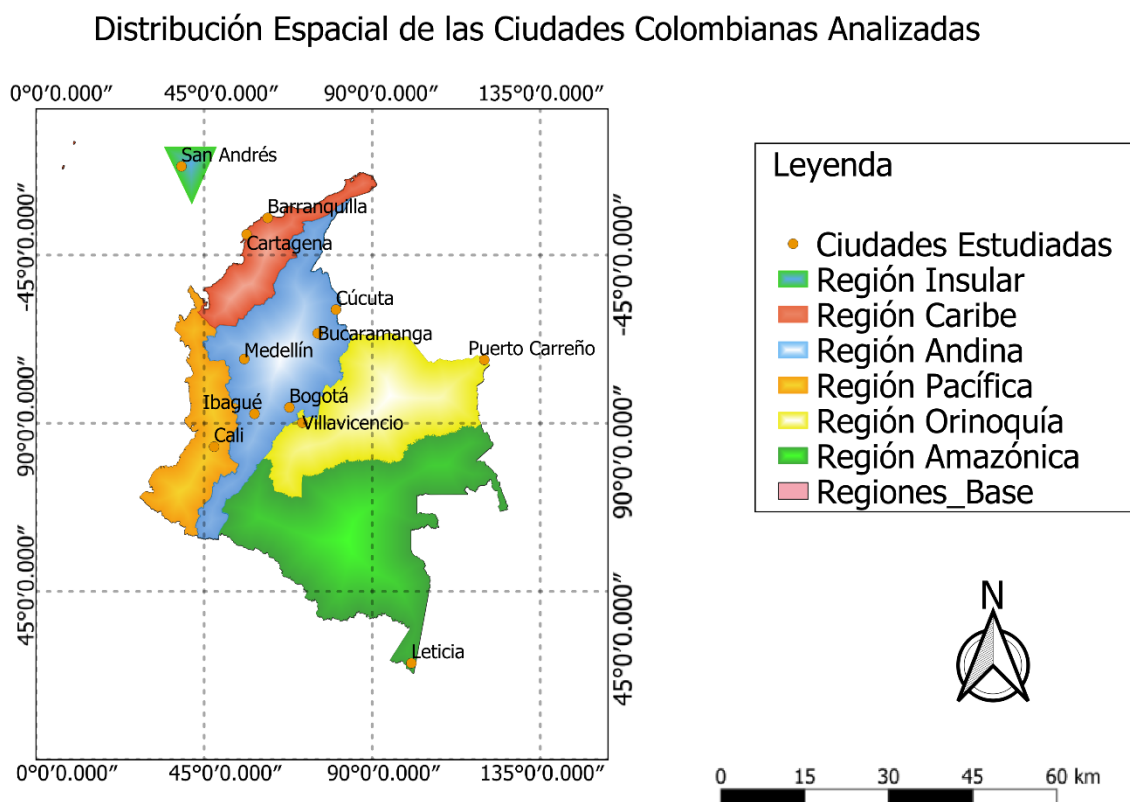
Colombia, es un emblemático país que se encuentra localizado al noroccidente de América del Sur además que se constituye por 32 departamentos, se caracteriza por ser la única nación de América del sur que es irrigada por dos océanos el Atlántico y el Pacífico. Dentro de su ubicación geográfica hacia “el norte delimita con Honduras, Jamaica, Haití, República Dominicana, en el sur limita con Perú y Ecuador, así mismo en el extremo oriental delimita con Venezuela y Brasil y al occidente limita con Nicaragua, Costa Rica, Panamá” (Vega, 2021).

De igual modo el territorio colombiano se divide en 6 regiones, por tal motivo el proyecto de investigación busca analizar los valores de IAA correspondiente a las 12 ciudades principales de Colombia (Figura 1). Para dicha selección se tuvo en cuenta algunos aspectos como: crecimiento poblacional y actividades industriales, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE (DANE, 2021).

A continuación se presentan las ciudades seleccionadas por región: (a.) San Andrés de la **región Insular**, (b.) Cartagena capital de Bolívar y Barranquilla capital del Atlántico de la **región Caribe**, (c.) Cali capital del Valle del Cauca de la **región Pacífica**, (d.) Bogotá capital de Cundinamarca, Medellín capital de Antioquia, Cúcuta capital de Norte de Santander, Bucaramanga capital de Santander e Ibagué capital del Tolima de la **región Andina**, (e.) Villavicencio capital de Meta, Puerto Carreño capital de Vichada de la **región Orinoquía**, (f.) Leticia capital de Amazonas de la **región Amazónica** (Véase la Figura 1).

Figura 1.

Distribución Espacial de las Ciudades Analizadas



Análisis Mensual de la Serie Temporal de IAAL

Para el desarrollo de este ítem se realizó la revisión de diversos sitios web con el fin de seleccionar algunos códigos modelo, posteriormente se seleccionó uno el cual se fue ajustando de acuerdo con las necesidades de la investigación. Cabe resaltar que para los valores correspondientes a IAAL fueran más exactos, se cargaron archivos comprimidos de las 12 ciudades colombianas a GEE que habían sido previamente rediseñados y exportados de QGIS. Seguidamente se insertó el script y se inició con mencionar “the Feature Collection”, así mismo se estableció en el script el satélite Sentinel 5p acompañado de las fechas de análisis y la selección de la banda: “Absorbing aerosol index”. Para la creación del gráfico de series de tiempo de imágenes se implementó una de las herramientas estrella que ofrece GEE denominada “Docs”. De allí se extrajo el script, finalmente se le realizaron modificaciones al script en torno al estilo en la presentación del gráfico. De otro modo cuando se tiene el gráfico se descargaron los archivos con la extensión .csv que albergan los datos del gráfico, posteriormente fueron tratados estadísticamente en el software R a través de ejecución de una serie de códigos. De dicha acción se obtuvo como resultado final diagramas de caja y bigotes en los cuales se evidencia los valores correspondientes al IAAL que se registraron en el 2019 y 2020. Así mismo, se elaboró los respectivos análisis teniendo en cuenta aspectos como: (a.) si los datos son simétricos, (b.) si tienen sesgo positivo o negativo, (c.) si se presentan valores atípicos, (d.) velocidad y dirección del viento, temperatura, fenómenos externos, eventos coyunturales, y (e.) algunos limitantes que tiene GEE.

Distribución Espacial del IAAL en Colombia

Para el desarrollo de este aspecto se llevó a cabo la misma técnica de ítem anterior en torno a la selección del script más adecuado para la investigación, sin embargo, considerando errores por el uso de archivos Shapefile en GEE se optó por insertar the Feature Collection: “LSIB 2017” en donde posteriormente se filtró el país de interés, luego se determinó el satélite Sentinel 5p con sus respectivas fechas de análisis, así como la banda estudiada: “Absorbing aerosol index”. Finalmente se creó el código correspondiente a la convención más adecuada para representar los valores del IAAL. Finalmente se buscó contrastar y analizar los mapas mensuales entre 2019 y 2020.

Protocolo en torno al Manejo de GEE

Inicialmente se realizó la búsqueda de información en torno al manejo básico de GEE seguidamente se hizo un enfoque en Aerosoles Absorbentes de Luz con el fin de dar a conocer a los lectores como se recolectaron los datos a través de la implementación del Satélite 5P que ofrece por defecto la plataforma en mención. Para lo anterior se tuvo en cuenta aspectos básicos que inician desde la obtención de una cuenta en GEE hasta la comprensión de las estructuras de códigos que se manejan en GEE, además se dio respuesta a algunos errores que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación, lo anterior se logró a través de la revisión de foros en internet y el soporte técnico brindado por Google Earth Engine.

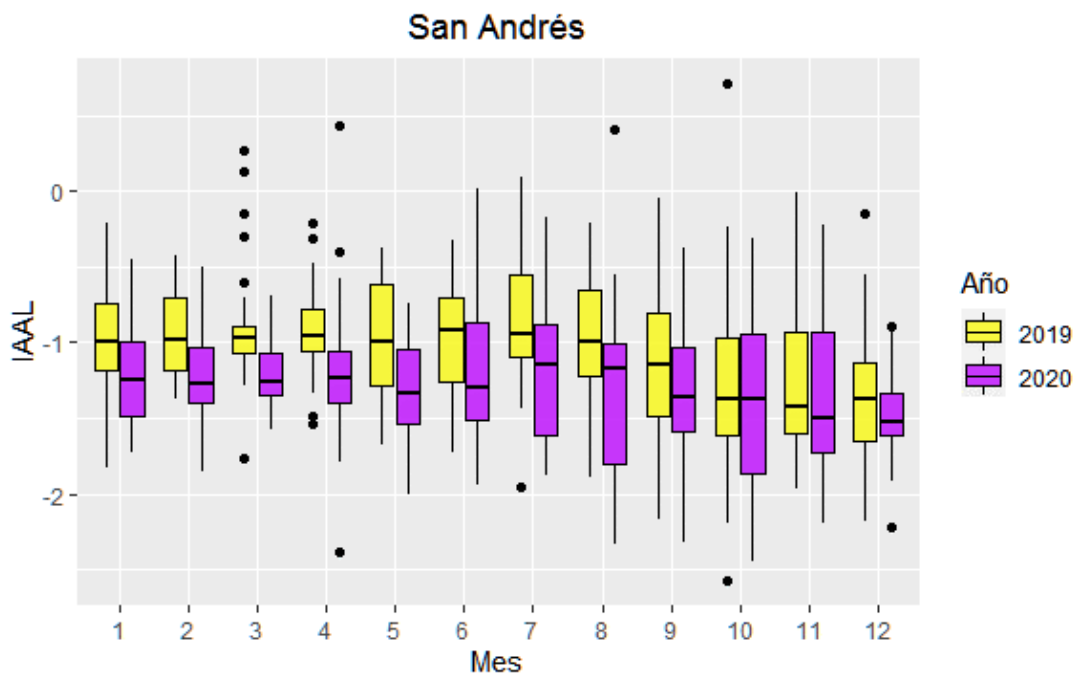
Resultados y Discusión

Análisis Temporal del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz para las 12 principales ciudades colombianas

Como se observa en la Figura 2 las medianas de los 24 diagramas de cajas son multiformes, los datos predominantes tienen un sesgo positivo por lo que el IAAL fue alto tanto para el 2019 como el 2020 (Google Earth Engine, 2018), dicho aumento puede estar asociado a la dirección del viento en San Andrés pues los dos rumbos de gran influencia son: el noreste y el este (IDEAM, 1999) y es precisamente por estas direcciones que se registró el ingreso de una columna de polvo del Sahara que se dispersó a través del Océano Atlántico tropical (Méndez et al., 2018). A esto se le suma que la temperatura en la isla oscila entre los 28°C y los 30°C (IDEAM, 2014) pues entre mayor temperatura, mayor suspensión de polvo contaminante y la velocidad del viento es de 17 m/s. Así mismo el régimen de lluvias es monomodal (IDEAM, 2021) por lo que se afectaría la remoción de contaminantes (Rubio et al., 2001). En última instancia se registró valores atípicos en ocho meses en los dos años.

Figura 2.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para San Andrés

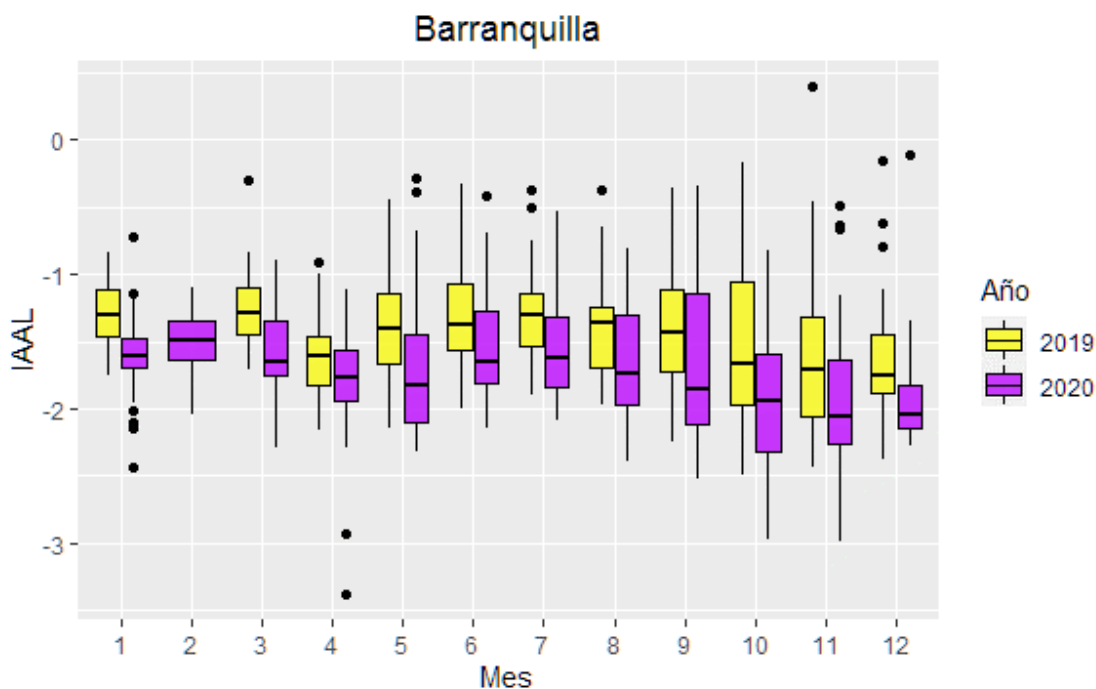


En la Figura 3 se visualiza que las medianas de los diagramas son distintas, sin embargo para el 2019 los datos que prevalecen tienen una distribución simétrica además para el segundo mes no se registran datos por lo que puede estar relacionado con una desventaja característica en satélites polares como Sentinel denominado “Gaps”, lo anterior se hace presente cuando las zonas tienen mayor nubosidad por lo que afecta el funcionamiento del infrarrojo del satélite, esto dificulta la recolección de datos (Schneider et al., 2021). Para el 2020 los datos predominantes tienen un sesgo positivo por ello IAAL fue alto se relaciona con la intrusión del polvo del Sahara por el norte y noreste (IDEAM, 1999) además su temperatura estuvo entre los 30 °C y los 32°C (IDEAM, 2014) por lo que el efecto de las partículas en suspensión se agudizó (Ballester, 2005) y explicaría los valores altos. Su régimen de precipitación es bimodal (Ramírez-Cerpa et al., 2017) por lo que existiría una posibilidad para la remoción húmeda de contaminantes.

Finalmente se evidenció valores atípicos para nueve meses en los años estudiados respectivamente.

Figura 3.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Barranquilla

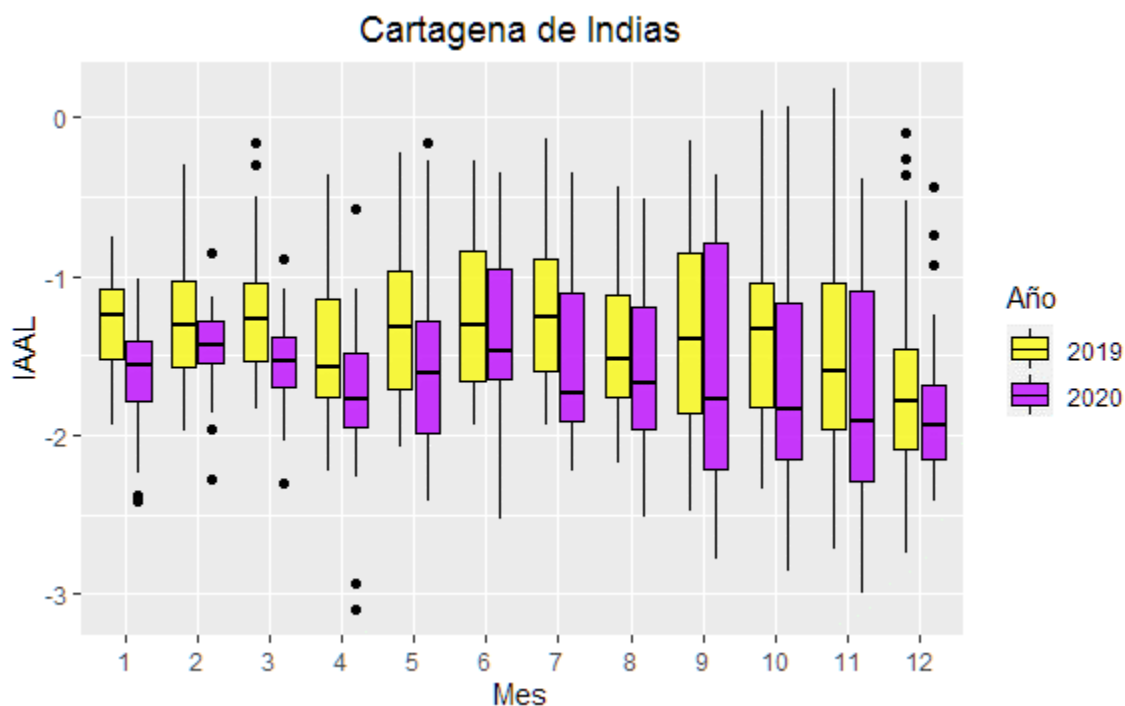


En la Figura 4 correspondiente a Cartagena registra el mismo patrón de las gráficas anteriores entornos a las medianas. Respecto al 2019 preponderan datos simétricos. Para el 2020 los datos tienen un sesgo positivo por lo que hay un incremento en el IAAL (Google Earth Engine, 2018b) que puede estar vinculado a 998 incendios presentados en la zona (Chimá, 2020), la velocidad del viento es de 17 m/s solo tiene dos rumbos con mayor influencia el norte y noreste (IDEAM, 1999). Se presume que la suspensión de partículas está relacionada con los 30°C y 32°C de temperatura (IDEAM, 2014) y esto se agudiza por que el régimen de precipitación es monomodal, lo que impide la remoción de contaminantes. De otro modo este territorio está adscrito a Bolívar que presenta la mayor intrusión de polvo del Sahara a nivel

nacional (Méndez et al., 2018), por último, se registró valores atípicos a lo largo del primer y tercer cuartil.

Figura 4.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cartagena

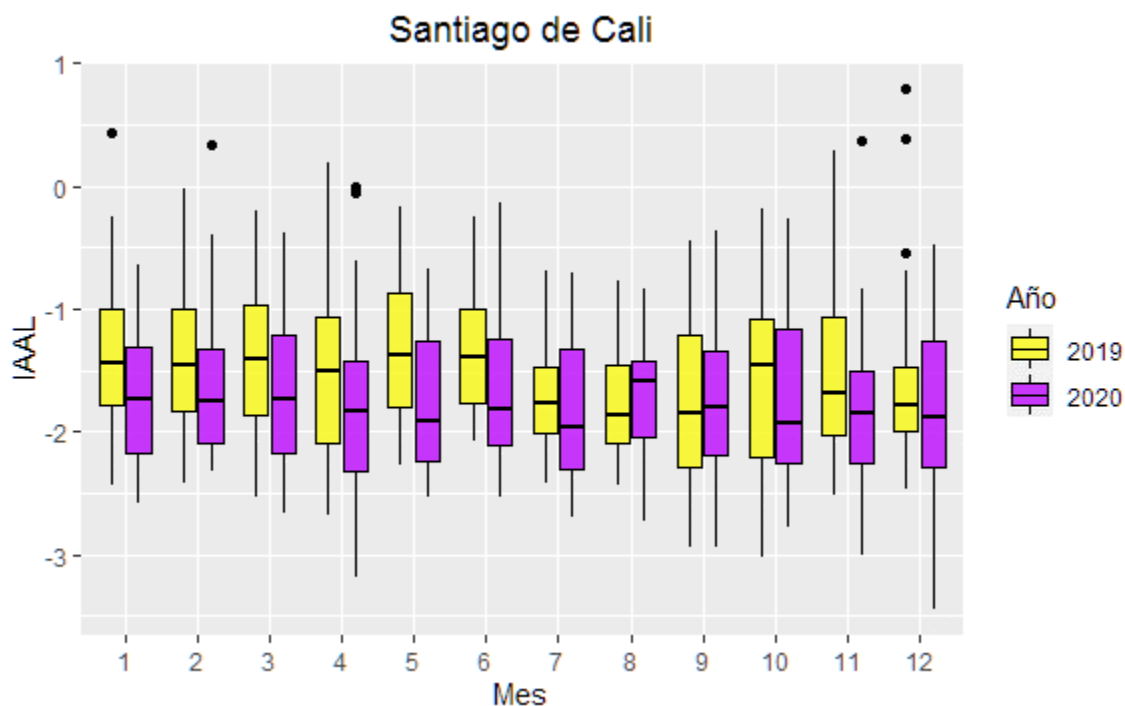


Las medianas de la Figura 5 que pertenecen a Cali son irregulares. Los datos para 2019 tienen una distribución asimétrica positiva, situación que es compartida para 2020 por tanto el IAAL es alto, pues los datos tienen un sesgo positivo (Google Earth Engine, 2018), esto puede relacionarse con algunos incendios producto de la actividad agrícola y la emisión de contaminantes por el aumento del flujo vehicular y obras de infraestructura (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, 2020). Tiene el oeste y noroeste como direcciones mayoritarias, además tiene un 79% de viento en calma por lo que habría suspensión de partículas contaminantes (IDEAM, 1999), su temperatura entre los 28°C y 30°C (IDEAM,

2014) puede influir indirectamente en ello. Por otro lado bimodal es su régimen de precipitación (El País, 2015). Finalmente se registró valores atípicos en cinco meses.

Figura 5.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cali

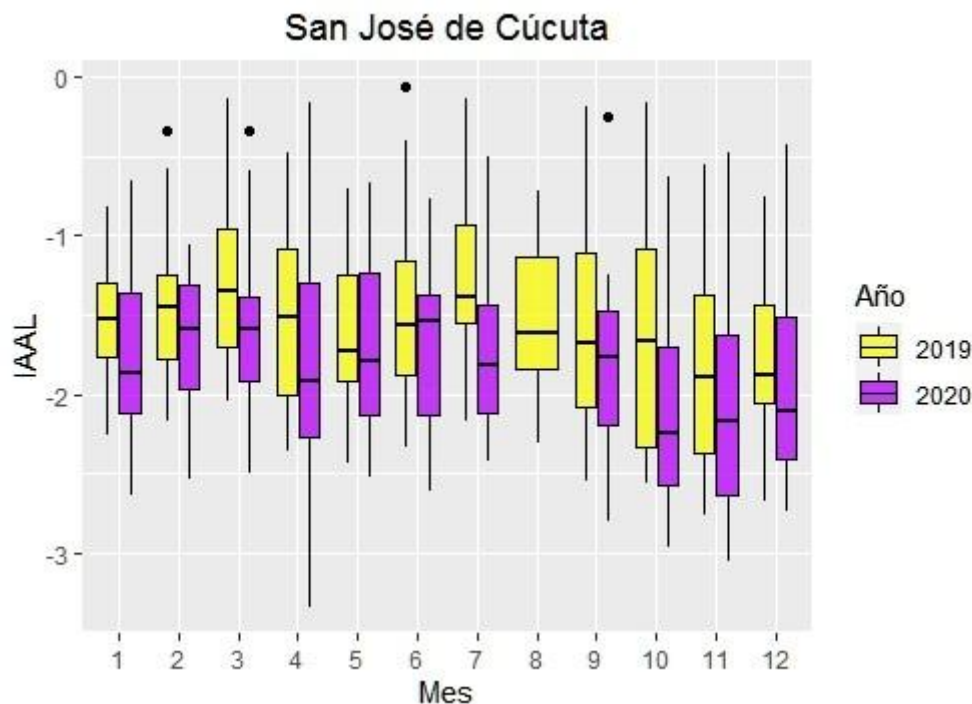


El municipio de Cúcuta representado en la Figura 6 registró para el 2019 y 2020 datos con un sesgo positivo por lo que el IAAL se incrementó, aunque las direcciones con mayor porcentaje de influencia son norte y sur esto no ha sido un impedimento para la intrusión de masas de aire contaminado de Venezuela por la incineración de desechos además la quema de cultivos ilícitos en el Catatumbo (El Tiempo, 2020a). De otro modo la temperatura oscila entre los 30°C y 32°C así mismo la velocidad del viento es relativamente baja con 10 m/s lo que termina agudizando la situación. Aunque el régimen de lluvias es bimodal (Cátedra Norte de Santander, 2021) para la remoción de contaminantes es deficiente. Finalmente se presentó gaps

en el mes de agosto de 2020 porque no se registraron datos. Finalmente hay presencia de valores atípicos para cuatro meses en los extremos superiores.

Figura 6.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Cúcuta

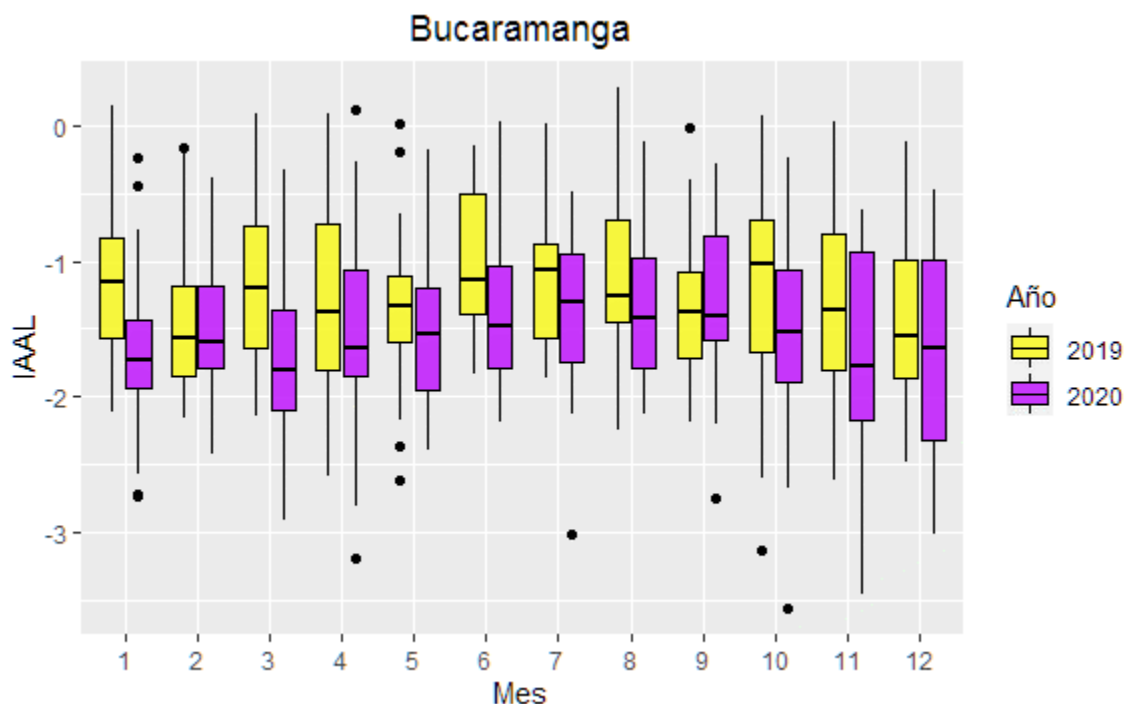


En la Figura 7 todos los diagramas poseen medianas irregulares. Para los dos años estudiados predominan datos con un sesgo positivo por lo que los valores correspondientes al IAAL son altos, es un fenómeno asociado a la quema de desechos en Venezuela (Caracol-Radio, 2020) además el crecimiento del parque automotor ha contribuido con la disminución de la calidad del aire en la ciudad. La velocidad del viento es de 17 m/s y cuenta con una sola dirección del viento el norte, situación que favorece la suspensión de dichas partículas (Sarmiento Carillo, 2019). No obstante la ciudad tiene una temperatura que oscila entre los 28°C y 30°C y su régimen de lluvias es bimodal (González Barajas & Sarmiento Delgado, 2017) estas

dos variables forman un buen escenario para la disminución de la contaminación sin embargo no es suficiente. Para finalizar se registran valores atípicos en 8 meses tanto en extremos superiores e inferiores.

Figura 7.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Bucaramanga

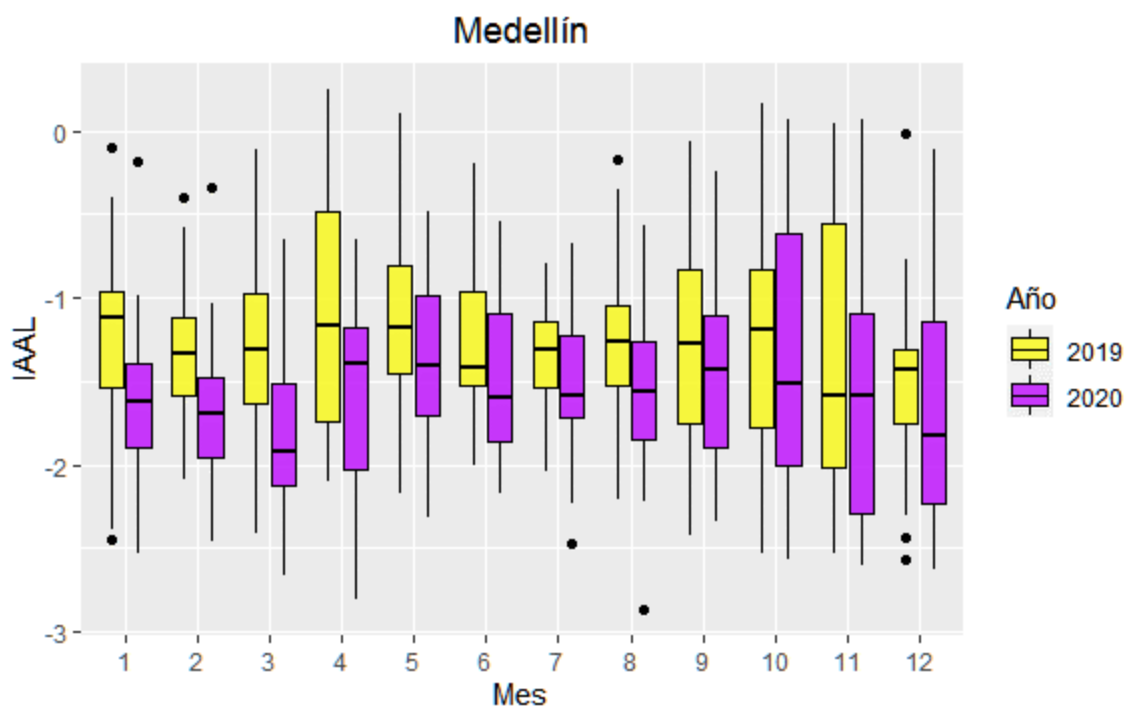


Se determinó que todas las medianas de la Figura 8 son multiformes, pero tanto el año 2019 como 2020 comparten en su totalidad datos con un sesgo positivo que puede estar influenciado por la topografía que tiene Medellín (Delgado, 2019). La temperatura oscila entre los 24°C y 28°C (IDEAM, 2014) y el régimen es bimodal (Robledo-Delgado, 2020), condiciones óptimas para una posible remoción húmeda de contaminantes, sin embargo los incendios forestales no cesaron en esta zona y como solo cuenta con dos direcciones del viento el norte y

sur, la velocidad del viento solo alcanza 13 m/s (IDEAM, 1999) por lo que se disminuye la dispersión de los contaminantes y fomenta el estacionamiento de las partículas. Finalmente se registran valores atípicos tanto en los extremos superiores como inferiores.

Figura 8.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Medellín

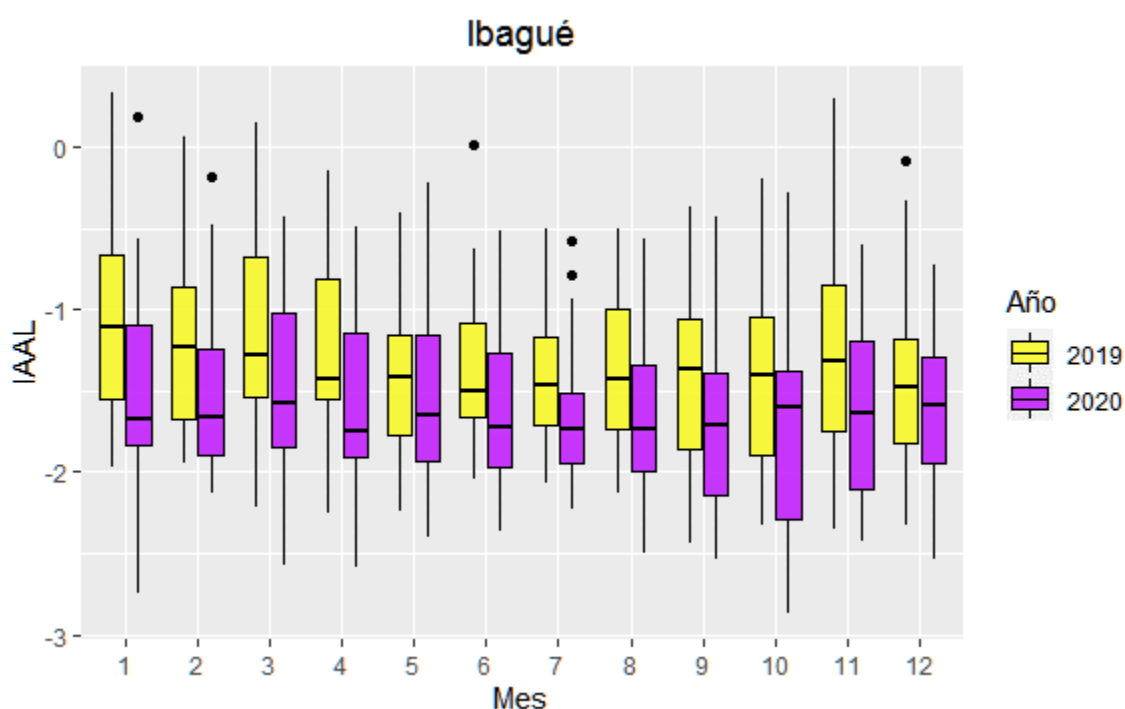


Las medianas de la Figura 9 que representa a Ibagué son irregulares. Tanto para el 2019 como el 2020 se registra datos con sesgo positivo mayoritariamente por lo que se incrementó el IAAL (Google Earth Engine, 2018), esto está directamente relacionado con el aumento de los incendios forestales en actividades agrícolas, así como ampliación del parque vehicular. Aunque posee cuatro direcciones del viento mayoritarias como: este, sureste, sur, suroeste, oeste y la

velocidad es de 17 m/ (IDEAM, 1999), su temperatura oscila entre los 24°C y 28°C (IDEAM, 2014) y el régimen de precipitación es bimodal (Váquiro Capera et al., 2020), por su topografía es más propensa a la acumulación de partículas contaminantes. Para finalizar se evidenció valores atípicos en el extremo superior.

Figura 9.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Ibagué

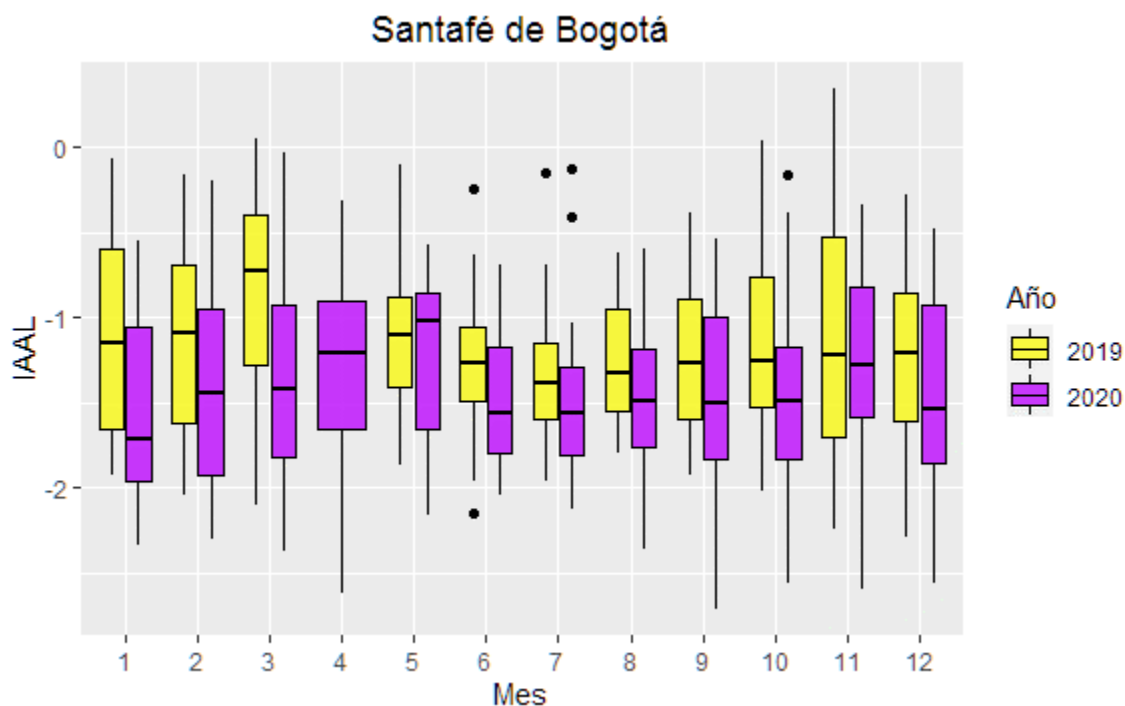


En la Figura 10 prevalece la desigualdad en todas las medianas, por tanto para el 2019 los datos mayoritarios registran un sesgo negativo lo que indica una reducción en los valores de IAAL para Bogotá, es asociado con los “gaps” que se presentaron en el mes de marzo. En contraste para el 2020 los datos registran un sesgo positivo por lo que hay un incremento en el IAAL (Google Earth Engine, 2018). Del mismo modo el régimen de lluvias es bimodal (IDEAM, 2014) por lo que tendría efecto de dispersar aún más los contaminantes (El Tiempo,

2020). Aunque Bogotá se encuentra regida por tres direcciones del viento principales (noreste, este, sureste) y la velocidad del viento es de 17 m/s (IDEAM, 1999) esto no ha sido un obstáculo para la intrusión del polvo del Sahara (Belalcázar Cerón et al., 2018). Su temperatura oscila entre los 16°C y 20°C (IDEAM, 2014) está involucrada con un fenómeno que experimenta la ciudad llamado como inversión térmica que dilata los picos de contaminación. En última instancia se observa datos atípicos en los dos extremos.

Figura 10.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Bogotá

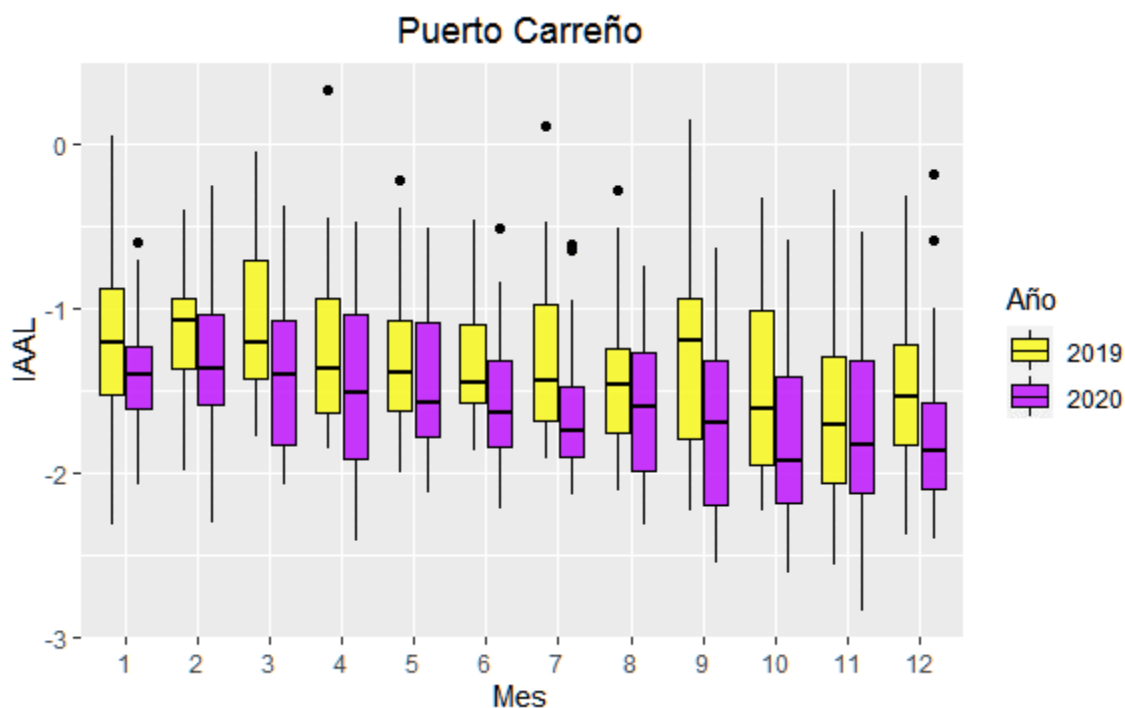


Los diagramas que alberga la Figura 11 correspondiente a Puerto Carreño son diferentes. En igual sentido los dos años estudiados registran datos con un sesgo positivo por tanto los valores correspondiente al IAAL son altos (Google Earth Engine, 2018), esto se asocia con la intrusión de material particulado por el noreste y este (IDEAM, 1999) como excedente de la

quemada de biomasa en Venezuela (Vielma, 2020). Así mismo el ingreso de masas de aire contaminante por el suroeste por un incendio forestal en el Parque Nacional El Tuparro (Ardila Arias, 2020). Otros tres factores que agudizan la problemática son los 10 m/s de velocidad del viento y el 33% de vientos en calma (IDEAM, 1999) por lo que la suspensión de las partículas contaminantes se intensifica, esto a su vez es respaldado por los 32°C y 34°C de la zona (IDEAM, 2014). Además el régimen de precipitación es monomodal (Brochero et al., 2011) por lo que se afectaría una posible remoción de contaminantes. Finalmente hay valores atípicos para ocho meses en el extremo superior.

Figura 11.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Puerto Carreño

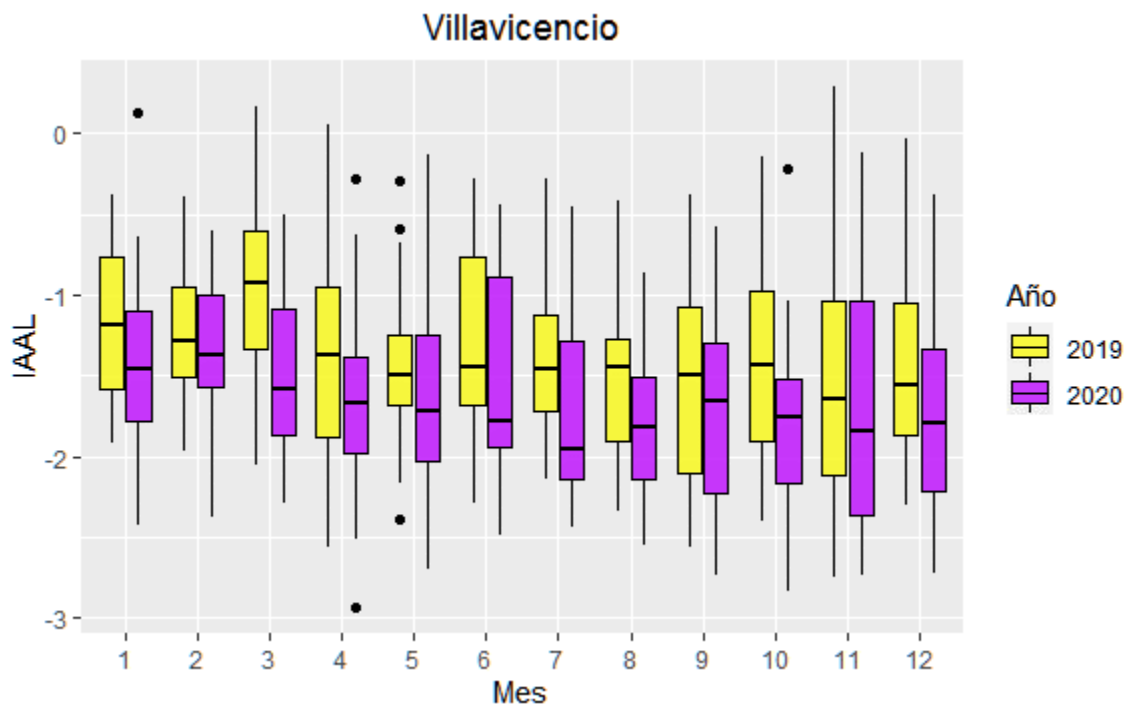


En la Figura 12 de Villavicencio todas las medianas son multiformes, se evidencia que los datos registrados para 2019 y 2020 tienen un sesgo positivo por lo que el IAAL tuvo un incremento (Google Earth Engine, 2018), esto puede estar asociado a la intrusión de masas de

aire contaminadas al noroeste y este provenientes de la quema de biomasa en Venezuela (Moreno, 2020). Seguidamente en estas mismas direcciones ingresan partículas procedentes del incendio forestal en el Parque Natural El Tuparro (Almanza, 2020). La ciudad cuenta con una temperatura que oscila entre los 30°C a 32°C (IDEAM, 2014) esto fomenta los picos de contaminación. Aunque su régimen de precipitación es bimodal no se evidencia lavado de contaminantes y la velocidad del viento es de 10 m/s ideal para la suspensión de partículas. Finalmente se registran valores atípicos en los dos extremos.

Figura 12

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Villavicencio

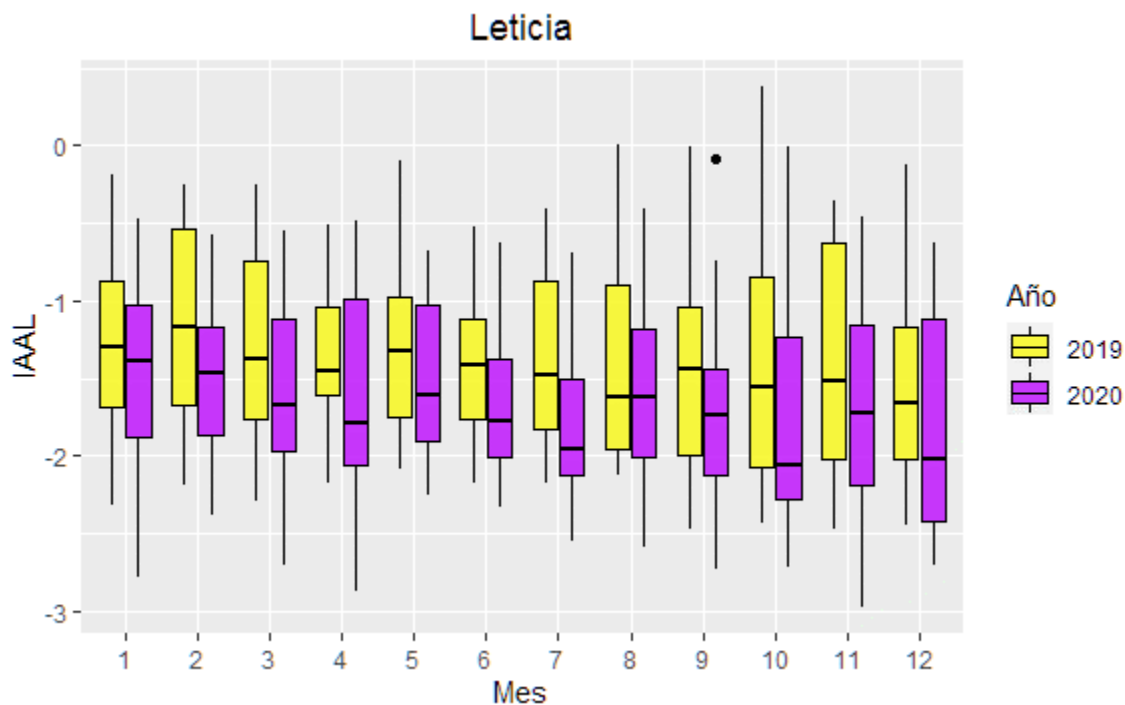


En la Figura 13 se observan que las medianas son diferentes. Se evidencian un incremento en el IAAL pues tanto para el 2019 como el 2020 se registran datos con una asimetría positiva (Google Earth Engine, 2018), lo anterior puede estar influenciado por el

ingreso de masas de aire contaminadas hacia el noroeste y norte por los incendios forestales en tres parques naturales (WWF, 2020). Paralelamente se registró una intrusión de contaminantes por los incendios forestales procedentes de la Amazonía brasileña (Semana, 2020). Otros dos factores que potencian dicho incremento es la temperatura que experimenta Leticia pues alcanza los 30°C y 32°C (IDEAM, 2014). La velocidad del viento es de 10 m/s y un 36% de vientos en calma (IDEAM, 1999) por lo que habría una inmovilización de los contaminantes. El régimen de precipitación es monomodal (Cadena et al., 2014) lo que reduce la posibilidad de remoción húmeda de los contaminantes. Finalmente, solo se registra para el mes de septiembre 2020 un valor atípico en el extremo superior.

Figura 13.

Serie Temporal de Valores Asociados al Índice de AAL para Leticia



Distribución espacial del Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Colombia

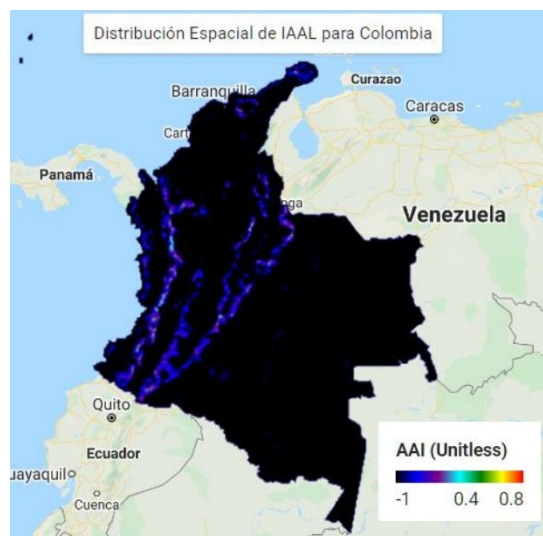
Gracias a GEE se adquirieron las siguientes gráficas en las cuales se demuestra la distribución espacial de los Aerosoles a nivel nacional para el 2019 y el 2020, lo anterior fue respaldado por un análisis a manera de versus en el cual se estipuló las diferencias y que variables interfirieron para alterar o atenuar dicho proceso.

IAAL registrados en enero de 2019 y 2020

En la Figura 14 resalta la coloración azul rey a lo largo de las tres cordilleras y en gran parte de la Guajira por lo que los valores de IAAL alcanzan el -1, se examinó a mayor profundidad la gráfica se logró establecer que en la cordillera occidental en ciudades como: Cali, Medellín hay coloración morada y azul cian que representa 0.4 de AAL es la más alta de las dos gráficas, mientras que en la cordillera central solo se observó unos trazos muy superficiales de color morado. En contraste en la Figura 15 se evidencia la coloración azul rey en menor intensidad alcanzando -1 y solo sobresale la cordillera occidental, hay baja presencia de aerosoles en 2020. Finalmente, en San Andrés y Providencia hay presencia de aerosoles para 2019 mientras para 2020 no hay presencia.

Figura 14.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en enero de 2019

**Figura 15.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en enero de 2020

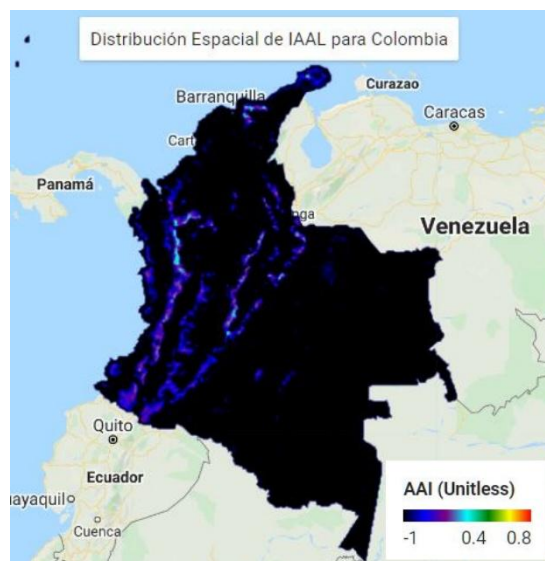


IAAL registrados en febrero de 2019 y 2020

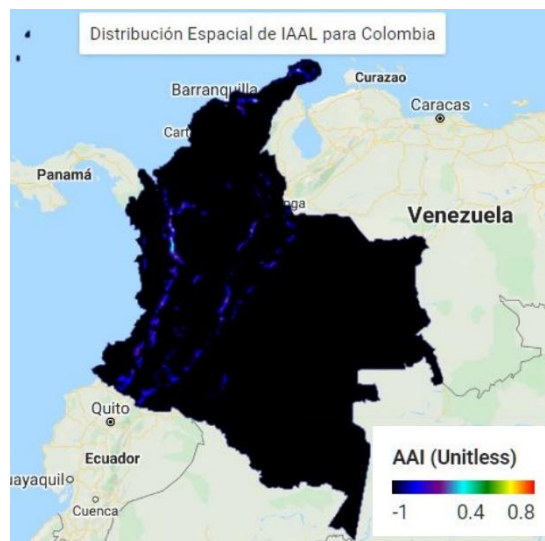
Los valores de AAL que representan la Figura 16 y la Figura 17 son bajos, pues destaca principalmente la coloración azul rey y morada que indica -1, sin embargo para el 2019 se evidencia la presencia de AAL en el Chocó así como parte de Nariño, las tres cordilleras e igualmente la alta guajira. Así mismo Medellín, Bogotá, Barranquilla, Santa Marta y el Cabo de la Vela registra coloración azul cian equivalente a 0.4 y Mulata registra en su centro coloración verde oscuro. Para el 2020 la intensidad de la coloración azul rey se minimiza pues solo se evidencia unos trazos en la cordillera occidental, en la guajira y Barranquilla, cabe resaltar que cerca de Medellín el azul cian indica que esa zona tiene presencia de aerosoles equivalente a 0.4. Por último, para San Andrés y Providencia no se registró presencia de aerosoles para ninguno de los años estudiados.

Figura 16.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en febrero de 2019

**Figura 17.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en febrero de 2020



IAAL registrados en marzo de 2019 y 2020

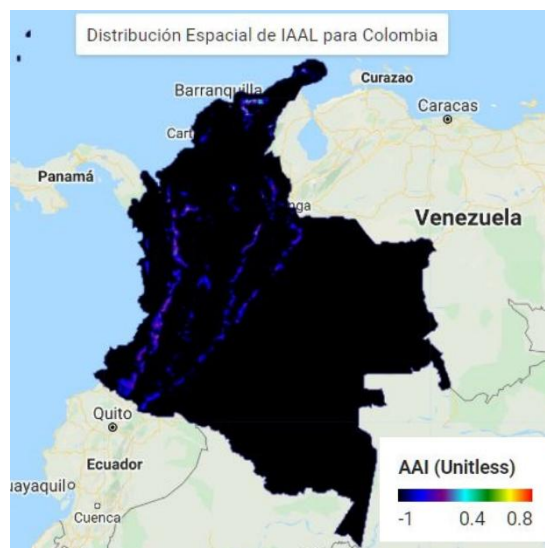
Aunque las dos gráficas presentan coloración azul rey que indica que los valores de AAL equivalen a -1, esto se intensifica aún más para el 2019 como se evidencia en la Figura 18 para el 2020 que se representa en la Figura 19 que, específicamente en el Chocó, las tres cordilleras, Arauca, Montería, Sincelejo y la Guajira, sin embargo alrededor del Parque Nacional de la Sierra Nevada de Santa Marta se resalta coloración azul cian y su centro es verde oscuro valores que se asocian a 0.4 es el más alto registrado de los dos años evaluados. En el 2020 se observa unos trazos muy superficiales de color azul rey en las tres cordilleras, así como algunos puntos de azul cian Parque Nacional de la Sierra Nevada de Santa Marta. En última instancia para 2019 en San Andrés y Providencia se registró color azul rey brillante por tanto hay presencia de aerosoles, mientras que en el 2020 carece de los mismos.

Figura 18.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en marzo de 2019

**Figura 19.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en marzo de 2020



IAAL registrados en abril de 2019 y 2020

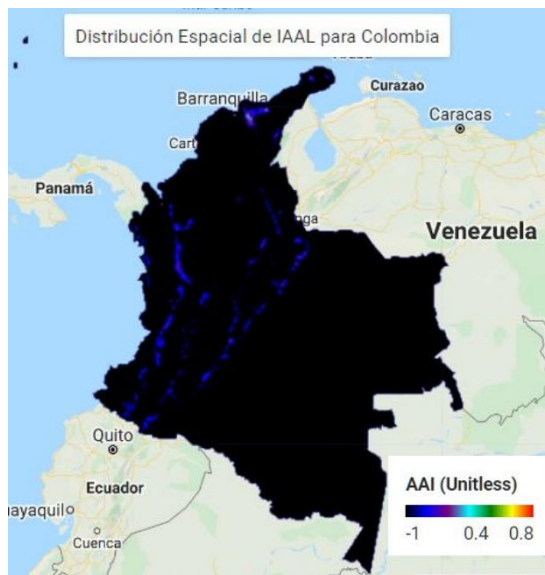
Tanto en la Figura 20 como la Figura 21 sobresale la coloración azul rey equivalente a -1 lo que a su vez indica que el IAAL es bajo, sin embargo la intensidad del azul rey es más evidente para el 2019 que para el 2020, esto se representa específicamente en la cordillera occidental, central y occidental además parte de Santa Marta y la Guajira, de igual forma el Parque Nacional de la Sierra Nevada de Santa Marta y cerca de la ciudad de Bucaramanga se observó punto de color azul cian lo que ratifica que los valores de AAL alcanzaron los 0.4. En torno al 2020 la presencia de AAL en Colombia se evidencia mínimamente en las tres cordilleras y una pequeña parte de la Sierra Nevada de Santa Marta. Finalmente, en San Andrés y Providencia se ratifica la presencia de aerosoles por la coloración azul rey, aunque está es más brillante en Providencia, en contraste en el 2020 no se evidencia presencia de aerosoles.

Figura 20.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en abril de 2019

**Figura 21.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en abril de 2020

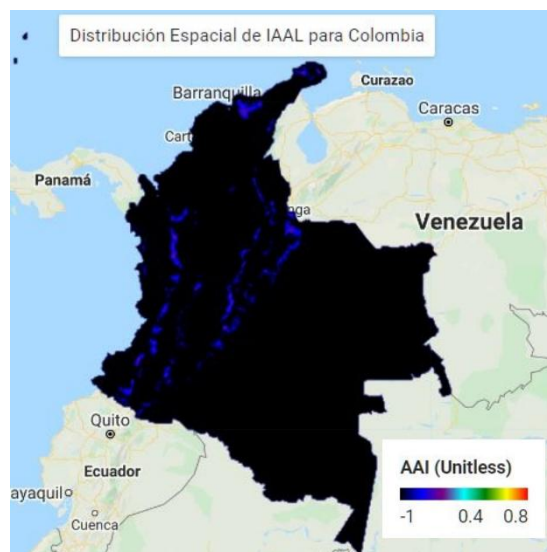


IAAL registrados en mayo de 2019 y 2020

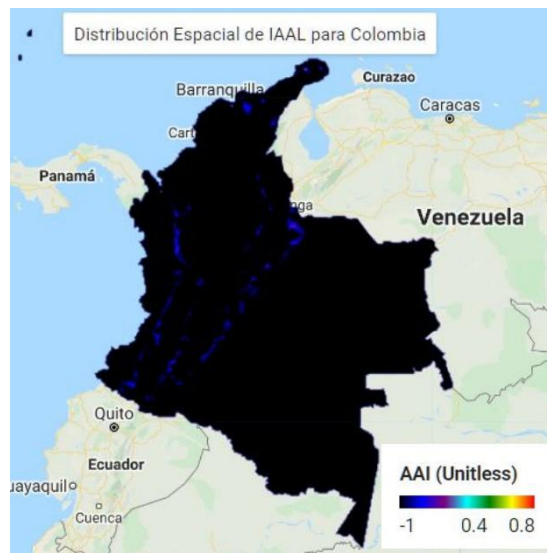
En la Figura 22 y la Figura 23 se registran un decrecimiento del IAAL puesto que la coloración en azul rey indica -1 además la intensidad del color también es baja respecto a los anteriores meses presentados, sin embargo para 2019 sobresale las tres cordilleras y el Parque Nacional de la Sierra Nevada de Santa Marta. Mientras que para el 2020 la corteza de las cordilleras es apenas representada por delgadas líneas y punto que muestra la ubicación de la Sierra Nevada de Santa Marta. En última instancia para 2019 en San Andrés hay presencia de aerosoles por la coloración azul rey opaca que se observó y Providencia tiene coloración azul rey, pero brillante, en torno al 2020 no se registró presencia de AAL.

Figura 22.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en mayo de 2019

**Figura 23.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en mayo de 2020



IAAL registrados en junio de 2019 y 2020

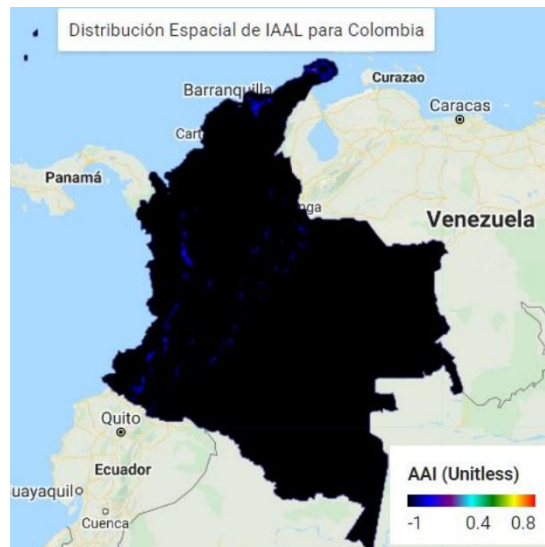
En Figura 24 los valores correspondientes al IAAL son bajos puesto que según la escala la coloración el azul rey es predominante en la gráfica que equivalente a -1, por tanto solo se resaltan las cordilleras occidental, central, oriental a su vez parte de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Guajira, en una zona conocida como Aremasahin cerca del Cabo de la Vela se evidencia una forma poco definida que alcanza 0.4 por su coloración azul cian, sin duda alguna la más alta registrada para el mes de junio de los dos años estudiados. De otro modo la Figura 25 refleja los resultados del 2020 en la que se visualizó la Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta tienen coloración azul rey mientras que las tres cordilleras son representadas por líneas muy delgas y que a la vez se entrecortan para este caso los valores correspondiente AAL son mínimos. Finalmente, para 2019 en San Andrés se evidenció color azul rey brillante mientras que en Providencia no se registró presencia de aerosoles, el 2020 carece de AAL. Por último, para 2019 en San Andrés y Providencia el color azul rey brillante se hace evidente lo que ratifica la presencia de aerosoles, mientras que para 2020 carecen de ellos.

Figura 24.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en junio de 2019

**Figura 25.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en junio de 2020

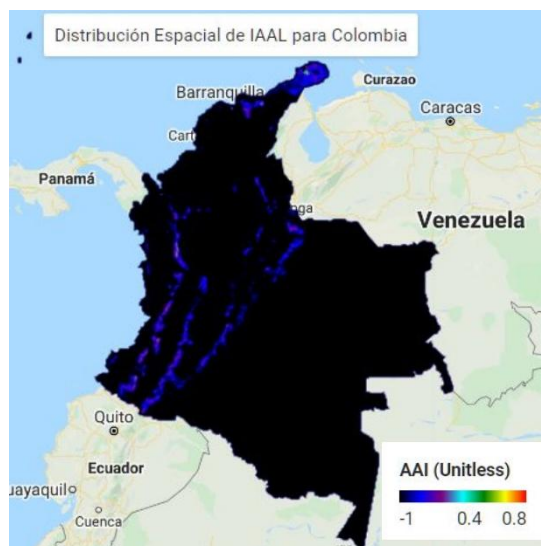


IAAL registrados en Julio de 2019 y 2020

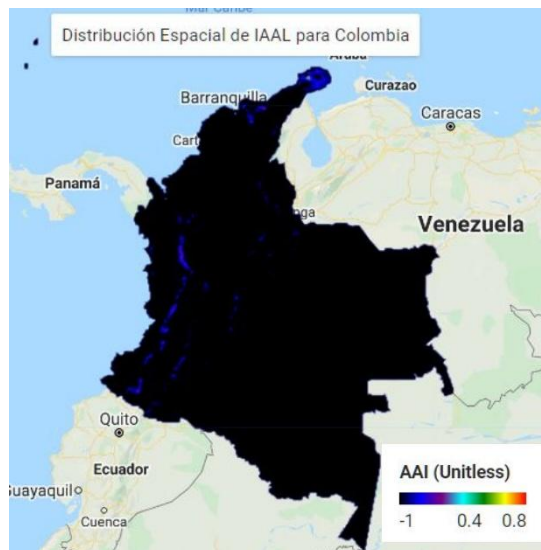
La similitud entre la Figura 26 y la Figura 27 solo radica en que la Guajira muestra coloración azul rey que representa el -1, además para el 2019 se visualizó coloración azul rey y morada en la cordillera occidental, azul para la cordillera central y oriental al igual que el Parque Nacional de la Sierra Nevada de Santa Marta por tanto la presencia de los aerosoles es mínima. Para el 2020 se registra coloración azul rey en la cordillera occidental mientras que las cordilleras: central y oriental no se pueden identificar. En última instancia en el 2019 para San Andrés se observó color azul rey brillante que es asociado a la presencia de aerosoles, mientras que para el 2020 carece de su presencia.

Figura 26.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en julio de 2019

**Figura 27.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en julio de 2020

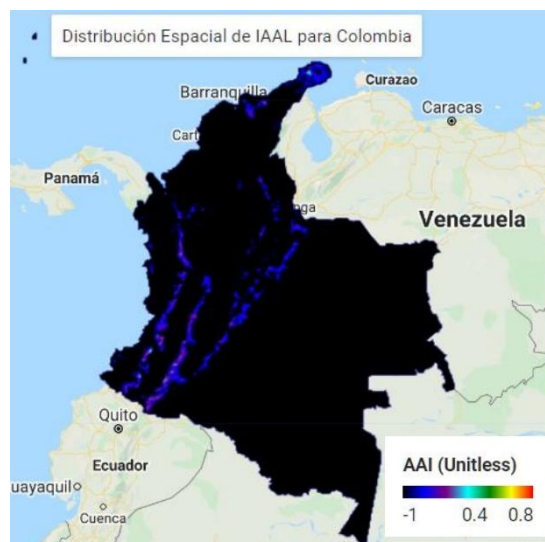


IAAL registrados en agosto de 2019 y 2020

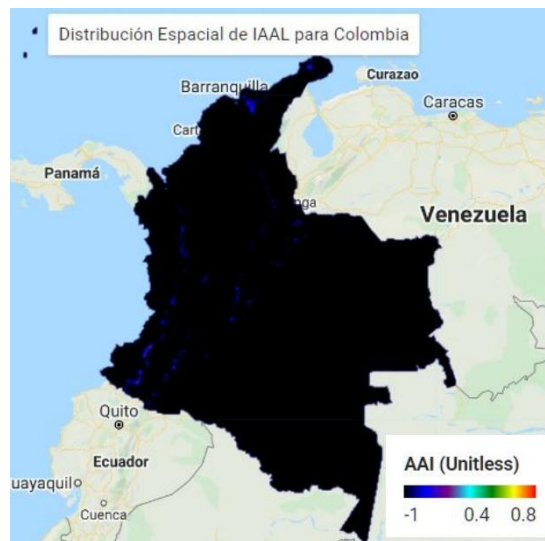
En la Figura 28 se evidenció que Colombia para agosto del 2019 registró un bajo IAAL pues en el mapa resalta principalmente el color azul rey que se encuentra distribuido en la Guajira, la cordillera oriental, así como la Sierra Nevada de Santa Marta, Chocó y Nariño. Mientras que la cordillera occidental y central en su centro tienen un color morado lo que reafirmaría la baja presencia de aerosoles, sin embargo, un lugar conocido como Piyohureka en la alta Guaira registra valores correspondientes a 0.4 por el color azul cian y en el centro de esta forma no identificada tiene color verde oscuro, por tanto, es el valor más alto que se registró en los años estudiados. La Figura 29 que alberga la información correspondiente al 2020 tiene menor intensidad del color azul rey es por ello por lo que la cordillera occidental se representa por una línea muy delgada y entrecortada, con respecto a las otras dos no se observan, aunque Piyohureka y parte del municipio de Ciénaga hay presencia del color azul rey. Finalmente, para 2019 en San Andrés y Providencia se registró presencia de AAL, mientras que para el 2020 carece de los mismos.

Figura 28.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en agosto de 2019

**Figura 29.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en agosto de 2020

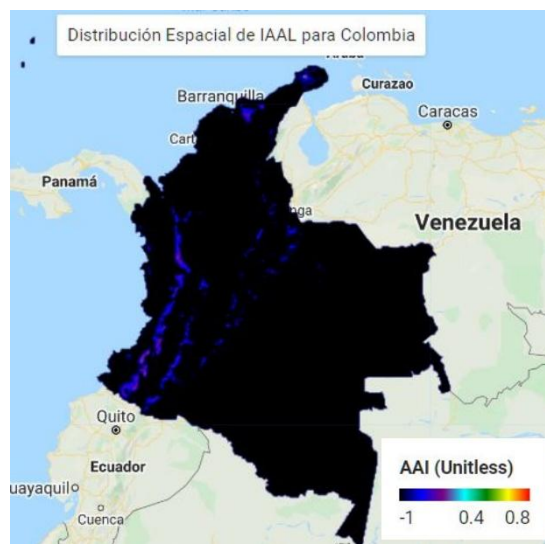


IAAL registrados en septiembre de 2019 y 2020

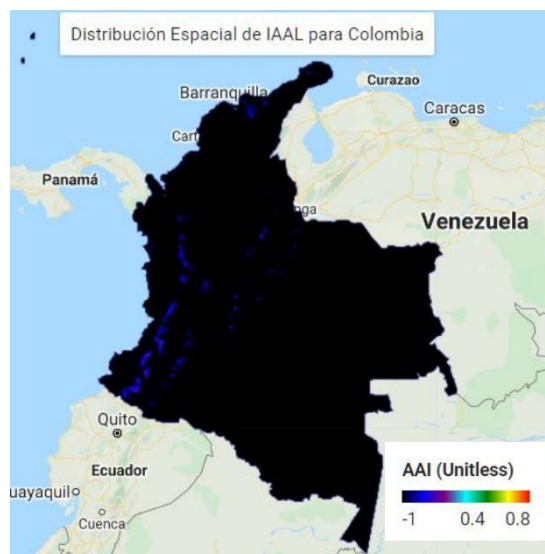
El color azul rey aparece mayormente en las dos gráficas lo que equivale a -1, por tal motivo los valores correspondientes al IAAL para los dos años evaluados son muy bajos. En la Figura 30 se evidencia el azul rey con mayor brillo en la cordillera occidental y en ciudades como: Pasto, Popayán, Cali y su centro conserva un color morado, mientras que en las cordilleras central y oriental apenas pueden identificarse, en el municipio de Ciénaga se visualiza trazos pronunciados de color azul rey. En Piyohureka en la Guajira se evidenció el color azul cian que equivale a 0.4 valor más alto de las dos gráficas. La Figura 31 se identifica la cordillera occidental representada en una línea delgada y entrecortada a su vez se encontró un círculo no muy definido en la Sierra Nevada de Santa Marta. Por último, para el 2019 en San Andrés se observó el color azul rey, pero opaco esto se asocia a la baja presencia de aerosoles y en Providencia no hay presencia de aerosoles situación que es compartida para el 2020 en la isla.

Figura 30.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en septiembre de 2019

**Figura 31.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en septiembre de 2020

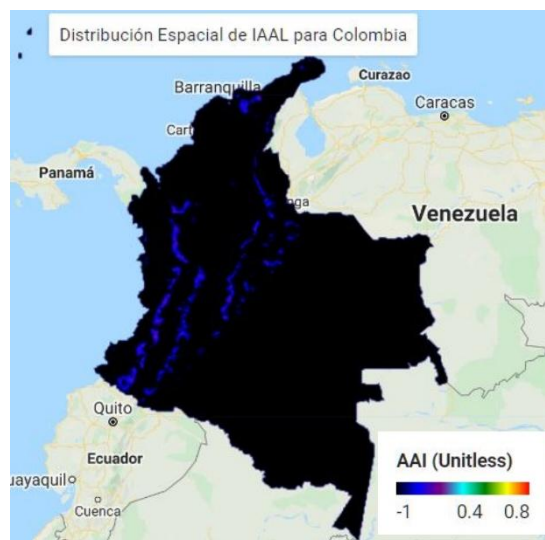


IAAL registrados en octubre de 2019 y 2020

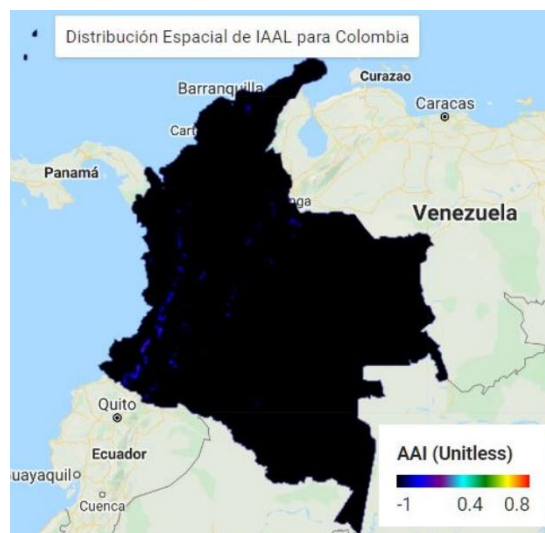
En la Figura 32 que proporciona los datos del 2019 resalta las tres cordilleras con azul rey brillante y tienen algunos puntos de color morado situación que es compartida con la Sierra Nevada de Santa Marta y Piyohureka municipio de la Guajira, dichos colores tienen una equivalencia a -1 por tanto los valores correspondientes al IAAL son bajos. En torno a la Figura 33 que alberga los datos del 2020 solo se identifica la cordillera occidental y punto en la Sierra Nevada de Santa Marta. En última instancia para San Andrés y Providencia no se registró la presencia de aerosoles para los dos años estudiados.

Figura 32.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en octubre de 2019

**Figura 33.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en octubre de 2020

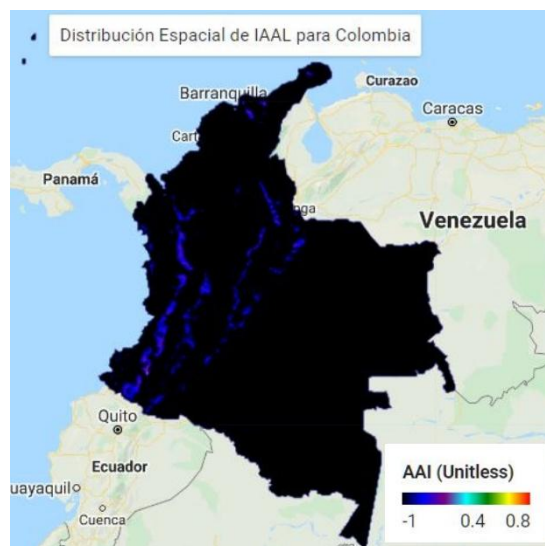


IAAL registrados en noviembre de 2019 y 2020

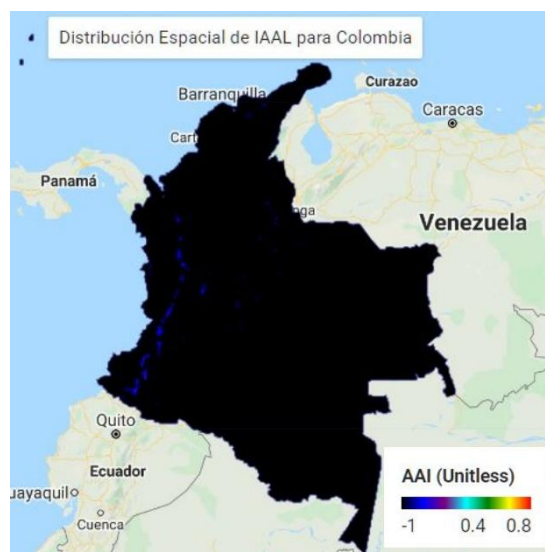
Como se evidencia en la Figura 34 las tres cordilleras, el Chocó, la Sierra Nevada de Santa Marta y parte de la Guajira son representados por el color azul brillante y en mínimas proporciones el morado, estos colores tienen una equivalencia a -1. Este acontecimiento es similar a lo que sucede en la Figura 35 aunque para este caso solo se observó la cordillera occidental y su coloración es muy opaca por tanto hay una baja presencia de AAL para el 2019 y 2020. Finalmente, para San Andrés y Providencia no se registró la presencia de aerosoles en ninguno de los dos años analizados.

Figura 34.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en noviembre de 2019

**Figura 35.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en noviembre de 2020

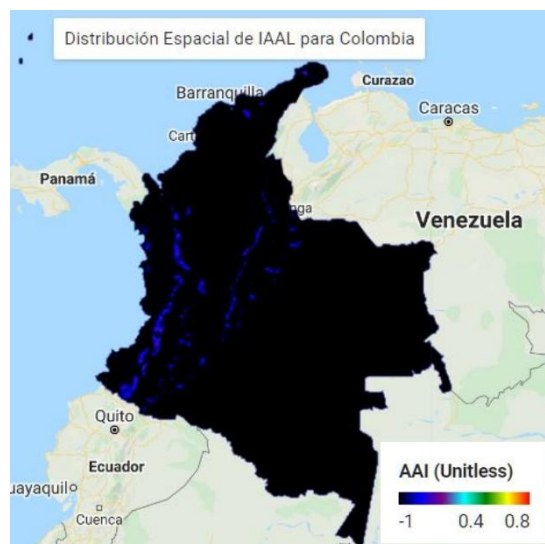


IAAL registrados en diciembre de 2019 y 2020

La Figura 36 y la Figura 37 comparten de manera parcial una similitud, puesto que las dos presentan el color azul rey como predominante, sin embargo para el 2019 este color es más brillante y es acompañado por círculos de color morado, es por ello que se evidencia la cordillera occidental, parte de la Sierra Nevada de Santa Marta y la alta Guajira, mientras que para el 2020 solo es posible identificar la cordillera occidental, estos colores son indicadores de la baja presencia de aerosoles pues su valor en número es -1. En torno a San Andrés y Providencia no se registró la presencia de AAL por la coloración oscura (negro) en su mapa.

Figura 36.

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en diciembre de 2019

**Figura 37.**

Distribución Espacial de IAAL para Colombia en diciembre de 2020



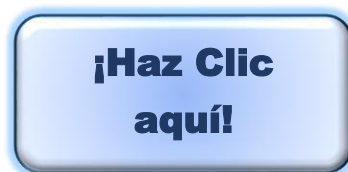
Protocolo para el Análisis de Valores asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz a partir de la plataforma Google Earth Engine

Figura 38.

Pasos para la elaboración del Protocolo



A través del siguiente botón puedes tener acceso al Protocolo para el Análisis de Valores Asociados al Índice de Aerosoles Absorbentes de Luz en Google Earth Engine, es importante resaltar que fue dispuesto así por la extensión del documento:



Nota:

Al descargar el documento debes tener precaución al seleccionar la opción de “descargar” pues está muy cerca de la opción “quitar”, pues en la mayoría de los casos se termina removiendo el documento de la carpeta en vez de descargarlo.

Conclusiones

A partir de los diagramas de cajas y bigotes correspondientes a las 12 ciudades, se determinó que la asimetría de los gráficos son positivas, esto reafirma la presencia de aerosoles aunque los valores correspondientes al IAAL son bajos en Colombia, situación que puede estar influenciada por el registro incompleto de los datos ya que en algunas ciudades carecen de datos con respecto a determinado meses, este fenómeno es ampliamente conocido como “gaps” y suele intensificarse en zonas donde la nubosidad es una constante lo que afecta el funcionamiento del infrarrojo del satélite e impide la recolección de datos, cabe aclarar que la presencia de valores atípicos además las unidades morfológicas dan optima respuesta en torno a focos de contaminación.

Las zonas Colombianas en las que ejerce mayor presencia los AAL: son la Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta y las cordilleras occidental, central y oriental, es de resaltar que la coloración del azul rey fue más brillante para el 2019 que para el 2020 por tanto el valor extremo registrado es de 0.4 y el mínimo es de -1, por tanto hay presencia de aerosoles absorbentes de luz como de aerosoles que reflejan luz pero no a gran escala como Nigeria o China, esto se debe a que las unidades morfológicas colombianas tienen diversidad de alturas así como de climas de lo contrario Colombia tendría altas temperaturas debido a su posición frente a la zona intertropical por lo que habría mayor suspensión de polvo.

Finalmente, a través del desarrollo del protocolo se identificó las diferentes opciones que ofrecen Google Earth Engine para facilitar al usuario su manejo, obtención y optimización de los resultados, paralelamente a ello las limitaciones que tiene la información satelital.

Recomendaciones

Para solucionar errores que aparezcan en la consola de GEE, se debe identificar la línea en la que se encuentra la falencia, si desafortunadamente persiste se debe realizar la consulta a través del icono de pregunta ubicado en la parte superior derecha y seleccionar: “other support options” o también se puede presionar el botón de enseguida que tiene un signo de admiración, en caso de no tener solución realizar la búsqueda de foros es de mucha utilidad.

Al momento de obtener la información exacta sobre determinada ciudad se puede importar a la plataforma el archivo Shapefile que alberga la forma del municipio, para ello siempre se debe comprimir la carpeta en. Zip ya que esta extensión es la única que permite la plataforma (en torno a archivos comprimidos).

Para tener un mayor orden en el code editor de GEE se debe comentar de cada uno los pasos que contenga el script así se evitan errores y desconocimiento de las funciones de cada sección del código.

El manejo de los comandos facilita e incluso agiliza las herramientas que ofrece GEE, aunque existen algunos que no funcionan, pues dichos están diseñados para teclados norteamericanos no latinos, tal y como se evidencia con el comando para comentar o quitar comentarios,

Referencias

Aerosol Optical Depth (AOD) - Servir. (2009). Aerosol Optical Depth (AOD).

[https://www.servir.net/haiti-earthquake-2010/69-smog-blog-help-files/386-aerosol-optical-depth-\(aod\).html](https://www.servir.net/haiti-earthquake-2010/69-smog-blog-help-files/386-aerosol-optical-depth-(aod).html)

Almanza, J. A. (2020, February 11). Incendios en Meta dejan miles de hectáreas de bosques consumidas | RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/colombia/llanos/incendios-en-meta-dejan-miles-de-hectareas-de-bosques-consumidas>

Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable PM 10 *.

<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727348012.pdf>

Ardila Arias, N. (2020, March 3). Efectos de los incendios en parques naturales de Meta y Vichada - Otras Ciudades - Colombia - ELTIEMPO.COM.

<https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/efectos-de-los-incendios-en-parques-naturales-de-meta-y-vichada-468340>

Avantel. (2020). ¿Qué es un algoritmo en programación y para qué sirve? | Avantel.

<https://www.avantel.co/blog/tecnologia/que-es-un-algoritmo-programacion-para-que-sirve/>

Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005

Belalcázar Cerón, L. C., Guevara Luna, M. A., Guevara Luna, F. A., & Méndez Espinosa, J. F. (2018). Spatial and Temporal Assessment of Particulate Matter Using AOD Data from MODIS and Surface Measurements in the Ambient Air of Colombia. Asian Journal of

Atmospheric Environment, 12(0), 165–177.

<https://doi.org/https://doi.org/10.5572/ajae.2018.12.2.165>

Brochero, H., Conn, J., Jiménez, P., & Wirtz, R. (2011, July 15). Anopheles (Díptera: Culicidae) vectores de malaria en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572012000500003

Cadena, M., Guzmán, D., & Ruíz, J. F. (2014). Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Regionalizaci%25C3%25B3n%2Bde%2Bla%2Bluvia%2Ben%2BColombia.pdf/92287f96-840f-4408-8e76-98b668b83664>

Caracol-Radio. (2020). Bucaramanga calidad aire dañino incendios: Incendios en Venezuela afectan calidad del aire | Bucaramanga | Actualidad | Caracol Radio.

https://caracol.com.co/emisora/2020/03/31/bucaramanga/1585671599_628742.html

Cátedra Norte de Santander. (2021). Unidad 4 | Cátedra Norte de Santander.

<https://rejos61.wordpress.com/unidad-4/>

Chimá, W. (2020, December 28). Bomberos han atendido 998 incendios en el año | EL

UNIVERSAL - Cartagena. <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/bomberos-han-atendido-998-incendios-en-el-ano-HY3980876>

Ciudad Vegana. (2018, April 23). Before the Flood.

<https://www.youtube.com/watch?v=8UqBuUSn3hY&t=4768s>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. (2020). Establecen Posibles Causas De Contaminación Del Aire en el Sur de Cali. <https://www.cvc.gov.co/2020014>

DANE. (2021). Cuentas nacionales departamentales.

<https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/65-espanol/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>

de Graaf, M., Stammes, P., Torres, O., & Koelemeijer, R. B. A. (2005). Absorbing Aerosol Index: Sensitivity analysis, application to GOME and comparison with TOMS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D1), 1–19.

<https://doi.org/10.1029/2004JD005178>

Delgado, C. (2019). 5 datos sobre contaminación del aire en Medellín | UPB.

<https://www.upb.edu.co/es/central-blogs/divulgacion-cientifica/contaminacion-aire-medellin>

El Ágora Diario. (2020). La Revolución Industrial dejó Huella en el Hielo del Himalaya.

<https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/cambio-climatico/himalaya-revolucion-industrial-gases-invernadero-hielo/>

El País. (2015). Tiempo seco, pero con lluvias esporádicas, prevalecerá en febrero en el Valle:

CVC. <https://www.elpais.com.co/valle/tiempo-seco-pero-con-lluvias-esporadicas-prevalecera-en-febrero-en-el-cvc.html>

El Tiempo. (2020a, March 30). Crisis en Cúcuta por quemas de basura en Venezuela - Otras

Ciudades - Colombia - ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/crisis-en-cucuta-por-quemas-de-basura-en-venezuela-478876>

El Tiempo. (2020b, December 4). Bogotá: Aumenta la concentración de contaminantes - Bogotá

- ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-aumenta-la-concentracion-de-contaminantes-552966>

Forero Castro, D. D. (2019). Metodología para la Incorporación de Datos del Sensor Tropomi del Satélite Sentinel 5p al Monitoreo de la Calidad del Aire en Bogotá D.C.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23649/ForeroCastroDiegoDaniel2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

García, J. (2008). Planes de Mejora de la Calidad del Aire: Análisis de Ejemplos más Conocidos.

<https://www.eoi.es/es/file/17051/download?token=fDF2QeNr>

González Barajas, L. J., & Sarmiento Delgado, N. M. (2017). Evaluación Quimiométrica del IRCA 2 Evaluación Quimiométrica del Índice de Riesgo de la Calidad.

https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10792/Nestor_Sarmiento-LeidyGonzalez-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Google Earth Engine. (2018a). Sentinel-5P Datasets in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog | Google Developers. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>

Google Earth Engine. (2018b). Sentinel-5P OFFL AER AI: Offline UV Aerosol Index.

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_AER_AI#description

Google Earth Engine. (2021). Google Earth Engine – Google Earth Education.

https://www.google.com/intl/es_in/earth/education/tools/google-earth-engine/

Hernández Garces, A. (2016). Sistema de evaluación de la dispersión episódica de contaminantes atmosféricos. <http://hdl.handle.net/10347/14858>

Heyder, J. (2009). Definition of an Aerosol. [Http://Www.Liebertpub.Com/Jam](http://Www.Liebertpub.Com/Jam), 4(3), 217–221.

<https://doi.org/10.1089/JAM.1991.4.217>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Barranquilla.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Cali.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Cartagena.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Ibagué.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Leticia.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Puerto Carreño.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de San Andrés.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999). Rosa de los vientos de Santafé de Bogotá.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (1999, June 1). Rosa de los vientos de Medellín.

<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

IDEAM. (2014). Distribución de la Temperatura Máxima Media Anual-Promedio Multianual.

http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Tmax_anual.pdf

IDEAM. (2014). Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos El Niño y La Niña en Bogotá-Cundinamarca (1951-2012).

<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19771>

IDEAM. (2021). Archipiélago de San Andrés y Providencia.

http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/san-andres_texto.pdf

Méndez, J. F., Pinto Herrera, L. C., & Belalcázar Cerón, L. C. (2018). Estudio de una intrusión de polvo sahariano en la atmósfera de Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(32), 17–34. <https://doi.org/10.22395/RIUM.V17N32A1>

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>

Moreno, M. (2020, April 17). ¿Por qué empeoró, otra vez, la calidad del aire? - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/por-que-empeoro-otra-vez-la-calidad-del-aire-485668>

Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1), 16–25.

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Pimple, U., Simonetti, D., Sitthi, A., Pungkul, S., Leadprathom, K., Skupek, H., Som-ard, J.,

- Gond, V., & Towprayoon, S. (2018). Google Earth Engine Based Three Decadal Landsat Imagery Analysis for Mapping of Mangrove Forests and Its Surroundings in the Trat Province of Thailand. *Journal of Computer and Communications*, 6, 247–264. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/jcc.2018.61025>
- Ramírez-Cerpa, E., Acosta-Coll, M., & Vélez-Zapata, J. (2017). Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia. *Idesia (Arica)*, 35(2), 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000023>
- Robledo-Delgado, V. (2020). Validación de Datos Satelitales de Irradiancia Solar de Goes-East sobre Medellín-Colombia. http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15085/1/RobledoVanessa_2020_ValidacionDatosSatelitales.pdf
- Rubio, A., Lissi, E., Riveros, V., & Paez, M. (2001). Remoción de Contaminantes por Lluvias y Rocíos en la Región Metropolitana. *Boletín de La Sociedad Chilena de Química*, 46(3), 353–361. <https://doi.org/10.4067/S0366-16442001000300014>
- Sarmiento Carillo, S. J. (2019). La Contaminación Ambiental en la Ciudad de Bucaramanga y el Efecto en la Salud de sus Habitantes [UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28451/37860379.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schneider, P., Hamer, P. D., Kylling, A., Shetty, S., & Stebel, K. (2021). Spatiotemporal Patterns in Data Availability of the Sentinel-5P NO₂ Product over Urban Areas in Norway. *Remote Sensing* 2021, Vol. 13, Page 2095, 13(11), 2095. <https://doi.org/10.3390/RS13112095>

Semana. (2020). Incendios forestales aumentaron en Brasil durante 2020.

<https://www.semana.com/internacional/articulo/balance-de-los-incendios-forestales-en-brasil-durante-el-2020/311147/>

Tropomi. (2021). Home | Tropomi. <http://www.tropomi.eu/>

Váquiro Capera, C., Reinoso Flórez, G., & Guevara, G. (2020). Estadios ninfales de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) y su relación con variables fisicoquímicas en tres microcuencas del río Combeima (Ibagué, Colombia). *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 458–470.

<https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.951>

Vega, M. (2021). Colombia País. <https://www.colombiapais.com/pagina-informacion/ubicacion-colombia/ubicacion-de-colombia.html>

Vielma, M. (2020, July 6). Focos de calor e incendios forestales y de vegetación en Venezuela durante la temporada de sequía entre 2019 y 2020 - Observatorio de Ecología Política de Venezuela. <https://www.ecopoliticavenezuela.org/2020/07/06/focos-de-calor-e-incendios-forestales-y-de-vegetacion-en-venezuela-durante-la-temporada-de-sequia-entre-2019-y-2020/>

WWF. (2020). El llamado por incendios en la Amazonia colombiana en la cuarentena | WWF.

<https://www.wwf.org.co/?361950/El-llamado-por-incendios-en-la-Amazonia-colombiana-en-la-cuarentena>