

Nitrogen dioxide (NO₂) monitoring with sentinel-5P satellite images for the province of Coronel Portillo

Manchay-Tocto Henry Joel¹, Cobos-Cauper Hernan Victor Jair²,

Carmona-Arteaga Abel, Magister Scientiae en Recursos Hídricos³, Neyra-Torres José Luis, Maestro en Administración⁴ ^{1,2,3,4}

Universidad Privada del Norte, Perú, N00104674@upn.pe, N00238706@upn.pe, abel.carmona@upn.edu.pe,
jose.neyra@upn.edu.pe

Abstract- One of the biggest environmental problems in recent years in our country is the emission of nitrogen dioxide from the air by burning brush or garbage, emissions from industry, an old vehicle fleet, etc. The emission of this gas in large quantities is a considerable variable for climate change and when it is breathed by people it generates serious health problems. Currently this is happening in some districts of the province of Coronel Portillo. For this reason, and given the lack of air quality monitoring stations in the area, it was proposed to carry out an investigation that would allow us to determine the amounts of nitrogen dioxide on a temporal and spatial scale for each district of the studied province, during and after the COVID 19 pandemic, between the years 2019 and 2022, to find out if this event in any way caused an effect on the emissions of this gas.

Keywords: Coronel Portillo Province, Sentinel 5P, Google Earth Engine, GEE, NO₂.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Monitoreo del dióxido de nitrógeno (NO₂) con imágenes satelitales sentinel-5P para la provincia de Coronel Portillo

Manchay-Tocto Henry Joel¹, Cobos-Cauper Hernan Victor Jair²,
Carmona-Arteaga Abel, Magister Scientiae en Recursos Hídricos³, Neyra-Torres José Luis, Maestro en Administración⁴ ^{1,2,3,4}
Universidad Privada del Norte, Perú, N00104674@upn.pe, N00238706@upn.pe, abel.carmona@upn.edu.pe,
jose.neyra@upn.edu.pe

Resumen- Uno de los mayores problemas ambientales en estos últimos años en nuestro país es la emisión de dióxido de nitrógeno del aire por la quema de maleza o basura, emisiones de la industria, un parque automotor antiguo, etc. La emisión de este gas en grandes cantidades es una variable considerable para el cambio climático y al ser respirado por las personas genera graves problemas en su salud. Actualmente esto está ocurriendo en algunos distritos de la provincia de Coronel portillo. Por tal motivo y ante la falta de estaciones de monitoreo de calidad de aire en la zona se planteó realizar una investigación que nos permita determinar las cantidades de dióxido de nitrógeno a escala temporal y espacial para cada distrito de la provincia estudiada, durante y después de la pandemia de COVID 19, entre los años 2019 al 2022, para saber si este suceso de alguna manera causo efectos en las emisiones de este gas.

Palabras Claves: Provincia Coronel Portillo, Sentinel 5P, Google Earth Engine, GEE, NO₂.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire a causa de gases contaminantes representa una amenaza para la salud en todo el mundo, según la evaluación de la Organización Mundial de la salud (OMS) señala que, a nivel mundial, la contaminación del aire ocasionó aproximadamente el 29% de las muertes por cáncer de pulmón, el 43% por EPOC, cerca del 25% por cardiopatía isquémica y el 24% por accidente cerebrovascular (OMS, 2020). [1]

La contaminación de esta unidad ambiental tan importante para los seres humanos está creciendo en porcentajes acelerados en la provincia de Coronel Portillo, esta contaminación es causada por diversas actividades antrópicas como: la quema de residuos domésticos e industriales, incendios forestales y el transporte motorizado, toda estas actividades generan polvos, partículas suspendidas PM10 y PM2.5 (material particulado de 10 y 2.5 μ micrómetros) generado en madereras e industrias de triplay gases: CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono) producida por la combustión incompleta, NO₂ (Dióxido de nitrógeno) generado en aguas residuales y botaderos, CH₄ (metano) generado en focos infecciosos. [2]

PERÚ / Noticias

Ucayali: controlan incendio en planta de gas de Pucallpa y suspenden inmunización contra el COVID-19 por precaución

Jefe del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), comandante Miguel Cardoso Lara, informó que aún se desconoce el origen del fuego.



Siniestro deja tres personas con quemaduras de consideración. (Foto: Twitter @edwardes220187)

Fig. 1 Las plantas de gas son fuentes principales de contaminación atmosférica, eliminando gases tóxicos (CO₂, CO, NO₂), alterando la calidad ambiental. [10]

ÚLTIMAS NOTICIAS

★ Gobiernos regionales y municipios de la zona sur no ejecutaron el 31% de su presupuesto para...

★ Hace 40 años: la historia de la masacre de ocho periodistas, un guía y un comunero en...

Herido en protesta se encuentra en UCI con pronóstico reservado

A este problema se le suma, la falta de estaciones de monitoreo de calidad de aire en varias zonas del país, lo cual hace imposible precisar, que cantidad de emisión de este gas es emitido a la atmósfera.

Este es el caso de los distritos de la provincia del Coronel Portillo, en el departamento de Ucayali, en los cuales se han incrementado las emisiones de este gas a la atmósfera.

II. OBJETIVO

Es por tal motivo que en esta investigación se ha propuesto realizar un monitoreo de las concentraciones de NO₂ en los distritos de la provincia de Coronel Portillo de manera temporal y espacial durante los años 2019 al 2022.

Para este fin se han desarrollado códigos en lenguaje Python que permitan visualizar y cuantificar las distribuciones de NO₂ en el área de estudio para una escala mensual y anual, y ver si las restricciones por la pandemia tuvieron algún impacto en las emisiones de este gas al ambiente.

III. MARCO TEORICO

3.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El NO₂ es un contaminante atmosférico, de origen principalmente antropogénico, cuyas fuentes fundamentales son el tráfico rodado, así como las emisiones de determinadas industrias y grandes instalaciones de combustión.

[9]

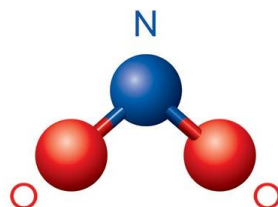


Fig 2. Representación del gas NO₂.

El tipo de contaminante más abundante que consideramos en la provincia de Coronel portillo es el NO₂, el cual no solo afecta a nuestro medio ambiente, sino que también es muy perjudicial para nuestra salud, tiene muchos efectos negativos en nuestra atmósfera. Actualmente es considerado como uno de los mayores gases de efecto invernadero, lo que esta ocasionado un aumento de la temperatura a nivel global.

3.2 Área de Estudio

El área de estudio es la provincia de Coronel Portillo, en el departamento de Ucayali. La cantidad de habitantes por distrito se muestra en la tabla 1.

TABLA 1

Ubicación de las capitales y la cantidad de habitantes por distrito en la provincia de Coronel Portillo

Nº	Distritos	X	Y	Cant. De Habitantes
1	Iparía	-74.4351	-9.3062	10328
2	Masisea	-74.3063	-8.6052	11147
3	Campo Verde	-74.8056	-8.4724	16040
4	Nueva Reque	-74.8627	-8.3097	5169
5	Manantay	-74.5378	-8.3981	87525
6	Callería	-74.5322	-8.3832	149999
7	Yarina Cocha	-74.5759	-8.3548	103941

Esta provincia esta cuenta con 384168 habitantes y 470 pueblos, según el último CENSO del año 2017.

3.3 Información cartográfica

Para este trabajo se utilizó, los limites distritales, la ubicación en coordenadas geográficas de los diferentes capitales dentro de los distritos de la provincia de Coronel Portillo en el departamento de Ucayali. La información fue extraída de las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a una escala de 1:100000. Las cartas que se usaron fueron 15n, 15ñ, 16m, 16n, 16ñ, 16o, 17m, 17n, 17ñ, 17o, 17p, 18n, 18ñ,

18o, 18p, 18q, 19n, 19ñ, 19o, 19p, 19q, 20n, 20ñ, 20o, 20p, 21p.

3.4 Datos de contaminación del aire

Para la extracción de registros de NO₂ se evaluaron las doce capitales distritales la provincia de Coronel Portillo mencionados en la Tabla 1. La numeración de estas capitales se puede ver en la figura 3.

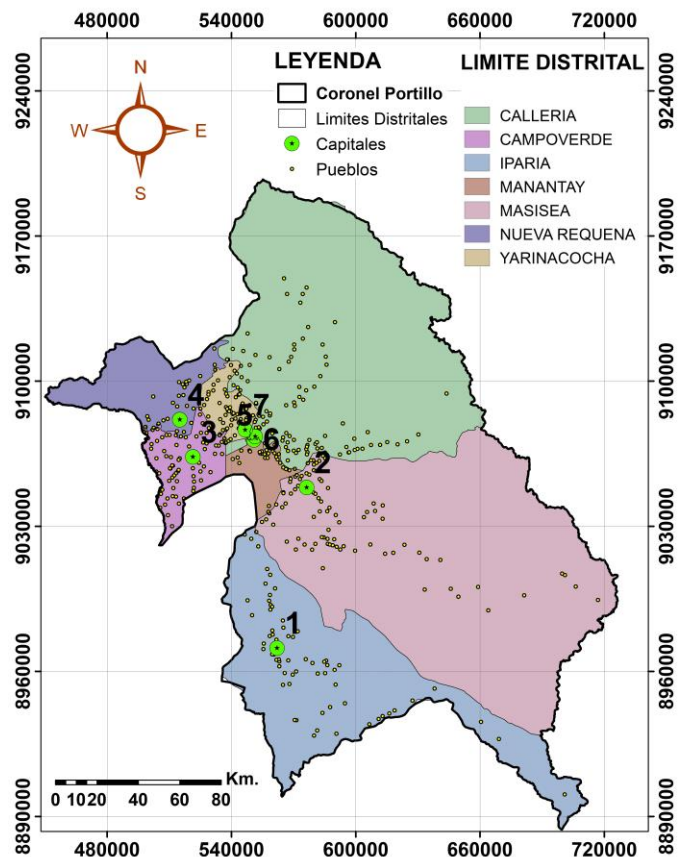


Fig. 3 Ubicación de los pueblos, capitales y limites distritales de la provincia de Coronel Portillo.

3.5 ArcGIS

Es un software de Sistema de Información Geográfica que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica [3]. En la investigación utilizamos este software para la ubicación de los poblados y la interpolación de la distribución del NO₂ en toda la provincia de Coronel Portillo.

3.6 Google Earth Engine (GEE)

Es una Plataforma de geomática creada por la empresa Google que permite a los usuarios visualizar y analizar, descargar imágenes multiespectrales, registros grillados climáticos, datos de gases contaminantes, etc. [4]

Esta información esta recopilada por varios satélites que orbitan nuestro planeta de diferentes fuentes como es la

Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), la Agencia Espacial Europea (ESA), etc. De esta plataforma se obtuvieron los registros de las mediciones del acumuladas de NO₂ en la ubicación de las capitales y las concentradas dentro del área distrital de la provincia de Coronel Portillo.

Debemos también indicar que GEE solo permite la descarga máxima de 5000 registros, por ende, tener en cuenta esto antes de colocar los rangos de fechas en los códigos elaborados.

Otro factor para considerar es el ruido en los datos, a menudo se observan valores de columna vertical negativos, en particular en regiones limpias o con bajas emisiones de NO₂. Se recomienda no filtrar estos valores excepto para valores atípicos, es decir, para columnas verticales inferiores a -0,001 mol/m².

3.7 Sentinel-5P

Es un satélite que orbita cerca de los polos a una altitud de 817 km. en un nodo ascendente con un tiempo de cruce del Ecuador de 13:30 LT y un ciclo de repetición de 17 días. El espectrómetro Sentinel-5P, que brinda acceso a datos de 8 bandas y es capaz de cubrir el espectro de ultravioleta (UV), infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), se conoce como TROPOMI. El Instrumento de Monitoreo TROPOSFERIC con un nuevo instrumento para la investigación de la calidad del aire y el monitoreo de fuentes contaminantes con una resolución espacial más alta que su predecesor (7 km × 3.5 km). [5]

TABLA 2

Colecciones de imágenes empleadas y bandas seleccionadas para la descarga de datos mediciones contaminantes con GEE.

Colección de Imágenes (ID GEE)	Banda Seleccionada	Descripción	Resolución (m)
COPERNICUS/S5P/OFF L/L3_NO2	NO2_column_number_density	Densidad de columna de NO ₂ integrada verticalmente.	1113.2

En la tabla 2, pueden observarse las colecciones de imágenes empleadas y las bandas seleccionadas para calcular los datos de mediciones contaminantes que fueron descargadas mediante la plataforma GEE.

Posterior a ello, en una nueva variable se creó una función que generó la imagen promedio correspondiente mediante un código, partiendo de una fecha de inicio y fin que ingresa el usuario. Asimismo, se realizó la inserción de coordenada geográfica del punto que se requiere extraer la información. Finalmente, se exportaron los datos descargados a una hoja de cálculo en Excel, con un Sistema de coordenadas geográficas WGS84 y formato Geo TIFF.

IV. METODOLOGIA

Este estudio utilizo (GEE) como única fuente de información, ya que no se cuentan con registros de mediciones de gases contaminantes en la zona de estudio. Asimismo, al descargar los datos de NO₂, se sumaron las cantidades por cada año y se realizó una comparación de lo registrado en las coordenadas de cada distrito de la provincia de Coronel Portillo, y así determinar cuál de los distritos genero menor y mayor emisión de NO₂. Esto podemos verlo en los resultados obtenidos.

Para la investigación se construyeron varios códigos en lenguaje Python para poder extraer las variables del gas contaminante estudiado. Estos códigos se conectan con imágenes ráster registradas por el satélite Sentinel 5P.

4.1 Scripts para extraer datos de NO₂ en capitales distritales

Para esta investigación se realizó la creación de un código en lenguaje Python (Script) que nos permita descargar registros de la base de datos grillada Sentinel 5P, usando la base de datos en formato shapefile de la ubicación de las capitales distritales, provinciales y departamentales de Perú, para esta investigación se usaron las mostradas en la Tabla 1.

A continuación, se describe el código creado para este propósito.

Ingresar las fechas del estudio.

```
var startyear = 2019;
var endyear = 2022;
```

Crear lista de meses para usar en funciones.

```
var months = ee.List.sequence(1,12);
```

Establecer inicio y fin del estudio.

```
var startdate = ee.Date.fromYMD(startyear,1,1);
var enddate = ee.Date.fromYMD(endyear,12,31);
```

Crear lista para años variables.

```
var years = ee.List.sequence(startyear,endyear);
```

Ingresar la geometría en formato shapefile, puede ser una cuenca o un área cargada, para este caso las líneas creadas del script llaman al shapefile de capitales distritales del Perú, y lo filtra según la provincia en estudio.

```
var area_estudio = ee.FeatureCollection('users/henryjoelmanchaytocto/poblados_con_capitales')
.filter(ee.Filter.eq('PROV','CORONEL PORTILLO'))
```

luego de esto las líneas de código llaman a la colección de imágenes raster del gas en estudio que estamos evaluando.

```
var P =
ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2 ")
.select('NO2_column_number_density')
.filterDate(startdate, enddate)
//.sort('system:time_start', false)
.filterBounds(area_estudio);
```

Después creamos la parte de código que sumara todas las concentraciones de los pixeles que se encuentran en la ubicación puntual para cada una de las capitales distritales mostradas en la tabla 1.

```
var NO2_anual_acum = ee.ImageCollection.fromImages(
years.map(function (year) {
var annual = P.filter(ee.Filter.calendarRange(year, year,
'year'))
.sum()
.clip(area_estudio);
return annual
.set('year', year)
.set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(year, 1, 1));
}));
```

Y finalmente se escribió parte del código para poder sumar los acumulados de la concentración del gas estudiado a nivel diario por cada año y que este pueda mostrarse en una gráfica y luego pueda ser descargado en formato de base de datos CSV.

```
var chartP_anual = ui.Chart.image.seriesByRegion({
imageCollection: NO2_anual_acum,
regions: area_estudio,
reducer: ee.Reducer.sum(),
band: 'NO2_column_number_density',
scale: 1100,
xProperty: 'system:time_start',
seriesProperty: 'DIST'})
.setOptions({
hAxis: {title: 'Intervalo de tiempo'},
title: 'Concentración acumulada anual de NO2 para cada
capital distrital',
vAxis: {title: 'Concentración (mol/m2)'}})
.setChartType('ColumnChart');
print(chartP_anual)
```

De forma similar se añadió líneas de código al Script para que este pueda replicar el cálculo de los valores acumulados para valores mensuales, el Script creado por el Mg. Sc. Abel Carmona Arteaga para este fin puede apreciarse aquí. [6]

4.2 Scripts para extraer datos de NO₂ en áreas distritales

Este código nos dará la suma acumulada anual y mensual de toda la concentración en todas las áreas distritales de nuestra provincia estudiada. Este Script, comparte la totalidad de las líneas del anterior expuesto en el ítem, 4.1, a excepción de unas pequeñas modificaciones.

En las siguientes líneas cambiamos la ruta del shapefile y también y el nombre del título de la provincia se cambia a 'NOMBPROV' y el de los distritos a 'NOMBDIST'.

```
var area_estudio =
ee.FeatureCollection('users/henryjoelmanchaytocto/distritos_d
el_peru')
.filter(ee.Filter.eq('NOMBPROV','CORONEL PORTILLO'))
```

Luego de esto modificamos la parte del código:

```
var chartP_anual = ui.Chart.image.seriesByRegion({
imageCollection: NO2_anual_acum,
regions: area_estudio,
reducer: ee.Reducer.sum(),
band: NO2_column_number_density,
scale: 1100,
xProperty: 'system:time_start',
seriesProperty: 'NOMBDIST'})
.setOptions({
hAxis: {title: 'Intervalo de tiempo'},
title: 'Concentración acumulada anual de NO para cada área
distrital',
vAxis: {title: 'Concentración (mol/m2)'}})
.setChartType('ColumnChart');
print(chartP_anual)
```

El Script realizado se muestra aquí. [7]

4.3 Script para la distribución del NO₂ acumulado

Si bien ambos Scripts creados nos dan mucha información de las concentraciones de NO₂ acumulado tanto para las capitales y lo emitido en toda el área distrital, es necesario conocer como el NO₂ se distribuye por toda la provincia de Coronel Portillo, por ende se realizó un nuevo código para que se cree un archivo en formato ráster, que nos muestre la distribución acumulada en un periodo de tiempo. A continuación, se describe el desarrollo de este código.

Lo primero que se hace es cargar en la opción Assets los 4 archivos Shapefile del límite de la provincia de Coronel Portillo como se muestra en la figura 4 y luego se da upload.

Upload a new shapefile asset

Source files

SELECT

Please drag and drop or select files for this asset.

Allowed extensions: shp, zip, dbf, prj, shx, cpq, fix, qix, sbn or shp.xml.

limite_coronel_portillo.dbf	🗑️
limite_coronel_portillo.prj	🗑️
limite_coronel_portillo.shp	🗑️
limite_coronel_portillo.shx	🗑️

Fig. 4 Carga del archivo shapefile de la provincia de Coronel Portillo en GEE.

Una vez cargado el shapefile

```
var geometry= ee.  
FeatureCollection('users/henryjoelmanchaytocto/limite_coron  
el_portillo').
```

Se escribe unos códigos para poder ingresar las fechas para la suma de valores

```
var param = {  
P0:'2020-01-01',// fecha inicial  
P1:'2020-12-31'// fecha final  
}
```

luego de esto las líneas de código llaman a la colección de imágenes raster del gas en estudio que estamos evaluando y fase un filtro por las fechas escritas anteriormente.

```
var NO2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2').filterDate  
(param.P0,param.P1);
```

Esta parte del código suma los valores totales del gas analizado en cada píxel, entre las fechas P0 y P1. La distribución del gas se muestra en la plataforma.

```
var SentinelNO2= NO2  
.select(' NO2_column_number_density')  
.filterBounds(geometry);  
var NO2Data = ee.Image(SentinelNO2.sum());  
var NO2Clip = NO2Data.clip(geometry);  
Map.addLayer(NO2Clip, {max: 10, min: 0,  
palette: ["black", "blue", "purple", "cyan", "green", "yellow",  
"red"]}, 'NO2_column_number_density');
```

Finalmente se exporta un archivo raster en formato Tiff al Google Drive del usuario con el siguiente código.

```
Export.image.toDrive({  
image: NO2Clip.select("NO2_column_number_density"),
```

```
description: 'dio*xido de Nitrógeno-NO2',  
scale: 1100,  
region: geometry});
```

El código se comparte aquí [8]. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

V. RESULTADOS

5.1 Acumulados de NO₂ total en las capitales distritales

De acuerdo con la Figura 5, la concentración total anual de NO₂ entre los 2019, 2020, 2021 y 2022 es la siguiente.

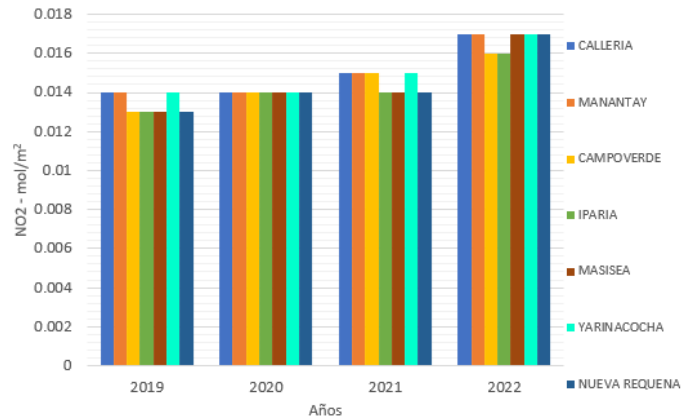


Fig. 5 Evolución de la concentración anual de NO₂ en los distritos de la provincia de Coronel Portillo entre los años 2019,2020 ,2021 y 2022.

De acuerdo con la Figura 6, la concentración total mensual de NO₂ entre los 2019, 2020, 2021 y 2022 para las capitales en la provincia de Coronel Portillo, es la siguiente.

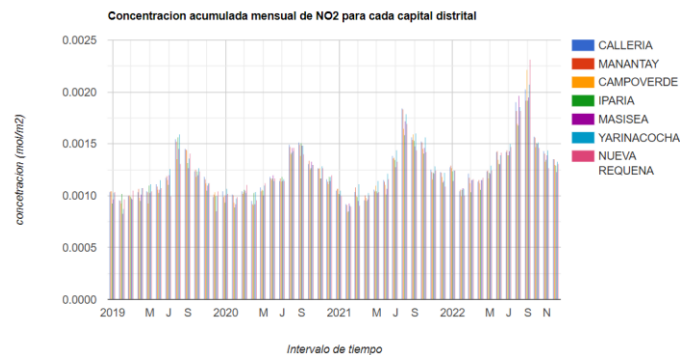


Fig. 6 Evolución de la concentración anual de NO₂ en los distritos de la provincia de Coronel Portillo entre los años 2019,2020 ,2021 y 2022.

5.2 Acumulados de NO₂ total en las áreas distritales

De acuerdo con la Figura 7, el volumen total anual de NO₂ para áreas distritales entre los 2019, 2020, 2021 y 2022 es el siguiente.

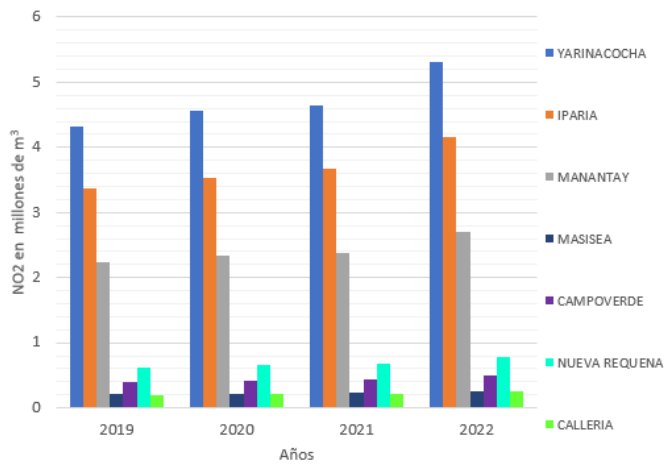


Fig. 7 Evolución del volumen total anual de NO₂ en los distritos de la provincia de Coronel Portillo entre los años 2019, 2020, 2021 y 2022.

De acuerdo con la Figura 8, el volumen total mensual de NO₂ entre los 2019, 2020, 2021 y 2022 es el siguiente.

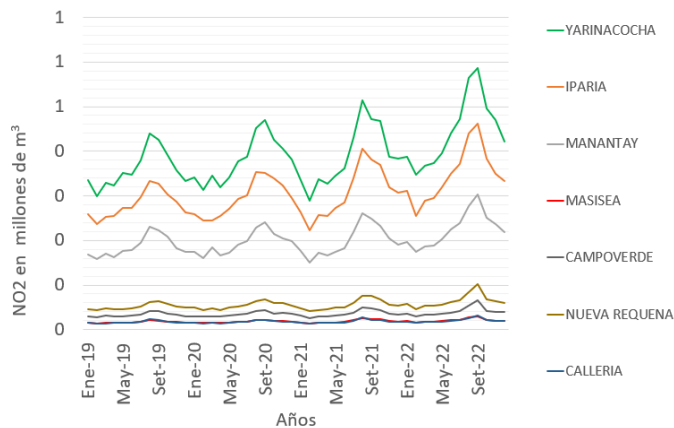


Fig. 8 Evolución del volumen total mensual de NO₂ en los distritos de la provincia de Coronel Portillo entre los años 2019, 2020, 2021 y 2022.

En la figura 7 y 8 se visualiza que Yarinacocha e Iparía son los distritos con mayor volumen de NO₂, mientras que Callería es el menor emisor de este contaminante durante estos meses y años.

5.3 Representación espacial acumulada anual del NO₂

Se obtuvieron las distribuciones anuales de NO₂ para los años 2019, 2020, 2021 y 2022 usando el script desarrollado en el ítem 4.3, y cargados en GEE como se muestra en la figura 9.

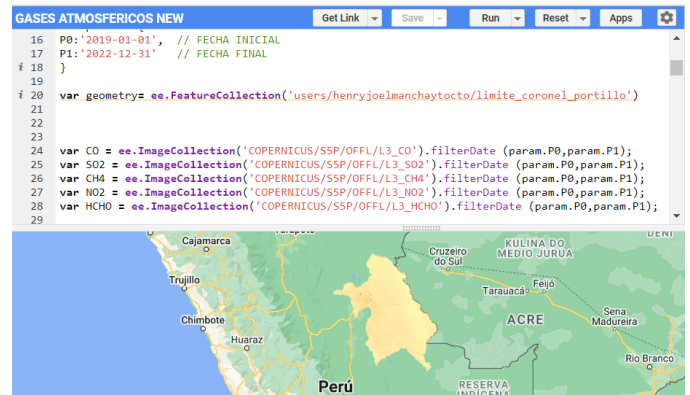


Fig. 9 Funcionamiento del código creado para representar la distribución del de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo.

La información raster de la concentración de NO₂ en mol/m² se puede ver en las figuras 10, 11, 12 y 13.

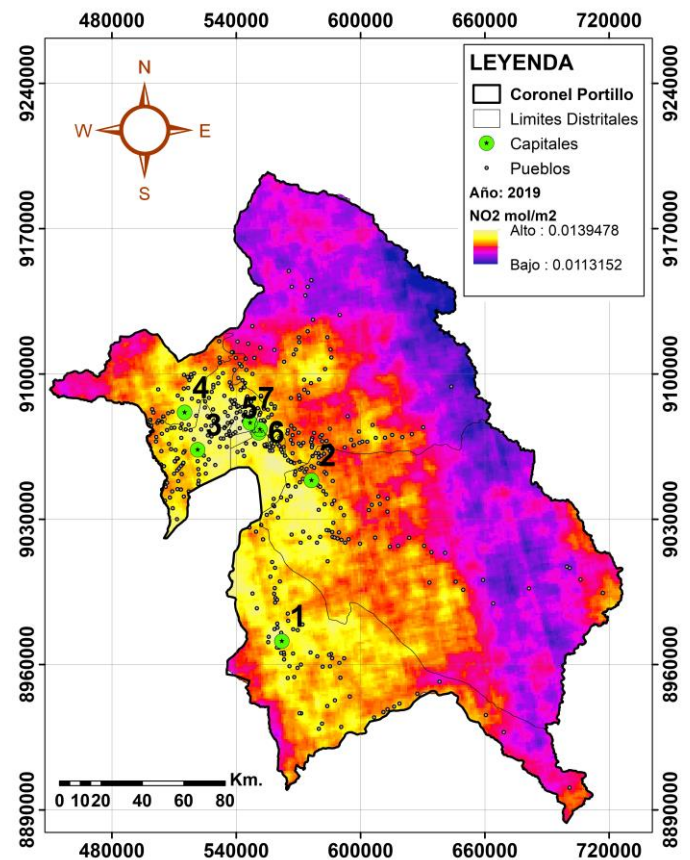


Fig. 10 Distribución anual acumulada de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo durante 2019.

Los datos obtenidos en el año 2019 presentan una concentración de NO₂ desde un valor mínimo de 0.0113 mol/m² hasta un valor máximo de 0.014 mol/m² con una media de 0.0126 mol/m². En la imagen se refleja que en las capitales es donde hay mayor elevación de NO₂ ya que es el

área vehicular y en las partes en donde se encuentra los bosques es menor la concentración.

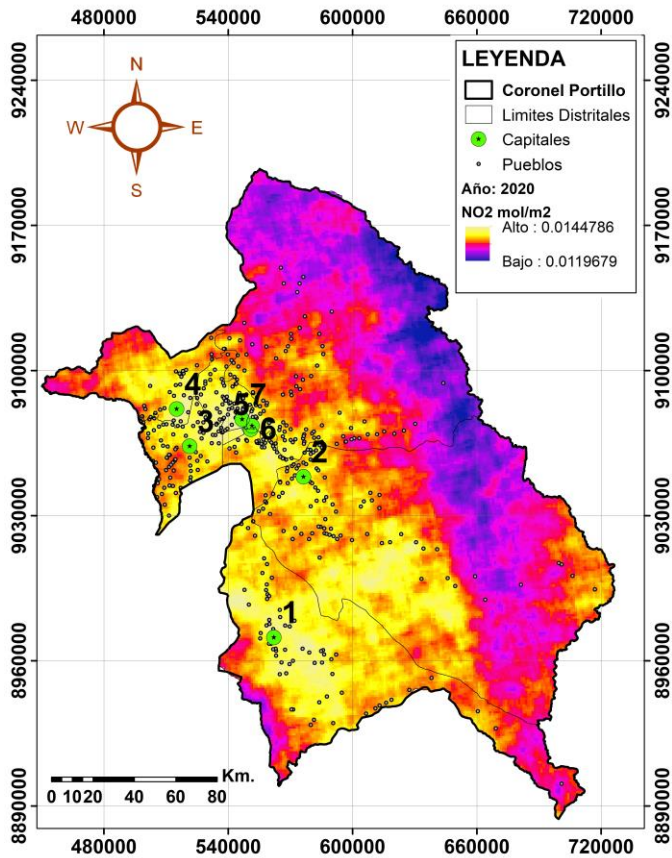


Fig. 11 Distribución anual acumulada de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo durante 2020.

En el año 2020 el NO₂ ronda los valores mínimos de 0.012mol/m² promedios de 0.0132mol/m² y máximos de 0.0145mol/m², estas últimas presentes al sur de la provincia de Coronel Portillo; también se presenta un pequeño incremento en la parte sur este donde se encuentran 3 pueblos.

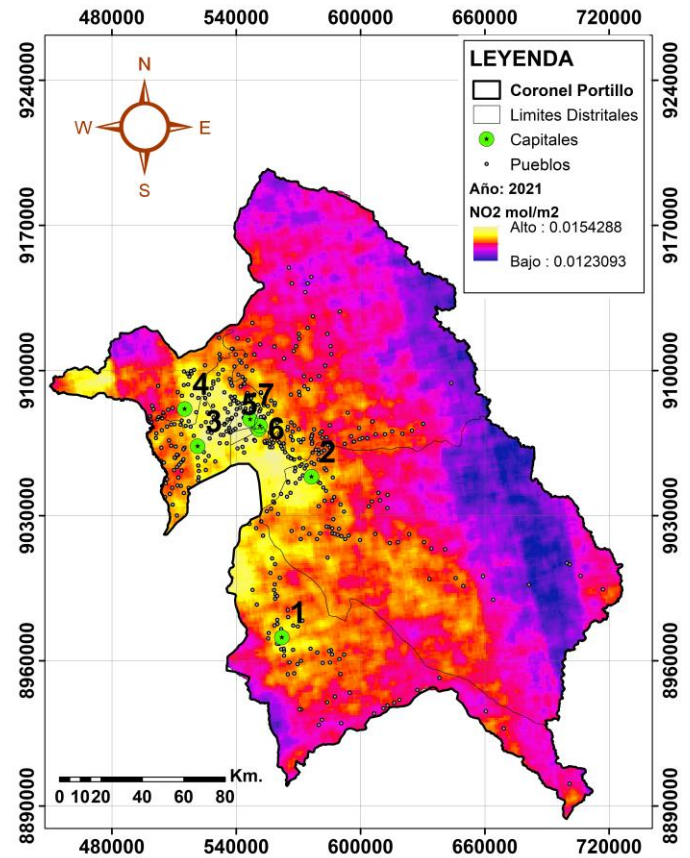


Fig. 12 Distribución anual acumulada de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo durante 2021.

En el año 2021 los valores mínimos son de 0.0123mol/m² promedios de 0.0136mol/m² y máximos de 0.0154mol/m², debido a que el grado de la pandemia bajó las personas salieron a laburar.

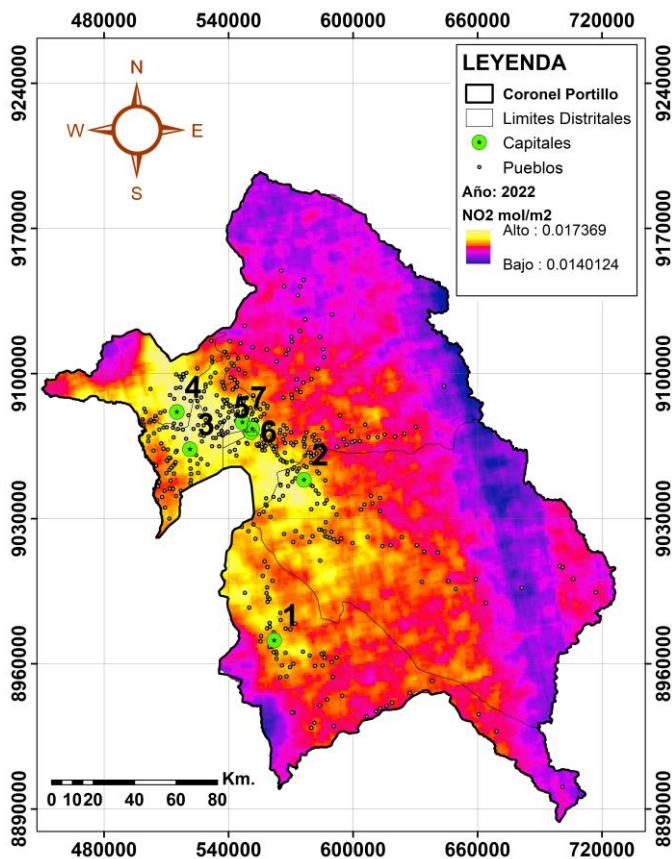


Fig. 13 Distribución anual acumulada de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo durante 2022.

En el 2022 la pandemia tenía un menor impacto por tal motivo se puede apreciar concentraciones de NO₂ que rondan los valores mínimos de 0.014 mol/m² promedios de 0.156 mol/m² y máximos de 0.0174 mol/m²,

Por otro lado, incrementó la adquisición de vehículos 0,2%: automóviles y motocicleta nueva (10 ciudades) ambos con 0,2%. [11]

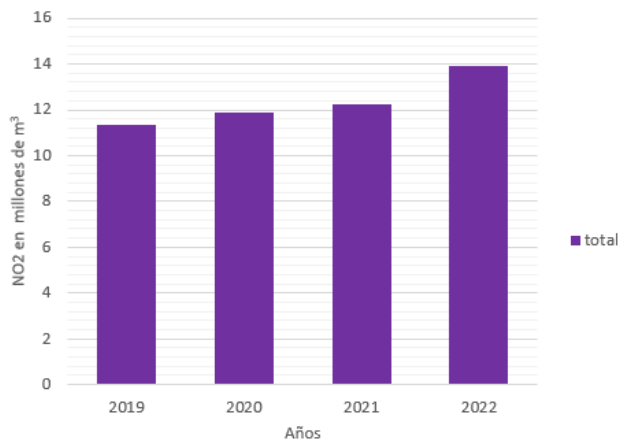


Fig. 14 Acumulación anual de NO₂ en la provincia de Coronel Portillo en millones de m³.

En la Figura 14 podemos apreciar el acumulado total de NO₂ en millones de m³ por cada año en toda el área total de la provincia de Coronel Portillo la cual abarca 38358 Km².

VI. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos podemos concluir que existe un incremento lineal del aumento del NO₂ desde el 2019 en adelante, esto a consecuencia del aumento en el parque automotor y la mala combustión de los vehículos como son las motos lineales. También cabe señalar que se han registrado el aumento de quema de basura y maleza en muchos distritos de la provincia de Coronel Portillo, principalmente en los distritos Yarinacocha, Callería y Manantay, los cuales cuentan con mayor población. El fin de las restricciones por la pandemia incremento estas actividades de emisión lo que a futuro podría generar más problemas en la salud como enfermedades respiratorias en las personas.

Ante la falta de estaciones de registro emisiones de NO₂, este estudio podría ser de mucha utilidad para realizar obras de mitigación en algunas zonas con mayor concentración de gases contaminantes.

VII. REFERENCIAS

- [1] Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. Instituto de Salud Carlos III.
- [2] Municipalidad Provincial Coronel Portillo, 2017. Recuperado de https://www.municportillo.gob.pe/images/pdf/doc2018/pdu17-27/memoriad/dp_p5.pdf
- [3] Rojas Zambrana, D. (2018). Asignación final individual. Recuperado de <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/123456789/1729>
- [4] Solórzano Villegas, J. V., Perilla Suárez, G. A., & Perilla Suárez, L. D. Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento.
- [5] Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. Remote Sensing.
- [6] Abel Carmona Arteaga (2023). Código en Google Earth Engine Extracción de NO₂ para capitales distritales. Recuperado de <https://code.earthengine.google.com/be9f085d0a2ebcc81bd184e9afc78434?fbclid=IwAR3MOrssxaq7UtyC8PAQIRKTCF19WDYJU5IYbhzZNFgfWSTgBwnO7eesdHk>
- [7] Abel Carmona Arteaga (2023). Código en Google Earth Engine Extracción de NO₂ para áreas distritales. Recuperado de <https://code.earthengine.google.com/1f928789a54be72f39de1195ed803271?fbclid=IwAR3MOrssxaq7UtyC8PAQIRKTCF19WDYJU5IYbhzZNFgfWSTgBwnO7eesdHk>
- [8] Abel Carmona Arteaga (2023). Código en Google Earth Engine Raster de gases contaminantes. Recuperado de <https://code.earthengine.google.com/339d6f2890a4c86afda8817b0205bb13?fbclid=IwAR3MOrssxaq7UtyC8PAQIRKTCF19WDYJU5IYbhzZNFgfWSTgBwnO7eesdHk>

- [9] Madrid Salud, 2022, Dióxido de Nitrógeno y Salud. Recuperado de <https://madridsalud.es/dioxido-de-nitrogeno-y-salud/>
- [10] El Comercio, 2021, obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/controlan-incendio-en-planta-llamagas-de-pucallpa-y-suspenden-inmunizacion-contr-el-covid-19-por-precaucion-nndc-noticia/>
- [11] Instituto Nacional de Estadísticas e informática, 2022, <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/10-informe-tecnico-variacion-de-precios-set-2022.pdf>