

ANÁLISIS CORRELACIONAL DE PUNTOS DE CALOR (INCENDIOS) Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE, HONDURAS (2020)

Javier Enrique Meza^{1,*}

¹Observatorio Universitario de Ordenamiento Territorial (OUOT)
Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 09-02-2024

Aceptado: 06-05-2024

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v15i1.18148>

RESUMEN

En la actualidad hay una gran cantidad de información geoespacial disponible de forma gratuita sobre emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y puntos de calor. Este estudio buscó en 2020 establecer una correlación entre puntos de calor y su efecto en la calidad del aire hondureño. Las tecnologías geoespaciales facilitaron la adquisición, descarga y análisis de datos de contaminación y detección de puntos de calor. Los incendios aumentan los gases atmosféricos perjudiciales, el análisis encontró que los departamentos de Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios son los más afectados por puntos de calor (incendios). Además, Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho como los que presentan mayores variaciones en los niveles de afectación en la calidad del aire de los cuatro gases analizados el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y Aerosoles.

Palabras clave: Calidad del aire, Puntos de calor, Gases de efecto de invernadero, Sensores remotos, Correlación.

ABSTRACT

There is currently a wealth of geospatial information available for free on Greenhouse Gas (GHG) emissions and hot spots. This study sought in 2020 to establish a correlation between hot spots and their effect on Honduran air quality. Geospatial technologies facilitated the acquisition, download and analysis of pollution data and hot spot detection. Fires increase harmful atmospheric gases, the analysis noted that the departments of Olancho, Francisco Morazán and Gracias a Dios are the most affected by hot spots (fires). In addition, Yoro, Córtes, Atlántida, the north of Francisco Morazán and Comayagua, and the northwest of Olancho as those that present greater variations in the levels of affectation in the air quality of the four gases analyzed: carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and aerosols.

Keywords: Air quality, Heat points, Greenhouse gases, Remote sensors, Correlation.

1 Introducción

En las últimas décadas, el aumento de la aplicación del fuego como herramienta para el cambio de uso de la tierra ha dado lugar a la aparición más frecuente de episodios prolongados de incendios y humos con

*javier.meza@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0000-0001-8409-4769>

consecuencias para la salud y la seguridad humana. Algunos de estos eventos se han asociado con sequías que se atribuyen a la variabilidad climática interanual o a las posibles consecuencias del cambio climático regional. Los efectos transfronterizos de la contaminación por el humo del fuego de la vegetación son un argumento impulsor para desarrollar políticas internacionales para abordar las causas subyacentes para evitar la aplicación excesiva de incendios, y para establecer prácticas sólidas de gestión de incendios y humos y protocolos de cooperación en la gestión de incendios forestales a nivel internacional. (Goldammer *et al.*, 2008)

En Honduras, la temporada alta de incendios suele comenzar a mediados de marzo y dura alrededor de 12 semanas. Se notificaron 4.599 alertas de incendios VIIRS entre el 2 de diciembre de 2019 y el 23 de noviembre de 2020, teniendo en cuenta únicamente las alertas de alta confianza. Esto es inusualmente alto en comparación con años anteriores que se remontan a 2012 (Global Forest Watch, 2020).

En un mundo moderno, las emisiones atmosféricas deben considerarse desde una perspectiva global. Mientras que algunas personas disfrutan de la comodidad, la velocidad de las comodidades modernas y los lujos proporcionados por consumo de energía, otros están sufriendo las emisiones atmosféricas resultantes, con o sin intención (Zhongchao Tan, 2014).

La quema de bosques o escombros forestales representa un caso especial en el que los sistemas forestales suministran contaminantes del aire a la atmósfera. Los incendios se pueden dividir convenientemente en incendios naturales y quemaduras prescritas (de gestión). Los incendios prescritos se fijan y controlan artificialmente y están destinados a lograr objetivos de gestión forestal (Smith, 1981).

En Honduras no se tiene información de la emisión de gases producto de los incendios forestales y quemaduras agrícolas específicamente de la distribución espacial y temporal de estos Gases de Efecto de Invernadero (GEI), lo cual es sumamente importante para el país. “El conocimiento sobre su distribución espacial y temporal es fundamental para establecer medidas de mitigación en el marco del cambio global, y reducir sus dimensiones y afectaciones en los sectores ambiental y social” Cruz López (2018).

Esta investigación aborda el efecto de los incendios en la calidad del aire, para lo cual se realizó un análisis correlacional de puntos de calor (incendios) y sus efectos en la calidad del aire en Honduras durante, 2020. Los incendios liberan gases, humo y partículas tóxicas en la atmósfera, lo cual tiene un impacto negativo en la calidad del aire lo que supone riesgos significativos para la salud de la población. Entre los problemas de salud asociados se encuentran enfermedades respiratorias y cardiovasculares, entre otros. Además, los incendios forestales también contribuyen al calentamiento global al liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Una de las características importantes de los sensores remotos es que tienen la capacidad de monitoreo global de los diferentes fenómenos que se dan en la superficie, lo que permite el monitoreo del humo producto de los incendios forestales y quemaduras agrícolas activas, esto permite identificar la ubicación y comportamiento de estos, favoreciendo la visualización sus impactos en la calidad del aire. Las porciones ultravioletas, de infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, infrarrojo térmico y microondas del espectro proporcionan información valiosa que es invisible para el ojo humano. Como ejemplo, la porción infrarroja térmica del espectro nos permite estudiar la distribución espacial de las temperaturas del agua de efluentes cerca de las centrales nucleares, así como la detección de incendios forestales, temperaturas de la superficie del mar y corrientes marinas, y estrés hídrico en los cultivos (Chuvieco, 2015).

En cuanto a los sensores remotos para detección de la contaminación del aire se puede decir que están fundamentados en el monitoreo y determinación basada en la Observación de la Tierra de AOT. Esta puede utilizarse directa o indirectamente como herramienta para evaluar y medir el nivel de contaminación

atmosférica. Las mediciones de PM10 y PM2.5 están asociadas con los valores de AOT como se muestra en Hadjimitsis et al. y Lee et al. citados por (Filonchuk y Yan, 2018).

Un contaminante del aire es cualquier materia o gas de partículas, o combinación de estos, que no sea vapor de agua. Cualquier sustancia en aire que, en concentraciones elevadas, podría hacerles daño a los seres humanos, animales, vegetación u otro material. Los contaminantes incluyen casi cualquier composición natural o artificial de materia aerotransportada, o materia capaz de ser aerotransportada. Las formas pueden ser partículas sólidas, gotitas líquidas, gases, o una combinación de estos (US EPA, 2021).

Los niveles de contaminación del aire siguen siendo peligrosamente altos en muchas partes del mundo. Nuevos datos de la OMS muestran que 9 de cada 10 personas respiran aire que contiene altos niveles de contaminantes. La OMS estima que alrededor de 7 millones de personas mueren cada año por exposición al aire contaminado. La contaminación del aire ambiental por sí sola causó alrededor de 4,2 millones de muertes en 2016 (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Para medir la calidad del aire es importante conocer el índice de calidad del aire, el cual es un indicador para informar de la calidad diaria del aire a el público en general. Simplemente, es un intento de responder a la pregunta: ¿Qué tan limpio o contaminado es el aire hoy? Proporciona información sobre qué efectos en la salud podrían experimentar las personas dentro de unas pocas horas o días de la respiración de aire contaminado. La EPA calcula el AQI para cinco contaminantes importantes regulados por La Ley de Aire Limpio: Ozono a nivel del suelo, Material Particulado, Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno (Lutgens et al., 2019).

Los incendios forestales y las quemadas agrícolas afectan todos los años la calidad del aire en Honduras. Esta investigación es un avance importante en el país por la problemática que representan los incendios y su correlación con la calidad del aire. En el orden de las ideas anterior, este es un aporte práctico e innovador, porque permite tener información mediante el uso de sensores remotos y sus componentes los que facilitan la obtención de información espacial y temporal de forma gratuita, confiable y actualizada a escala nacional, esto aporta nuevos elementos de evaluación y análisis que deben ser considerados para una adecuada gestión territorial, por lo que esta investigación da respuesta a esta problemática a través de un enfoque y visión innovadora al analizar el problema que estos provocan a lo largo y ancho del país en los meses críticos de 2020.

2 Metodología

Área de Estudio

Según los datos Instituto de Conservación Forestal en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del año 2018, se muestra que El 56 % del territorio está cubierto de bosque, ver Figura 1, lo que representa en extensión territorial de 63,154 km² de la superficie total del país. El 17 % corresponde a bosques de coníferas y 35.45 % corresponde a bosques latifoliados y de mangle. (ver Figura 1). Para la definición del área de estudio, se tomó Honduras país que se encuentra ubicado en Centro América, su superficie territorial es de 112,492 km². Para poder entender la distribución espacial y temporal de los incendios forestales y quemadas agrícolas y como estos influyen en la calidad del aire, se consideró toda la geografía nacional (SIGMOF, 2021).



Figura 1: Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra, Honduras 2018 (SIGMOF, 2021).

Recolección y análisis de la información de puntos de calor (Incendios)

Los puntos de calor fueron descargados de la página de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México (CONABIO), en donde hay un registro histórico de los puntos de calor, que es, cualquier punto de la superficie terrestre que emita suficiente temperatura, para que el píxel de una imagen de satélite lo reporte con una temperatura elevada en comparación con sus vecinos y cumpla con los umbrales establecidos en el algoritmo.

Los puntos de calor corresponden a los detectados por la plataforma VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) los cuales se toman a partir de 2014. Sensores abordo del satélite Soumi-NPP y JPSS-1, los que tiene una resolución espacial de 375m por 375m, que equivalen 14.0625 hectáreas por punto de calor, así mismo tienen una resolución temporal de menos de 24 horas, lo que les permite abarcar el territorio hondureño al menos 4 veces al día, cada sensor. El resultado final del conteo fue un total de 104,520 puntos de calor detectados, de estos 61,155 corresponden el VIIRS JPSS-1 y VIIRS S-NPP con un total de 43,365 ver 5. Posteriormente haciendo uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, se clasificaron por departamentos, por municipios y por mes del año, como se observa en la Figura 2.

Además, haciendo uso de herramientas de estadísticas de Sistemas de Información Geográfica se calculó la densidad de puntos de calor Kernel a nivel nacional y a nivel departamental, resultando las áreas con mayor densidad los departamentos de Olancho, y Francisco Morazán, este cálculo estadístico permite visualizar cómo se distribuyen los datos en un espacio, mostrando la probabilidad de encontrar un punto en una zona determinada. 3.

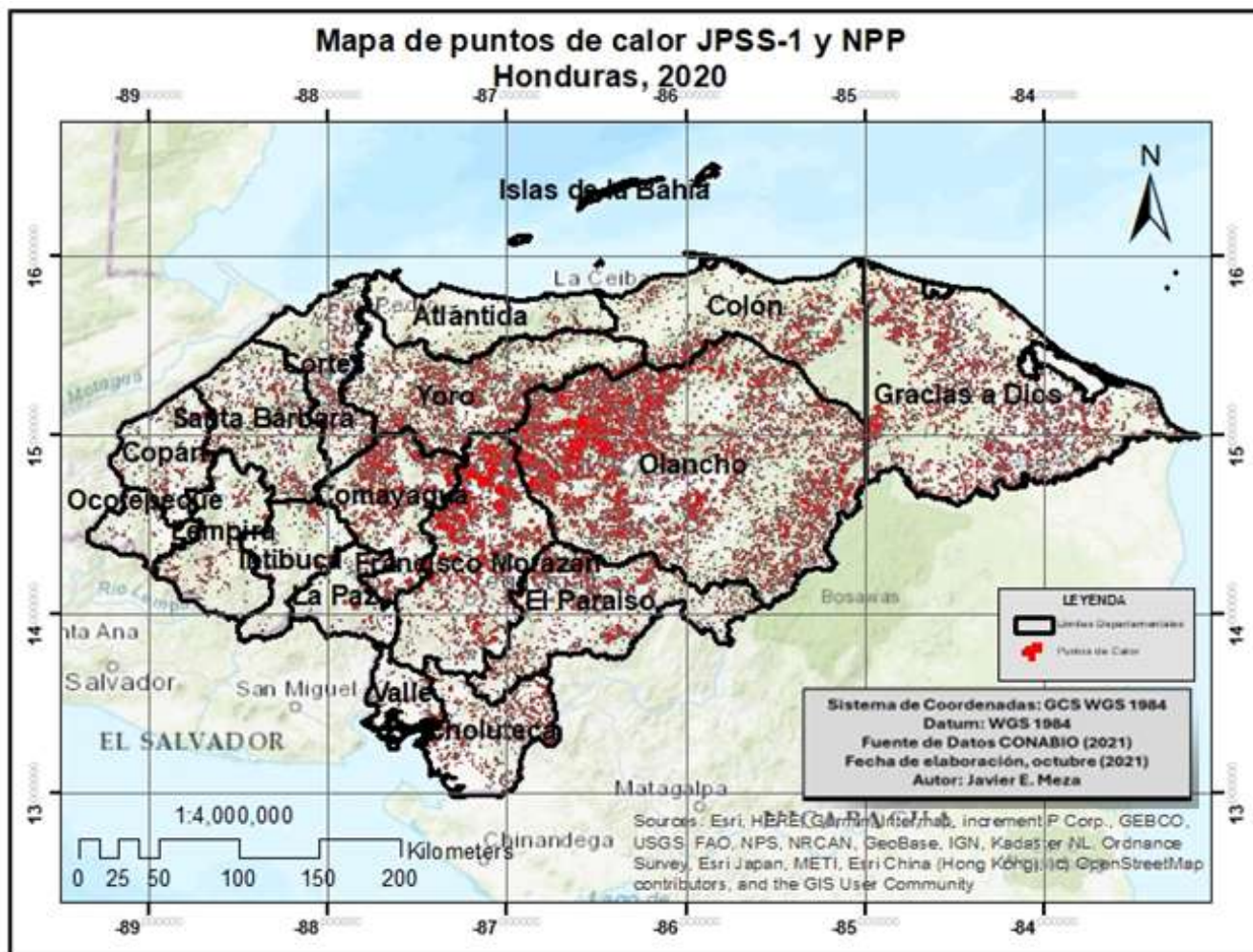


Figura 2: Mapa de Puntos de Calor JPSS-1 y NPP, Honduras 2020. Fuente: Elaboración propia Fuente datos puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021).

Seguidamente se realizó un análisis espacial para identificar cual fue la cobertura afectada según puntos de calor en base al Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra del 2018, generado por el Instituto de Conservación Forestal, esto con el propósito de identificar las coberturas de bosque más afectadas. Se encontró que la mayor cantidad de puntos de calor están en la cobertura de bosque de pino y la cobertura de pastos y cultivos (Figura 4).

Se puede observar en la Figura 5, que los departamentos más afectados por número total de puntos de calor son Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios. Así mismo, los departamentos menos afectados por cantidad de puntos de calor fueron: Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Otro aspecto importante para resaltar es que el hay 265 municipios que presentaron anomalías con los puntos de calor, siendo Catacamas, Puerto Lempira y Gualaco los municipios que más anomalías o puntos de calor presentaron. Solo 33 municipios no presentaron puntos de calor durante los meses de estudio los que representan el 11 % del total de los municipios.

Se puede observar en la Figura 5, que los departamentos más afectados por número total de puntos de

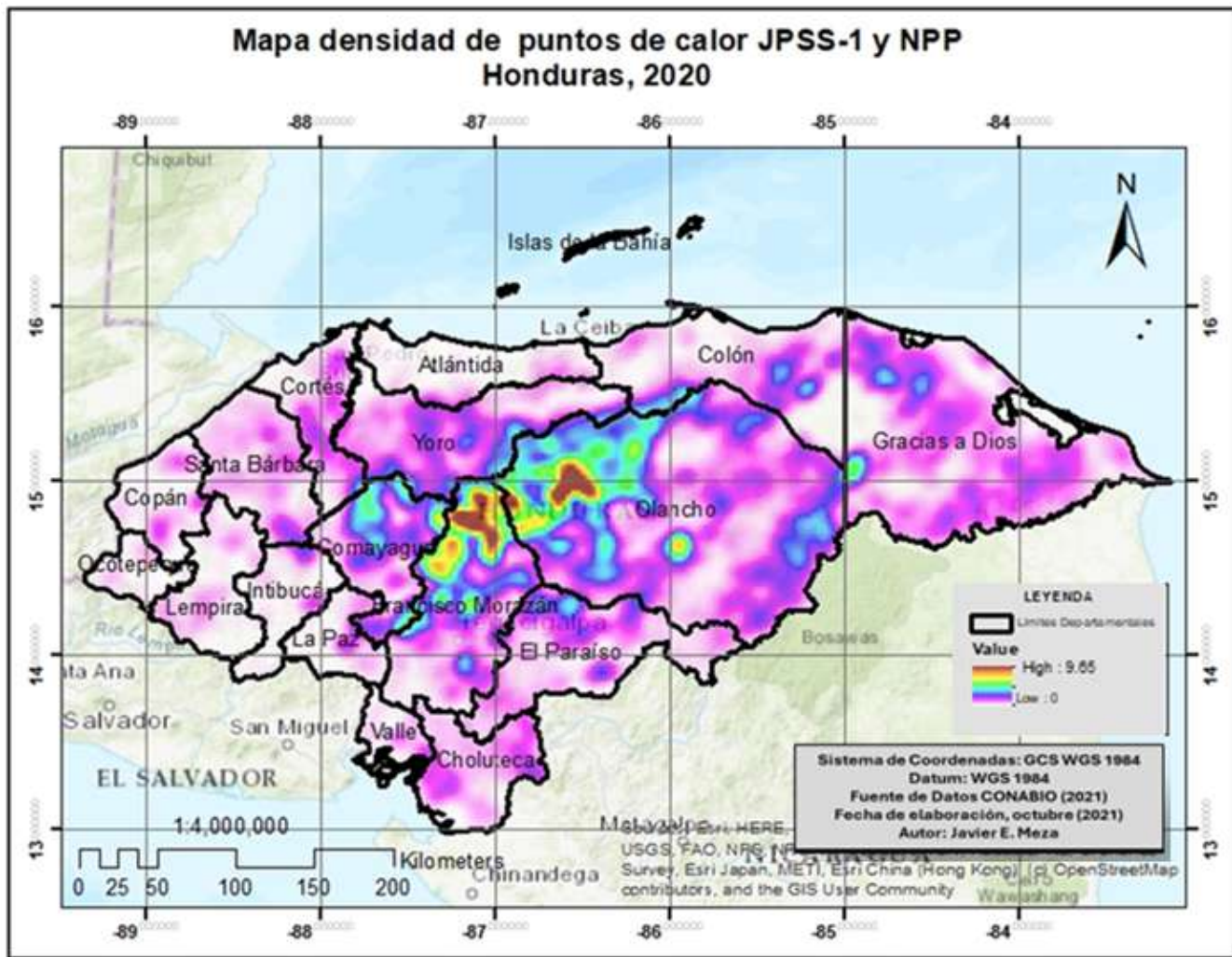


Figura 3: . Mapa de Densidad de Kernel de Puntos de Calor JPSS-1 y NPP, Honduras enero a diciembre, 2020. Fuente: Elaboración propia, utilizando datos de puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021).

calor son Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios. Así mismo, los departamentos menos afectados por cantidad de puntos de calor fueron: Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Otro aspecto importante para resaltar es que el hay 265 municipios que presentaron anomalías con los puntos de calor, siendo Catacamas, Puerto Lempira y Gualaco los municipios que más anomalías o puntos de calor presentaron. Solo 33 municipios no presentaron puntos de calor durante los meses de estudio los que representan el 11 % del total de los municipios.

Recolección y análisis de información de gases contaminantes para la variable calidad del aire.

El proceso consistió en descargar imágenes de satélite del Sentinel 5P, este es un satélite lanzado el 13 de octubre de 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la contaminación del aire. El sensor a bordo se conoce con frecuencia como Tropomi (Instrumento de monitoreo Troposférico). Todos los conjuntos de datos de S5P, excepto CH_4 , tienen dos versiones: Near Real-Time (NRTI) y Offline (OFFL).

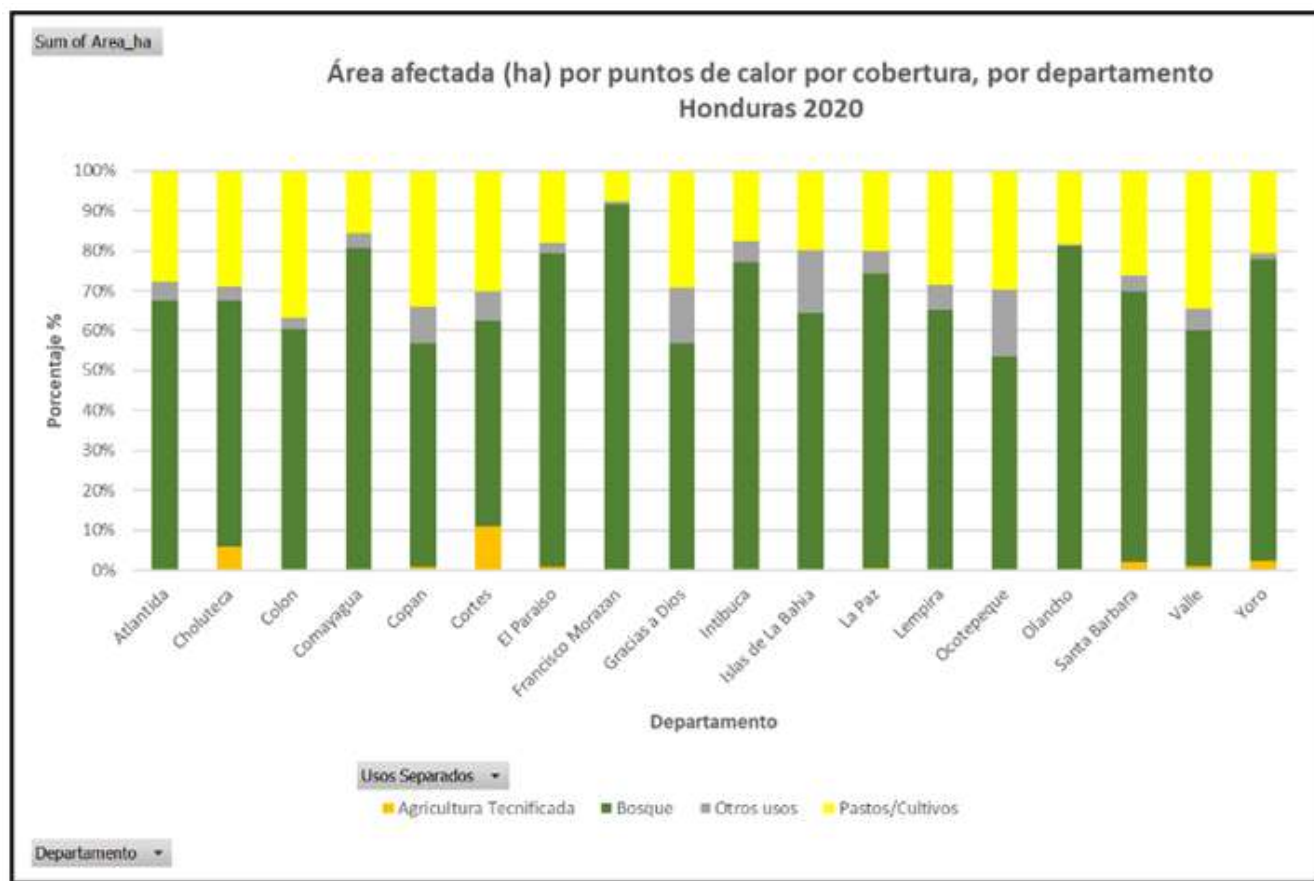


Figura 4: Área afectada puntos de calor por cobertura por departamento, 2020. Fuente: Elaboración propia, utilizando datos de superficie por puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

CH_4 solo está disponible como OFFL. Los activos NRTI cubren un área más pequeña que los activos OFFL, pero aparecen más rápidamente después de la adquisición. Los activos de OFFL contienen datos de una sola órbita (que, debido a que la mitad de la Tierra está oscura, contiene datos solo para un solo hemisferio). Debido al ruido en los datos, a menudo se observan valores de columna verticales negativos, en particular en regiones limpias o para bajas emisiones de SO_2 (GEE, 2020)

Para la descarga de la información se utilizó la plataforma de Google Earth Engine, que permite trabajar con datos satelitales a escala planetaria para datos y análisis de las ciencias de la Tierra 6. A la vez se utilizó un código para descarga, para cada gas seleccionado e imagen del área de estudio. En cada código se analizó cada banda para el estudio del comportamiento de cada gas en un periodo de un mes, durante 12 meses (GEE, 2020).

Se obtuvieron 12 imágenes de satélite para cada uno de los gases de los meses de enero a diciembre de 2020: CO , NO_2 , SO_2 , y los Aerosoles, para un gran total de 48 imágenes de satélite para el periodo de estudio. Todas estas imágenes fueron procesadas utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, para realizar el análisis estadístico calculando los valores mínimos, máximos, desviación estándar, media y sumatoria de valores de cada gas, por departamento por mes. Se obtuvo un total de 12 tablas estadísticas con los diferentes niveles de los gases para realizar comparaciones y para comparar cada uno de los estadísticos para cada departamento.

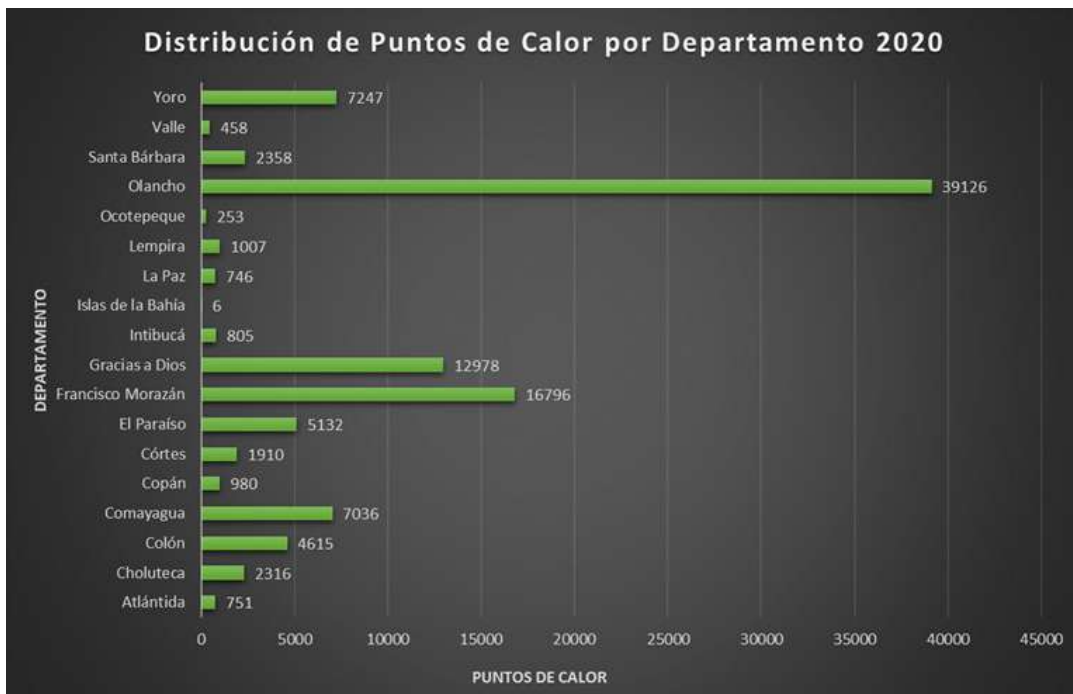


Figura 5: Distribución de puntos de calor por departamento, 2020. Fuente: Elaboración propia utilizando datos puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

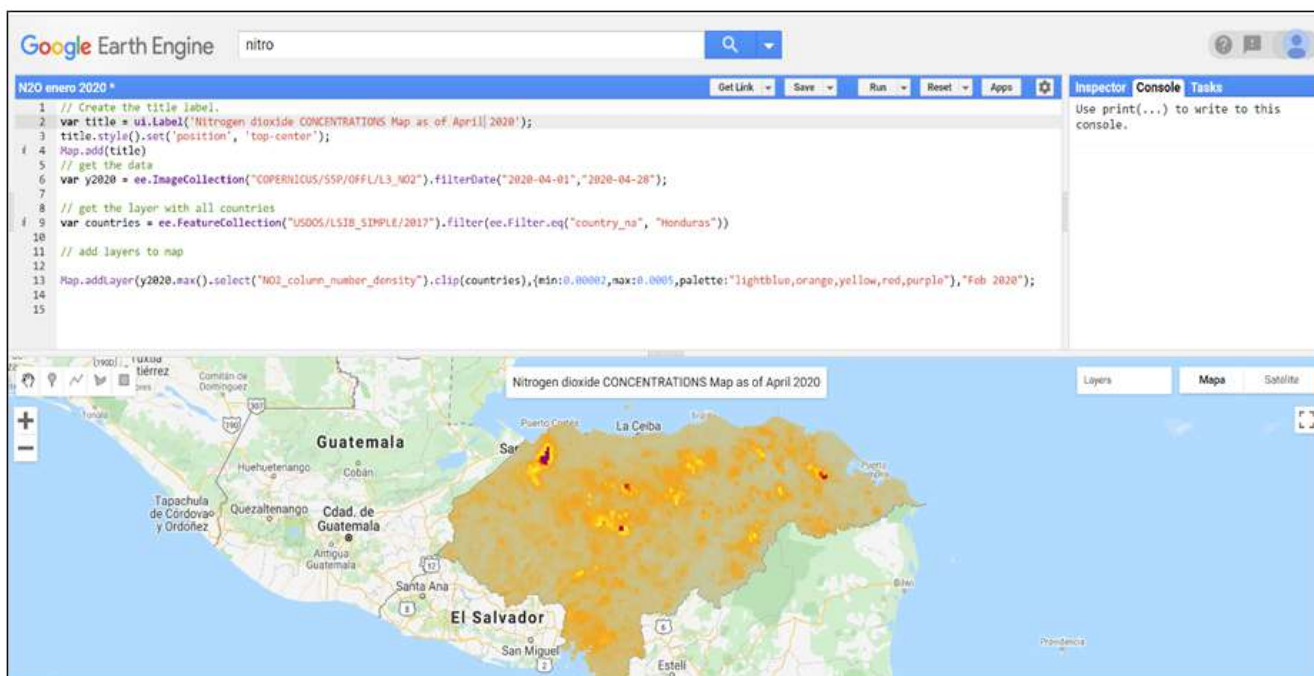


Figura 6: Plataforma de Google Earth Engine Dióxido de Nitrógeno Abril 2020 Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>

Cartografía de la distribución temporal y espacial Monóxido de Carbono

En referencia al CO se puede visualizar que la mayor concentración de este gas se observa durante el mes de abril, con mayor intensidad en los meses de abril y mayo específicamente en el departamento de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho (Figura 7).

Cartografía de la distribución temporal y espacial Dióxido de Nitrógeno

En los meses de enero, febrero, marzo se observan valores altos en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, en los departamentos de Córtes y Francisco Morazán producto de los procesos industriales como la quema de combustibles fósiles, este problema se acentúa con los incendios forestales y quemas agrícolas durante el mes de abril en los departamentos de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho y Choluteca, reduciendo su intensidad en el mes de mayo (Ver Figura 8).

Cartografía de la distribución temporal y espacial Dióxido de azufre

Cabe destacar que los valores más elevados de dióxido de azufre se encuentran durante los meses de marzo y abril específicamente en los departamentos de Yoro, Olancho, Francisco Morazán, Santa Bárbara, Comayagua, La Paz, Intibucá, Ocotepeque, Copán y Choluteca (Ver Figura 9).

Cartografía de la distribución temporal y espacial de los Aerosoles

En referencia a los Aerosoles se puede visualizar que la mayor concentración de este gas se observa durante el mes de marzo en Choluteca, Valle, Francisco Morazán, Atlántida y el mes de abril, con mayor intensidad específicamente en el departamento de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho (Ver Figura 10).

3 Resultados

En Honduras no se tiene información de la emisión de gases producto de los incendios forestales y quemas agrícolas específicamente de la distribución espacial y temporal de estos Gases de Efecto de Invernadero (GEI), lo cual es sumamente importante para el país. “El conocimiento sobre su distribución espacial y temporal es fundamental para establecer medidas de mitigación en el marco del cambio global, y reducir sus dimensiones y afectaciones en los sectores ambiental y social” (Cruz López, 2018).

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) asociados con los incendios forestales son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) que favorecen el calentamiento global. El monóxido de carbono (CO) no es considerado como GEI, pero conduce a la producción de ozono O_3 en la troposfera, y tiene un impacto negativo en los seres vivos según Levine, citado por Cruz López (2018).

3.1 Variables Calidad del Aire (Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO_2), Dióxido de azufre (SO_2) y Aerosoles)

Para la estimación de los gases a la atmósfera se utilizó la información proveniente de sensor Sentinel 5P, para lo cual se consideró la escala nacional para el análisis de 4 diferentes gases considerados para este estudio producto de los incendios forestales y las quemas agrícolas. Se descargaron 48 imágenes de satélite a través de la plataforma de Google Earth Engine (12 imágenes para los 4 gases a estudiar, Monóxido

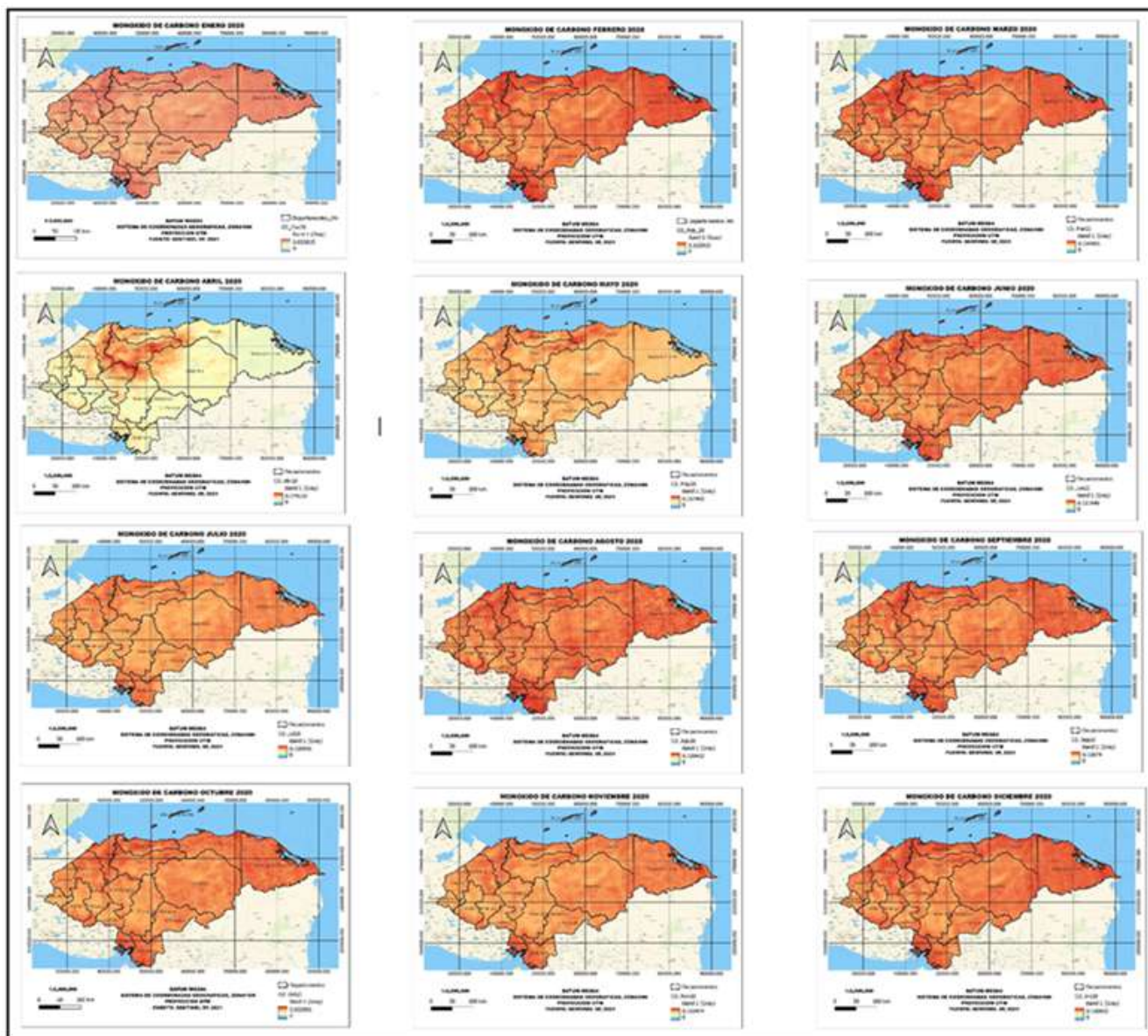


Figura 7: Distribución temporal espacial del CO, 2020. Fuente de datos: [Copernicus Sentinel Missions \(2021\)](#)

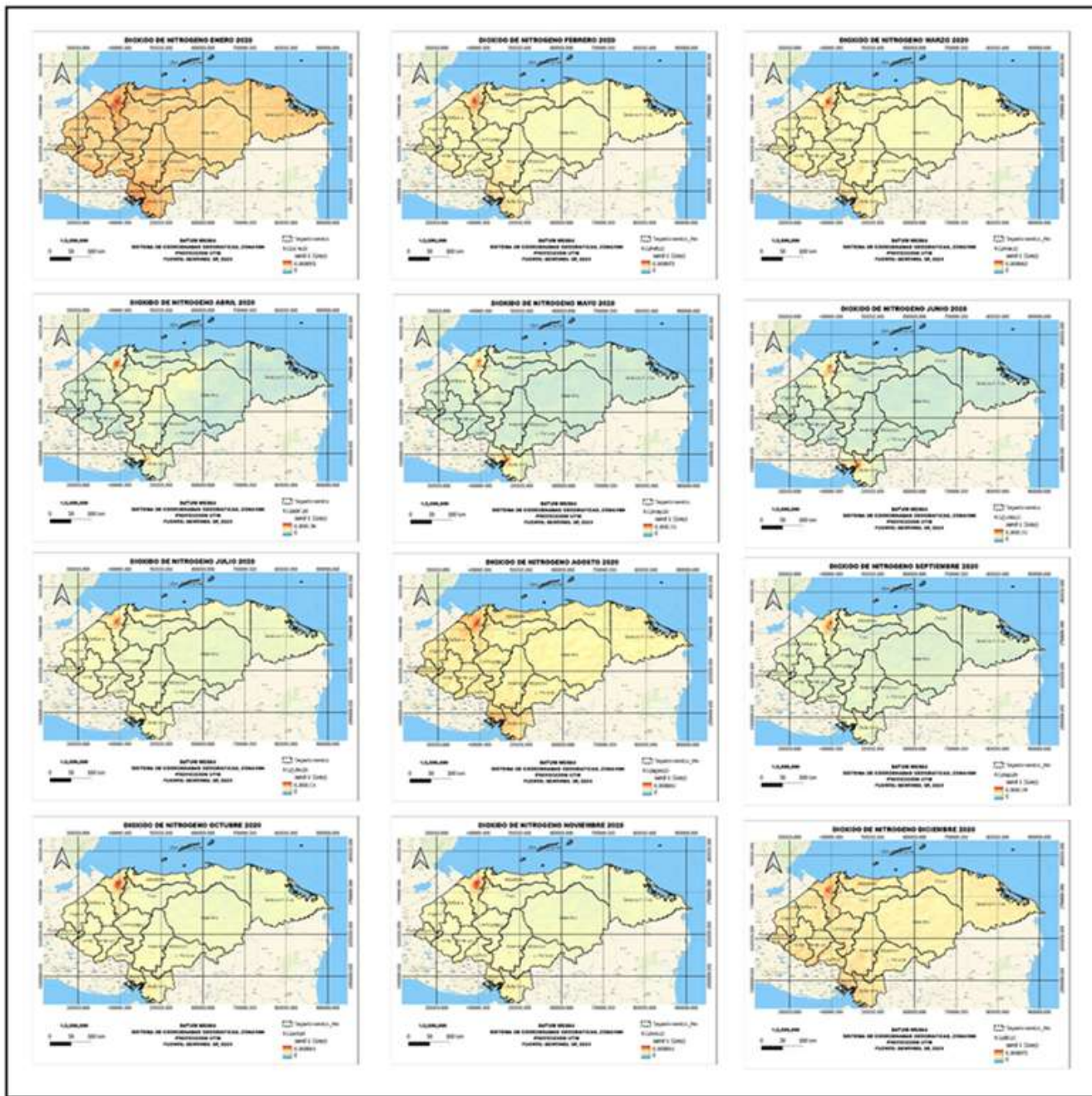


Figura 8: Distribución temporal espacial del NO₂, 2020. Fuente de datos: [Copernicus Sentinel Missions \(2021\)](#)

de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Dióxido de azufre (SO₂) y Aerosoles), las imágenes tienen una resolución espacial de 10 metros y una resolución temporal diaria. Posteriormente se realizó geoprocesamiento a través de herramientas SIG (Cortar, Disolver, intersección), para identificar la distribución espacial y temporal de estos gases por mes en cada departamento.

El análisis muestra que los departamentos más afectados en su calidad del aire producto de los incendios forestales y las quemadas agrícolas con el Monóxido de carbono (CO) fueron Olancho y Francisco Morazán

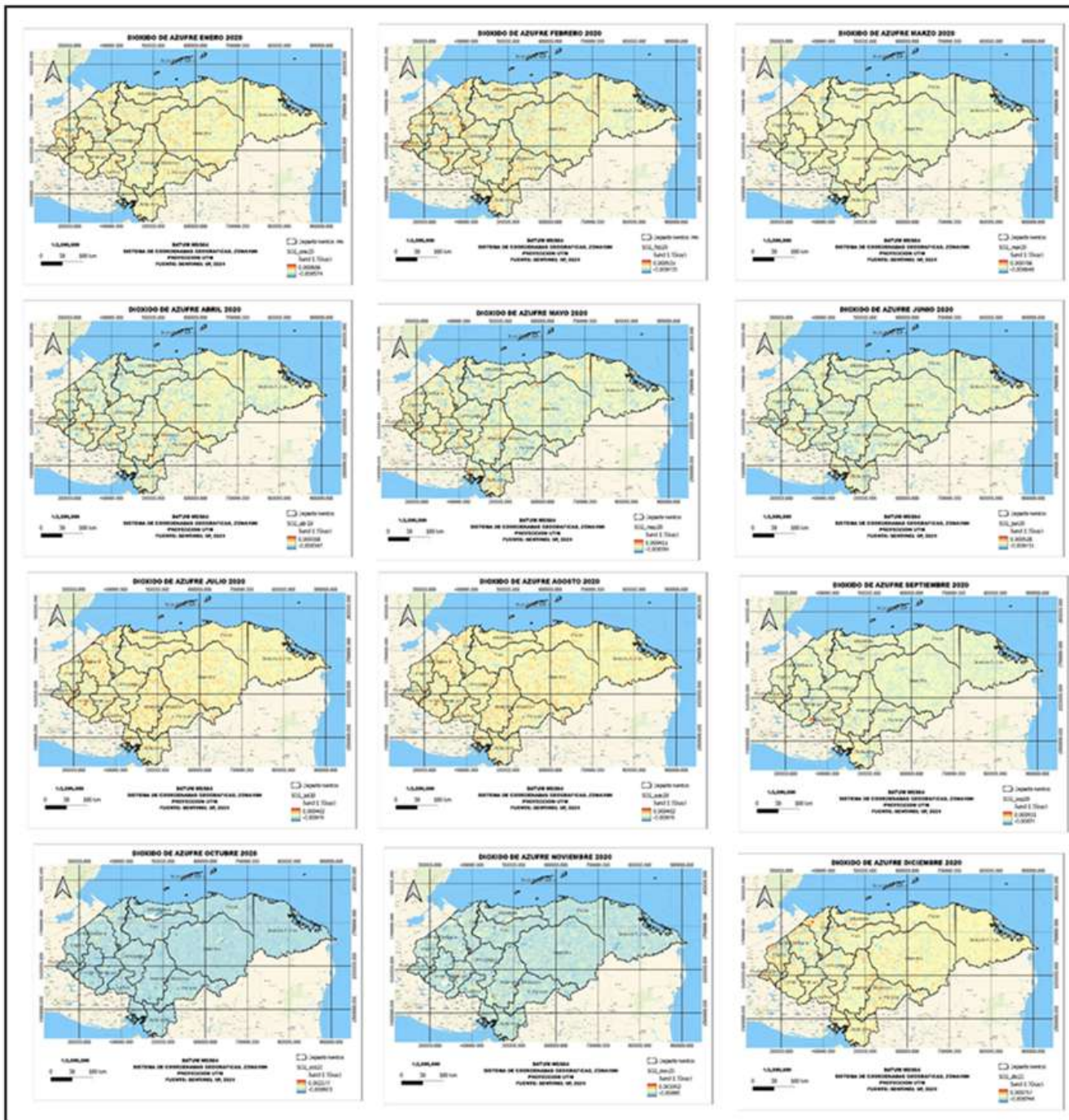


Figura 9: Distribución temporal espacial del SO_2 , 2020. Fuente de datos: Copernicus Sentinel Missions (2021)

y los dos departamentos menos afectados fueron Islas de la Bahía y Ocotepeque (Ver Figura 11).

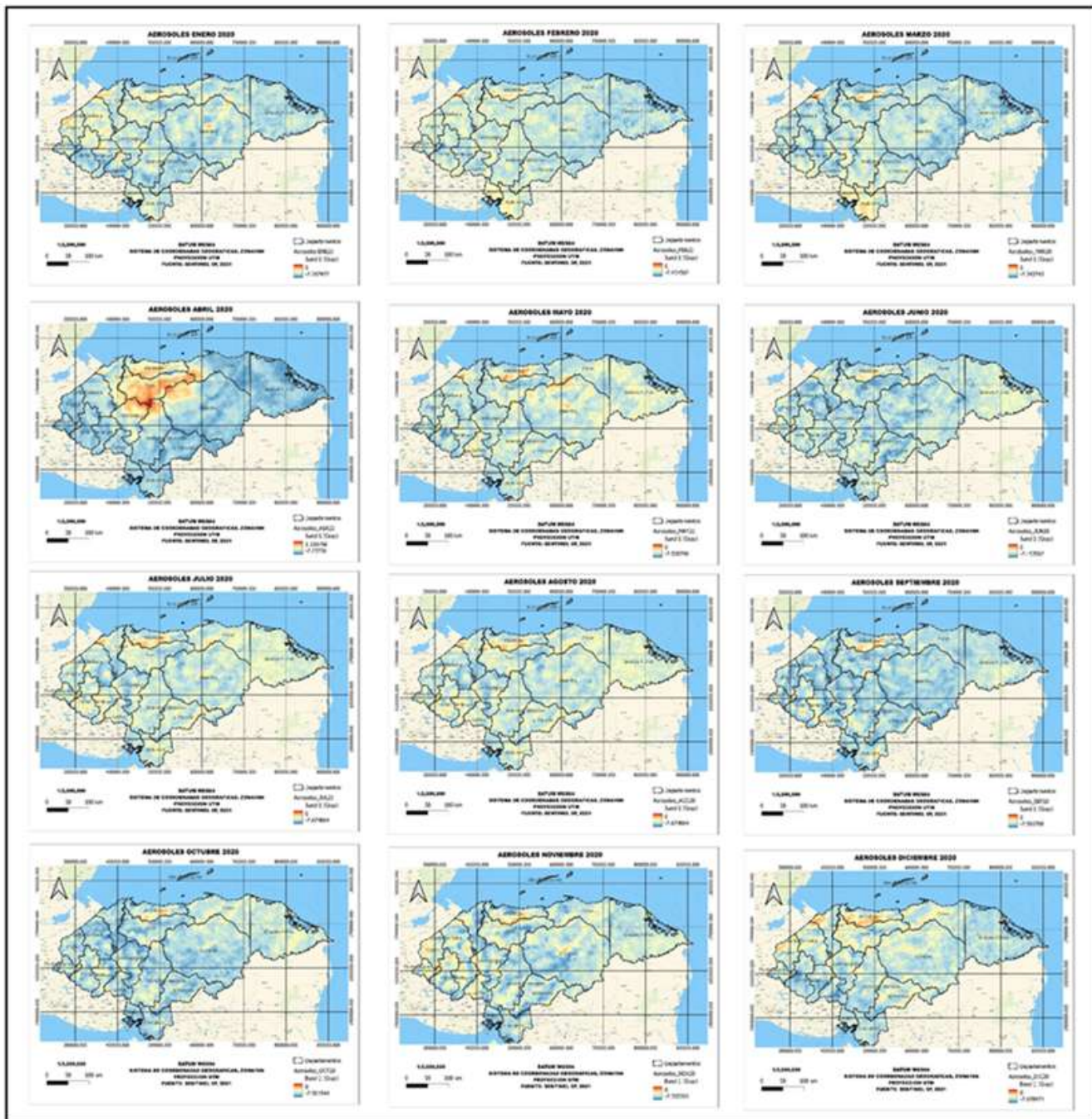


Figura 10: Distribución temporal espacial de los Aerosoles, 2020. Fuente de datos: Copernicus Sentinel Missions (2021)

En cuanto a la sumatoria total en los meses de estudio el Dióxido de nitrógeno (NO_2) presentó un alto grado de afectación en los departamentos de Olancho y Gracias a Dios, con valores más altos en los meses más problemático marzo y abril. Así mismo, los departamentos que muestran una menos afectación fueron las Islas de la Bahía y Ocatepeque (Ver Figura 12).

En lo referente al Dióxido de azufre (SO_2) Santa Bárbara y Copán son los departamentos que encabezan las mayores desviaciones estándar en los datos de afectación y los con menos afectación los departamentos

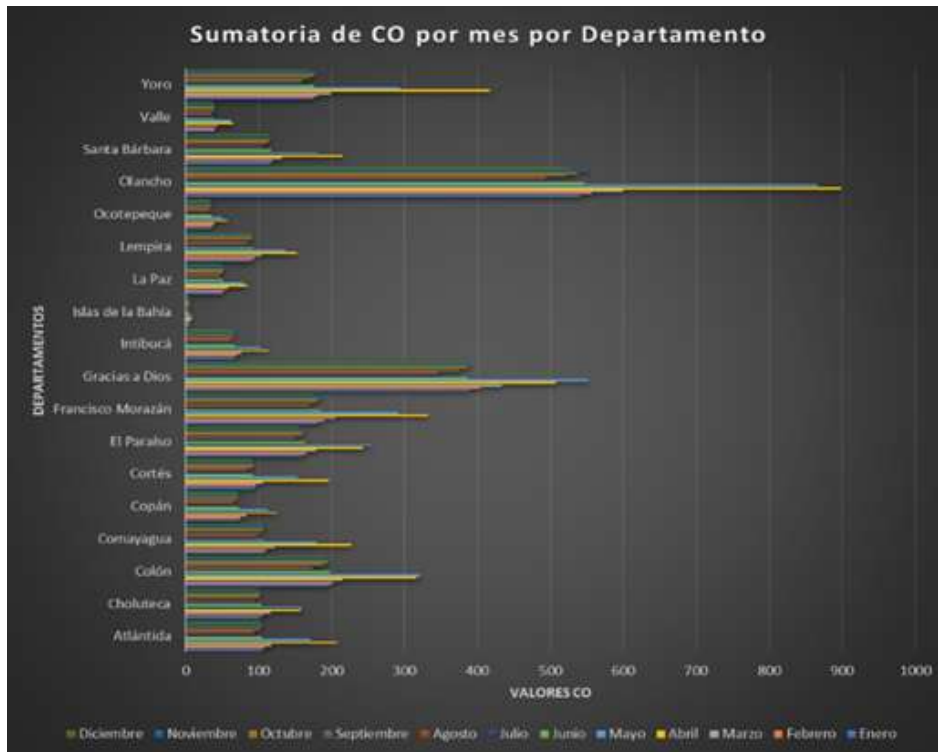


Figura 11: Sumatoria CO por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)



Figura 12: Sumatoria NO2 por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

de Islas de la Bahía y Gracias a Dios (ver Figura 13) todos los datos se resumen en los mapas.

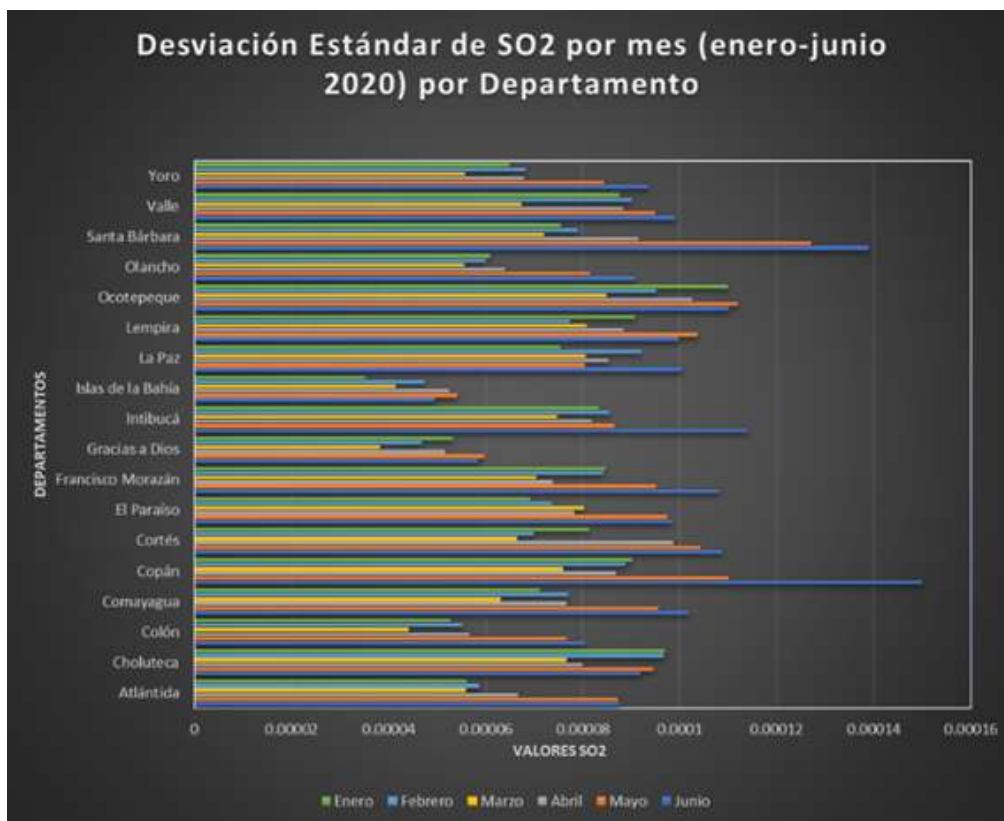


Figura 13: Sumatoria SO_2 por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

En cuanto a los Aerosoles se encontró que los meses en los que se encuentran las mayores concentraciones es en el mes de marzo, afectando mayormente los departamentos de Francisco Morazán, Comayagua y Colón. En el caso de los departamentos menos afectados se encuentran Islas de la Bahía y Valle con menos concentración de emisiones de Aerosoles (ver Figura 14).

3.2 Variables incendios forestales y quemas agrícolas (puntos de calor)

En total se registraron 104,520 puntos de calor a lo largo del país comprendido entre los meses de enero a diciembre de 2020, considerados los meses más críticos. Los departamentos más afectados fueron Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios que representan el 65.92 % del total de puntos de calor. En tanto que los departamentos menos afectados fueron Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Los puntos de calor fueron registrados por los sensores de VIIRS, JPSS-1 y NPP (ver Tabla 1).



Figura 14: Sumatoria Aerosoles por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

Tabla 1: Puntos de calor (Incendios) por departamento 2020. Fuente: Elaboración propia. Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

Departamento	J01-375m	NPP-375m	Total
Atlántida	450	301	751
Choluteca	1171	1145	2316
Colon	2802	1813	4615
Comayagua	4291	2745	7036
Copán	641	329	980
Cortes	1158	752	1910
El Paraíso	2936	2196	5132
Francisco Morazán	9837	6959	16796
Gracias a Dios	6866	6112	12978
Intibuca	474	331	805
Islas de la Bahía	2	4	6
La Paz	425	321	746
Lempira	579	428	1007
Ocotepeque	149	104	253
Olancho	22963	16163	39126
Santa Barbara	1572	786	2358
Valle	279	179	458
Yoro	4550	2697	7247
Gran Total	61155	43365	104520

4 Discusión

4.1 Correlación espacial entre los puntos de calor y la calidad del aire

Al analizar los datos estadísticos se puede observar que existe una correlación entre los puntos de calor con la calidad del aire, se puede observar que los meses que muestran mayor frecuencia de puntos de calor son marzo, abril y mayo, meses que concuerdan con el aumento de los gases estudiados, según se puede observar una correlación entre las variables analizadas. La Tabla 2 y la Figura 15, muestra valores altos de correlación entre los puntos de calor y emisiones de CO en los meses de marzo, abril y mayo.

Al observar la Tabla 3 y la Figura 16 de correlación por mes entre los puntos de calor y la sumatoria de emisiones registradas por NO_2 , se encuentra una correlación alta en los meses de marzo, abril y mayo este último mes es el que presenta los valores de correlación más elevados y en junio se registra una baja en los datos con valores inferiores a los registrados en febrero.

Mes	Correlación
Enero	0.5852
Febrero	0.5799
Marzo	0.7248
Abril	0.9069
Mayo	0.9650
Junio	0.5076
Julio	0.5155
Agosto	0.2208
Septiembre	0.9399
Octubre	0.8774
Noviembre	0.8856
Diciembre	0.5782

Tabla 2: Correlación puntos de calor y Sumatoria NO_2

Mes	Correlación
Enero	0.5745
Febrero	0.5663
Marzo	0.7441
Abril	0.9195
Mayo	0.9650
Junio	0.5027
Julio	0.2750
Agosto	0.2384
Septiembre	0.9443
Octubre	0.8814
Noviembre	0.8796
Diciembre	0.5666

Tabla 3: Correlación por mes. Puntos de calor con Sumatoria NO_2



Figura 15: Correlación puntos de calor y CO. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)



Figura 16: Correlación puntos de calor y Sumatoria NO_2 . Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

La Tabla 4 y la Figura 17 de correlación entre los puntos de calor y SO_2 muestra una correlación negativa durante todos los meses de marzo y abril en relación con la desviación estándar registrada, lo cual puede visualizarse con más en detalle en los mapas correspondientes a la distribución espacial del SO_2 .

Mes	Correlación
Enero	-0.447
Febrero	-0.435
Marzo	-0.274
Abril	-0.274
Mayo	-0.491
Junio	-0.466
Julio	-0.359
Agosto	-0.330
Septiembre	0.204
Octubre	-0.276
Noviembre	0.044
Diciembre	-0.093

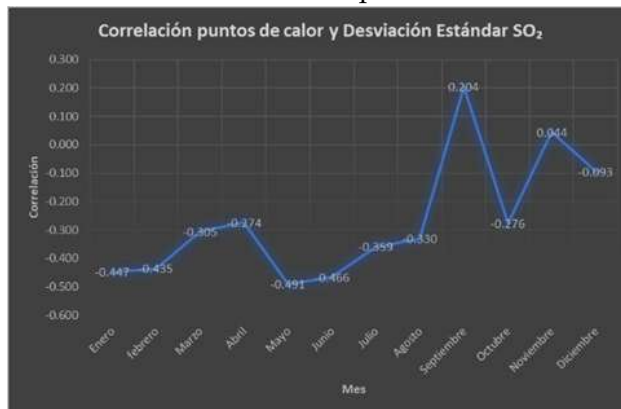


Figura 17: Correlación puntos de calor y SO_2 . Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

Tabla 4: Correlación por mes. Puntos de Calor con desviación estándar SO_2

El análisis correlativo de los puntos de calor y la desviación estándar de aerosoles muestra valores altos en el mes de abril, lo cual se puede observar en el mapa de mes de abril en donde se observa una fuerte concentración de aerosoles en el mes en referencia. (Ver Tabla 5 y Figura 18).

Mes	Correlación
Enero	-0.5157
Febrero	-0.0689
Marzo	-0.1186
Abril	0.5137
Mayo	0.0278
Junio	0.0389
Julio	0.3151
Agosto	0.1995
Septiembre	-0.1110
Octubre	-0.0152
Noviembre	-0.4055
Diciembre	-0.3200



Figura 18: Correlación puntos de calor y Desviación estándar Aerosoles. Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

Tabla 5: Correlación por mes. Puntos de calor con desviación Estándar Aerosoles.

5 Conclusiones

Como resultado se encontró que existe una correlación de los puntos de calor (Incendios) que afecta la calidad del aire, está se ve alterada con el incremento de las emisiones de CO , NO_2 , SO_2 y Aerosoles producto de los incendios y quemas agrícolas, el aumento se dio especialmente en los meses de marzo,

abril y parte de mayo, y agosto y septiembre para el CO, NO_2 en abril, mayo, agosto y septiembre. SO_2 marzo, abril, y septiembre, para los Aerosoles el incremento se manifiesta fuertemente en el mes de abril y julio durante el año 2020.

Al realizar la cartografía de los incendios forestales y quemas agrícolas en Honduras durante los meses de enero a diciembre de 2020, se encontró que los departamentos que presentan mayor densidad de puntos de calor y por ende mayor afectación son: Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios, que representan un porcentaje de 65.92 % del total de puntos de calor detectados por los sensores, los que muestran un mayor nivel de afectación en la cobertura de bosque con un 75.12 % y pastos y cultivos con un 20.55 % del área de estudio. Así mismo, los departamentos que presentaron un número menor de puntos de calor fueron Islas de la Bahía y Ocotepeque.

La distribución espacial de la contaminación del aire en Honduras durante los meses más críticos de estudio se encuentra ubicada en los departamentos de Olancho y Gracias a Dios y Francisco Morazán para NO_2 y CO, Santa Barbara y Copan con valores elevados SO_2 y Francisco Morazán y Comayagua con niveles altos de Aerosoles.

Los departamentos menos afectados por la distribución espacial de los gases son Islas de la Bahía y Ocotepeque para CO y NO_2 , Islas de la Bahía y Gracias a Dios con niveles de SO_2 , y con los Aerosoles los departamentos de Islas de la Bahía y Valle.

Al Comparar los diferentes cambios en la afectación del aire producto de los incendios ocurridos en los meses de estudio en Honduras durante el año 2020, los incrementos en la distribución se concentran con en los meses de marzo, abril y mayo. Así mismo, los meses del año en los que el país se vio más afectado por la mayor frecuencia de puntos de calor fueron en los meses de abril y mayo, estos datos concuerdan con el aumento de los niveles de afectación de la calidad del aire, por lo que se puede concluir que existe una correlación directa de los incendios forestales y las quemas agrícolas que afecta la calidad del aire.

El uso de herramientas de Teledetección ofrece grandes ventajas en la que destacan la cobertura que se puede cubrir para estos análisis, la exactitud, la resolución temporal y sobre todo el costo de las imágenes, lo que permite acceder con facilidad a estas herramientas que permiten hacer estos estudios posteriormente de la ocurrencia de los incendios.

6 Referencias

- Chuvieco, E. (2015). *Fundamentals of satellite remote sensing*. (A. Huete, Ed.). 1a. Edición. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/b18954>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (2021). Sistema de Alerta Temprana de Incendios. Sitio web: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>.
- Copernicus Sentinel Missions (2021). S5P Applications. Obtenido de: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>.
- Cruz López, M. I. (2018). *Uso de datos satelitales para estimar emisiones por quema de biomasa en México*. Tesis doctoral, Programa de Maestría y Doctorado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Filonchik, M. y Yan, H. (2018). *Urban Air Pollution Monitoring by Ground-Based Stations and Satellite Data*. Springer Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78045-0>.
- GEE (2020). Sentinel-5P NRTI NO2: Near Real-Time Nitrogen Dioxide. Earth Engine Data Catalog. Sitio web: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_NRTI_L3_NO2.
- Global Forest Watch (2020). Honduras Deforestation Rates & Statistics . Obtenido de <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/HND/?category=fires%23firesAlerts>.
- Goldammer, J. G., Statheropoulos, M., y Andreae, M. O. (2008). Impacts of Vegetation Fire Emissions on the Environment, Human Health, and Security: A Global Perspective. En Bytnerowicz, A., Arbaugh, M. J., Riebau, A. R., y Andersen, C., (Eds.), *Wildland Fires and Air Pollution*, volumen 8 de *Developments in Environmental Science*, pp. 3–36. Elsevier. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(08\)00001-6](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(08)00001-6).
- Lutgens, F., Tarbuck, E., y Herman, R. (2019). *The atmosphere : an introduction to meteorology*. Pearson. ISBN: 9780134758589, 0134758587.
- Organización Mundial de la Salud (2020). Newsroom / Air pollution. Obtenido de: <https://www.who.int/news-room/air-pollution>.
- SIGMOF. (2021). Anuario forestal: Instituto de conservación forestal. Obtenido de: https://sigmof.icf.gob.hn/?page_id=7264.
- Smith, W. H. (1981). *Air Pollution and Forests: Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3296-4>.
- US EPA (2021). Glosario de Términos C. Consultado el 20 de octubre de 2021 en <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c>.
- Zhongchao Tan (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*. Springer Singapore. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-287-212-8>.