Determinación del daño potencial por ozono (O3) en el bosque de coníferas y encino, del Suelo de Conservación en el sur de la Ciudad de México (CDMX)

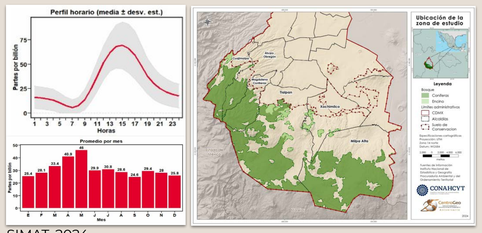
mediante imágenes de satélite, en la época cálida-seca y fría-seca del año 2022

Lizbeth Camacho Olivares Mariana Araceli Jiménez Galicia Citlalli Mendoza Munguía

Asesora: Mónica Ballinas Oseguera Asesor: Juan Carlos Valdiviezo Navarro

Introducción

La contaminación por ozono (O_3) es un problema significativo en la Ciudad de México, especialmente en las zonas montañosas del sur, donde se han detectado altas concentraciones de este contaminante (Bermejo, V., et al., 2021).



SIMAT, 2024.

El O_3 , conocido por su capacidad oxidante, ha causado daños visibles en la vegetación, particularmente en los bosques de coníferas y encinos de la CDMX (Reyes-Galindo et al., 2024).

Fuente: De Bouer, L. et al., 2007

Fuente: Reyes, V., 2019.

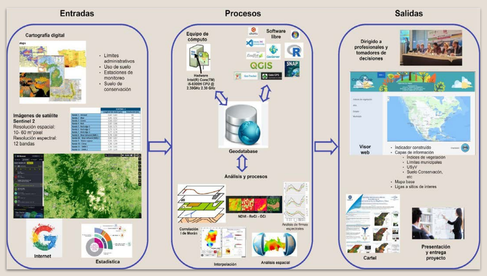
Este proyecto se enfocó en estimar el daño potencial que el ozono puede causar en la vegetación en la época cálida-seca (marzo, abril y mayo) y fría-seca (octubre, noviembre y diciembre) a través el análisis de imágenes de satélite.

Objetivo

Proponer un indicador, que permita conocer el daño potencial provocado por el O_3 en el bosque de coníferas y encinos del sur del Suelo de Conservación de la CDMX en la época cálida-seca y fría-seca en el año 2022, mediante el análisis de imágenes satelitales y con ello promover la creación de nuevas políticas públicas para su preservación.

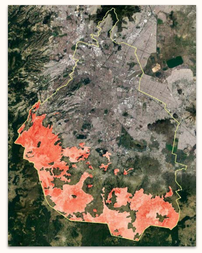
Metodología

Entradas	Procesos	Salidas
Capas: - Suelo de Conservación - Uso de suelo y vegetación - Bosque de coníferas y encinos del SC Imágenes Sentinel Datos de campo Datos de O_3	Índices de vegetación Firmas espectrales Análisis estadísticos: - Test de Wilcoxon - I de Morán - Prueba de proporciones Interpolación de datos O_3	Indicador y mapa de daño potencial por O_3 (IDPO) Visualizador web Póster



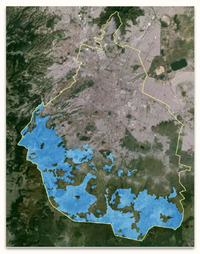
Resultados

Índices de vegetación



Índice de clorofila de Borde Rojo (ReCl)

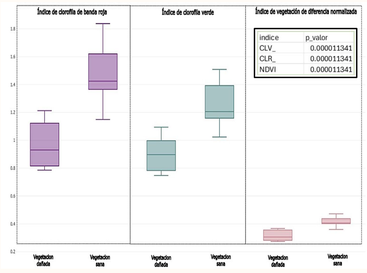
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

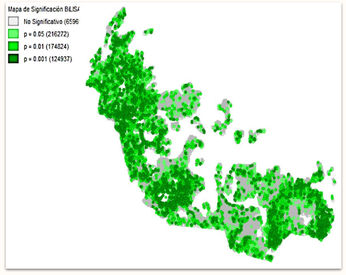


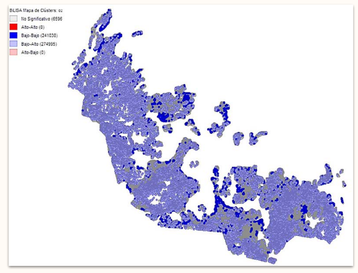
Índice de Clorofila Verde (GCI)

Para el estudio de la vegetación, se han desarrollado diversos índices espectrales con el objetivo de evaluar su vigor a partir de su estructura, cantidad de clorofila y contenido de agua. Estos índices utilizan principalmente los valores de reflectividad de los canales del visible y el infrarrojo (Bannari & Huete, 2010; Lanfri, 2010), minimizando las perturbaciones causadas por elementos como la atmósfera y el suelo (Gilabert et al., 1997; Jackson et al., 1983).

El ReCl mide la actividad fotosintética de la vegetación a través de los niveles de nitrógeno. El GCI estima el contenido de clorofila en las hojas, reflejando el estado fisiológico de la vegetación. El NDVI es utilizado como un parámetro importante para caracterizar los cambios en la vegetación.



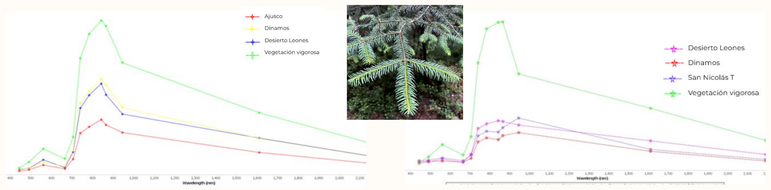




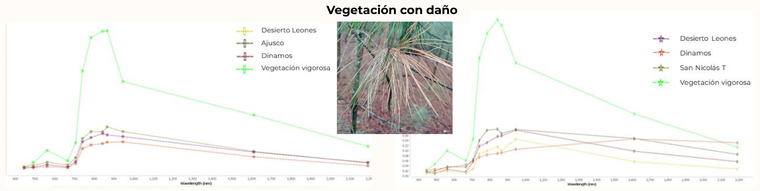
Firmas espectrales

Las firmas espectrales identifican y clasifican coberturas basándose en su respuesta a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (Hernández & Montaner, 2004). Cuando la vegetación está sana, presenta una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano (0,78-1,1 µm) y una menor reflectancia en el canal visible (0,4-0,7 µm), con un pico en la porción verde alrededor de los 0,55 µm.

Vegetación sana



Vegetación con daño



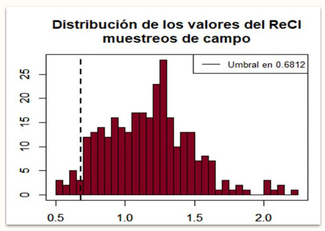
Análisis estadístico

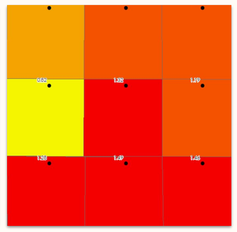
El test Wilcoxon ayudó a proponer un umbral, de acuerdo con el grupo "no sano", a partir del tercer cuartil (diagrama de caja) como umbral para diferenciar a la vegetación "no sana" de la "sana".

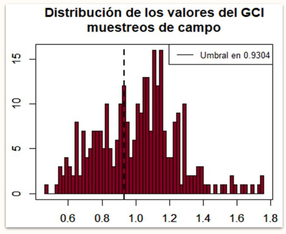
El índice de Morán para O_3 y los índices ReCl y GCI indican una autocorrelación espacial (**ACE**) positiva, lo que significa que valores similares se agrupan geográficamente. Sin embargo, esta **ACE** es débil (0.018), lo que sugiere una asociación modesta entre las variables. A pesar de esto, el p-valor (0.001 con 999 permutaciones) confirma que los patrones espaciales observados no son producto del azar.

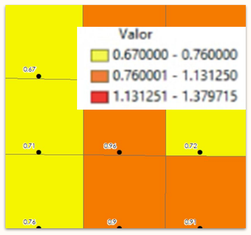
Validación

Para ReCl, se rechaza la hipótesis nula de que la proporción de valores por encima del umbral es 0.6, con una estimación mucho mayor de 0.956229, lo que sugiere que la mayoría de la vegetación evaluada es sana. En contraste, para el GCI, no se rechaza la hipótesis nula, ya que su proporción está cerca de 0.6, lo que indica que la proporción de valores por encima del umbral podría no ser significativamente diferente de 0.6.

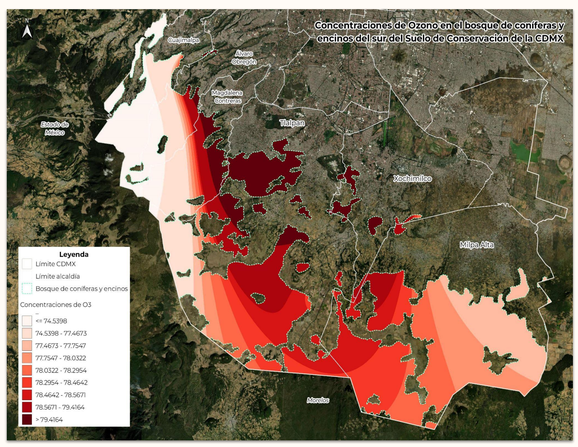


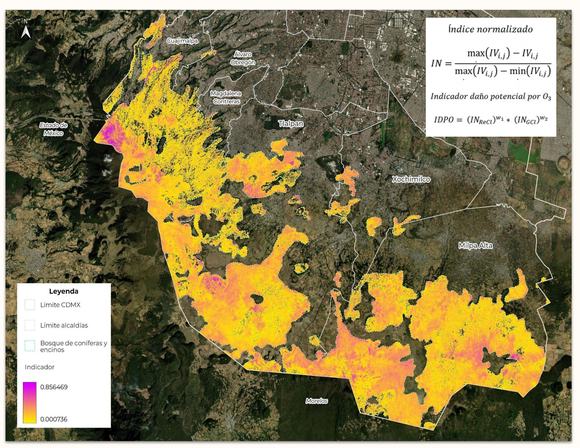






Indicador de Daño Potencial por O_3 (IDPO)





El indicador con el que se realizó la interpolación IDW fué el promedio por estación de monitoreo (10 estaciones de la RAMA) de los meses de las temporadas SC y SF, considerando las horas donde la concentración de O_3 es alta (de las 13-17 hr).

Se utilizaron las fórmulas para normalizar e invertir la escala de los valores de los índices que mejor correlacionaron con el O_3. Posteriormente, se construyó el indicador combinado, asignando un peso igual de 0.5 a cada índice. Esta normalización permitió que los índices estuvieran en una escala comparable. En el mapa final del IDPO 2022, se observa que la mayor parte del Suelo de Conservación con vegetación de coníferas y encinos está bajo estrés constante, posiblemente debido a la exposición continua al O_3.

Conclusiones

El estudio sobre el daño potencial del O_3 en los bosques de coníferas y encinos del Suelo de Conservación del sur de la Ciudad de México, demostró que los índices espectrales de imágenes satelitales son herramientas eficaces para identificar y cuantificar el impacto de este contaminante en la vegetación. Se encontró una correlación entre las concentraciones de O_3 y los cambios en la vegetación, lo que llevó a la creación de un indicador de daño potencial. Sin embargo, se identificó la necesidad de explorar más a fondo la influencia de factores como la orografía, el viento, temperatura y radiación solar, temas que quedaron fuera del alcance de este estudio.

Además, los muestreos de campo realizados no fueron lo suficientemente robustos, por lo que futuros estudios deberían considerar más puntos de muestreo y técnicas como el uso de espectroradiómetros para una validación más precisa.

El Indicador de Daño Potencial por O_3 (IDPO), proporciona una base para el monitoreo continuo y la formulación de políticas públicas orientadas a la preservación de los bosques de coníferas y encinos. Además, con la implementación de este indicador se puede dar cuenta del desgaste que existe en la zona del SC de la CDMX, ya que prácticamente toda la vegetación presenta algún tipo de afección, por lo que es de gran importancia este tipo de estudio para la documentación de la conservación ambiental en el sur de la CDMX.

La metodología empleada y los hallazgos obtenidos subrayan que es esencial integrar tecnologías de percepción remota y análisis estadístico robusto para abordar problemas ambientales complejos y promover la sostenibilidad ecológica en áreas urbanas y periurbanas.

Contactos

Mariana A. Jiménez Galicia
al.mjimenez@centrogeo.edu.mx

Citlalli Mendoza Munguía
al.cmendoza@centrogeo.edu.mx
cmendoza.simat@gmail.com

Lizbeth Camacho Olivares
al.lcamacho@centrogeo.edu.mx

Portal web

http://104.168.61.56/Geovisor/IDPO.html

O escanea el código QR.

Agradecimientos

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a la Dra. Mónica Ballinas Oseguera y al Dr. Juan Carlos Valdiviezo Navarro por su guía y apoyo, que fueron fundamentales para llevar a buen término el proyecto. Agradecemos a la Mtra. Cecilia Gutiérrez y al Mtro. Luis Alejandro Castellanos, por su orientación en Diseño de Proyectos, y al Dr. José Luis Silván por revisar el proyecto, actuar como nuestro sinodal y proporcionar valiosos comentarios.

Reconocemos también a los profesores de la especialidad que nos apoyaron durante el desarrollo del proyecto, y al Dr. Pedro E. Mendoza de la Facultad de Ciencias, UNAM por su valiosa contribución. Agradecemos a nuestros profesores, compañeros de la especialidad en Geomática, y a la Mtra. Guadalupe Borja por el soporte en temas administrativos.

Finalmente, extendemos nuestra gratitud a nuestros familiares, al Centro Geo y a CONAHCYT por su continuo apoyo.

Bibliografía

Bannari, A. A., & Huete, A. (2010). A review of vegetation indices. Tucson, AZ: Remote Sensing Reviews.

Bermejo, V., Rábago, I., Ben Amor, A., García-Gómez, H., Nagaz, K., Alonso, R., & González-Fernández, I. (2021). Cooperación internacional e intergubernamental para abordar la mejora de la calidad del aire en el marco del cambio climático: El ozono troposférico y sus efectos en cultivos. Revista Española de Desarrollo y Cooperación, (48), 105-130. doi:10.5209/redc.81181

De Bauer, M. de L., & Hernández-Tejeda, T. (2007). A review of ozone-induced effects on the forests of central Mexico. Environmental Pollution, 147(3), 489-507. doi:10.1016/j.envpol.2006.12.020

Gilabert, M., González Piqueras, J., & García Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. Revista de la Asociación Española de Teledetección, pp. 1-10.

Hernández, J., & Montaner, D. (2004). Patrones de respuesta espectral. Lab. Geomática y Ecología del Paisaje (GEP), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

Lanfri, S. (2010). Vegetation analysis using remote sensing - Master in Emergency Early Warning and Response Space Applications. Instituto Mario Gulich, Universidad Nacional de Córdoba, pp. 4-20.

Reyes Galindo, V. (2019). Análisis transcriptómico de la tolerancia a ozono troposférico en Abies religiosa [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Autónoma de México.

Reyes-Galindo, V., Jaramillo-Correa, J. P., Shishkova, S., Sandoval-Zapotitla, E., Flores-Ortiz, C. M., Piñero, D., Spurgin, L. G., Martin, C. A., Torres-Jardón, R., Zamora-Callejas, C., & Mastretta-Yanes, A. (2024). Histologic, metabolomic, and transcriptomic differences in fir trees from a peri-urban forest under chronic ozone exposure. Ecology and Evolution. Advance online publication. doi:10.1002/ece3.11343

Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). (2024). http://www.aire.df.gob.mx/