

ANALYSIS OF RISK TO VEGETATION BASED ON TROPOSPHERIC OZONE INDICES

ANÁLISIS DEL RIESGO PARA LA VEGETACIÓN FUNDAMENTADO EN LOS ÍNDICES DE OZONO TROPOSFÉRICOS

URBINA L. M.¹; VARGAS L. C.²; VERDUGO W. A.³

¹ **Luz María Urbina. Estudiante**, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, e-mail: luz.urbina@unipamplona.edu.co.

² **Leidy Carolina Gordillo Vargas. Estudiante**, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, e-mail: leidy.gordillo@unipamplona.edu.co.

³ **William Verdugo. Estudiante**, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, e-mail: william.verdugo@unipamplona.edu.co.

Entidad

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140.

RESUMEN

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre los factores ecosistemáticos se ha convertido en una problemática ambiental, que conlleva en la implementación de estrategias de reducción y regulación de los gases emitidos por fuentes antropogénicas. El objetivo principal de la investigación se centra en analizar el riesgo para la vegetación generado por las altas concentraciones de ozono troposférico (O_3). Como metodología de investigación se estudió las series espacio temporales del ozono generado en un área rural durante 3 años, seguido se identificaron los potenciales escenarios de vulnerabilidad de la cobertura vegetal por diferentes rangos de exposición al O_3 , con el fin de determinar la contribución en la conservación de elementos ecosistemáticos esenciales para la sostenibilidad. Dentro de los resultados obtenidos se estima un aumento de los contaminantes emitidos a la atmósfera que son proporcionales en la generación de efectos fitotóxicos, principalmente por su amplia capacidad de introducirse en los receptores vegetales, estos nos indica que el año 2011 aumentaron los niveles de ozono troposférico evidenciando un incremento afectaciones en la vegetación de la zona de estudio. Cabe mencionar que parte de la investigación de la cobertura vegetal presente en la comunidad del Gobierno del País Vasco, España, se aplicaron las normativas instauradas por el Convenio de Ginebra comprendiendo la influencia que posee los factores climatológicos sobre los índices del contaminante evaluado durante el periodo de muestreo.

Palabras clave

Cobertura vegetal, crecimiento y producción, factores climatológicos, ozono troposférico y tipos de exposición.

ABSTRACT

The effects of atmospheric pollution on ecosystem factors has become an environmental problem, which leads to the implementation of strategies to reduce and regulate gases emitted by anthropogenic sources. The main objective of the research focuses on analyzing the risk to vegetation generated by high concentrations of tropospheric ozone (O₃). As a research methodology, the space-time series of ozone generated in a rural area for 3 years was studied, followed by identifying the potential vulnerability scenarios of the vegetation cover due to different ranges of exposure to O₃, in order to determine the contribution in the conservation of ecosystem elements essential for sustainability. Among the results obtained, an increase in pollutants emitted into the atmosphere is estimated, which are proportional to the generation of phytotoxic effects, mainly due to their broad capacity to enter plant receptors. This indicates that in 2011 ozone levels increased, tropospheric evidencing an increase in damage to the vegetation in the study area. It is worth mentioning that part of the investigation of the vegetation cover present in the community of the Government of the Basque Country, Spain, the regulations established by the Geneva Convention were applied, understanding the influence that climatological factors have on the indexes of the pollutant evaluated during the period. Of sampling.

Keywords

Plant cover, growth and production, climatological factors, tropospheric ozone and types of exposure.

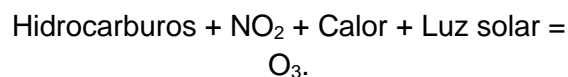
1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los índices de contaminación atmosférica han incrementado de manera exorbitante, principalmente por el desarrollo social que se ha abarcado a nivel mundial; implicando directa e indirectamente en los componentes socioambientales, y, por ende, ha dificultado sostenibilidad, por lo anterior, se ha incursionado en el planteamiento y ejecución de herramientas de monitoreo y regulación que garantizan un ambiente sano.

Fundamentalmente, la implementación de mecanismos de monitoreo de calidad del aire se basan en la necesidad de conservación de la especie, y por ende, esto ha dado hincapié a la protección de elementos presentes en los ecosistemas, como la cobertura vegetal; la cual, a través de estudios, ha demostrado un comportamiento anormal, en cuanto a crecimiento como producción, al ser expuesta a una amplia

concentración de gases, tales como el ozono troposférico (O₃); siendo este un contaminante secundario, dado que su formación depende de un proceso fotoquímico que involucra otros contaminantes (Ecuación 1).

Ecuación 1. Formación del ozono troposférico. Fuente: IDEAM.



Nota. Su proceso de formación comienza con la emisión del dióxido de nitrógeno (NO₂) y de hidrocarburos, a los que se les conoce como los "precursores" principales para la formación del ozono, los cuales son compuestos que reaccionan en la presencia de calor y de luz solar para producir ozono (IDEAM, 2022).

Cabe adicionar que, los efectos que el ozono provoca en la vegetación dependen de la cantidad de contaminante que consigue alcanzar el interior de la planta e interferir en las reacciones bioquímicas y metabólicas gracias a las que se produce el desarrollo y crecimiento vegetal (Villamizar y Fernández.

2015; Salamanca *et al.*, 2018). Debido a que el ozono es un contaminante gaseoso, su principal vía de entrada en las plantas es a través de las estomas, unos pequeños poros en la superficie de las hojas por donde se realiza el proceso habitual de intercambio de gases con la atmósfera que permite la fotosíntesis y la respiración (Trujillo *et al.*, 2019). El ozono penetra en los tejidos vegetales mediante mecanismos de difusión pasiva. De esto también se establece que, al ingresar el contaminante a la planta, un porcentaje se pierde mientras se dirige hacia las capas de aire más cercanas al tejido vegetal y por su contacto con distintas superficies (Villamizar *et al.*, 2019; CIEMAT, 2011).

Por otro lado, la absorción del contaminante por la planta no es el único parámetro que explica la toxicidad del ozono; sino que, las plantas poseen la capacidad de activar determinados mecanismos de defensa, protección y reparación frente a los daños provocados por el ozono. Estos mecanismos de defensa pueden actuar limitando su absorción mediante el cierre estomático, evitando la formación de productos tóxicos derivados de las reacciones del ozono en el medio celular, o destruyendo los compuestos tóxicos ya generados (Rivera *et al.*, 2018; Montalvo *et al.*, 2018; Rua *et al.*, 2018; CIEMAT, 2011). Sin embargo, esto depende de cada especie de acuerdo con una serie de parámetros que definen su desarrollo (condiciones climáticas y nutricionales); al igual que, el tiempo de exposición (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de exposición al ozono en función del tiempo y grado de concentración.

T. EXPOSICIÓN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
Exposición aguda	Altas concentraciones durante periodos cortos de tiempo.	Debilita las capacidades de recibir nutrientes; dado a interferencias de los

Exposición crónica	Concentraciones bajas durante periodos largos de tiempo.	procesos bioquímicos que se llevan a cabo dentro de la especie de vegetación. Genera alteraciones en el crecimiento y producción de la planta por incapacidad de recibir y/o procesar nutrientes.
--------------------	--	---

Nota. Adaptado de la importancia del tipo de exposición al ozono del CIEMAT.

En este estudio, evaluamos el riesgo que presentan 3 tipos de cobertura vegetal de la Comunidad del País Vasco al verse expuesto a los índices de concentración de ozono que se monitorearon durante el 2012, permitiendo la interpretación de sus potenciales implicaciones, de acuerdo con el Convenio de Ginebra, las normativas del Gobierno del País Vasco, y los estudios realizados por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente de Vasco (Tabla 2); permitiendo esto proponer un método preliminar de identificación y relación del ozono troposférico y sus efectos sobre la vegetación.

Tabla 2. Efectos del ozono en los diferentes tipos de cobertura. Fuente: Autores.

VEGETACIÓN	EFFECTOS DEL OZONO
Cultivos	Los efectos del ozono en los cultivos se pueden manifestar como síntomas visibles en las hojas, como reducción de la producción y/o calidad de la cosecha, o como un aumento en la sensibilidad frente a ataques de patógenos (CIEMAT, 2011); sin embargo, esto depende tanto de parámetros

internos como externos, tales como el estado de desarrollo de la planta durante periodo de exposición, así como el tipo de especie, y las variables climatológicas.

Especies forestales El deterioro de las especies forestales no se genera de forma homogénea, por los diferentes tipos de especie que se abarcan dentro de esta clasificación. En el caso de las especies arbóreas y arbustivas europeas han sido descritas como sensibles a los niveles elevados de ozono en el aire (CIEMAT, 2011); provocándoles una reducción considerable en el crecimiento y producción, por el estrés que el contaminante genera.

Herbáceas El ozono puede provocar el desarrollo de daños foliares, la reducción del crecimiento y la producción de semillas y una disminución de la calidad nutritiva (CIEMAT, 2011).

2. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

ÁREAS DE ESTUDIO

Mediante un análisis teórico se estableció las áreas de estudio (Tabla 3), y con ello se identificaron los parámetros de cobertura vegetal y uso del suelo; a través de la implementación de una metodología de zonificación preliminar de componentes biofísicos y antropogénica, la cual consistió en una serie de pasos; siendo el primero la delimitación de las zonas mediante la

aplicación de Google Earth, permitiendo obtener los puntos a través de la configuración de polígonos, que posteriormente se trataron en la plataforma de SAS Planet con el fin de mejorar la resolución para así poder continuar con el proceso, el cual consistió en el recorte de las zonas de acuerdo los límites establecidos por el territorio a través de QGIS; al igual que, en esa aplicación, se realizó la construcción de mapas de tipo de cobertura y uso del suelo con base a la información presente en el código de Corine Land Cover y la ley 388 de 1997, la cual a pesar de no pertenecer a la normativa del País Vasco, esta dictamina de manera precisa la clasificación del suelo. Cabe mencionar que, esto se complementó con la información suministrada por el Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente del País Vasco (Higuera *et al.*, 2018).

Tabla 3. Información de las áreas de estudio. Fuente: Autores.

L.	COORDENADAS		PARÁMETROS	
	LONG.	LAT.	ÁREA	PERÍMETRO
Elciego	2°37'8.2"	42°30'9" Oeste	16.3 Km ²	21.8 Km
		Norte		
	2°57'22"	43°09'04" Oeste	37.5 Km ²	27.3 Km
Llodio		Norte		
	2° 4' 26"	43° 8' 13" Oeste	25 Km ²	38.9 Km
		Norte		
Tolosa				

DATOS DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE

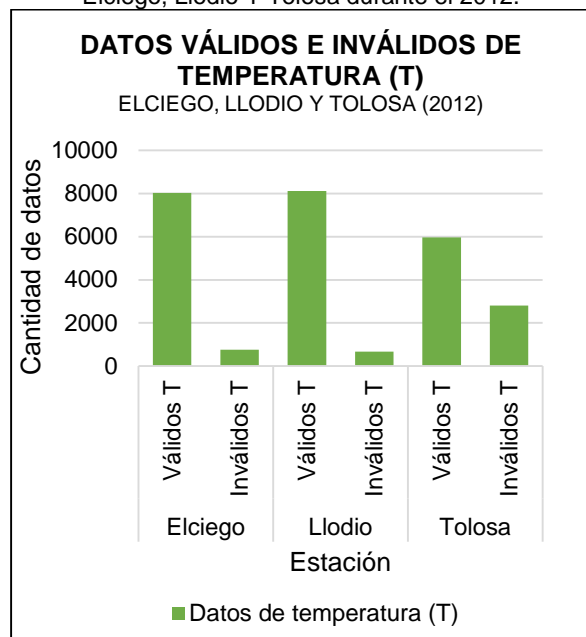
A través de la plataforma del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente del País Vasco se localizaron las diferentes estaciones de monitoreo de calidad del aire presentes en los municipios de Elciego, Llodio y Tolosa del

Gobierno de Vasco (Tabla 4); permitiendo así, la recopilación de las concentraciones de ozono (O₃) monitoreadas durante el 2012, estableciendo de esta manera un total de 52.704 datos; de los cuales 46.510 se catalogaron como datos válidos (Figura 1 y 2), esto debido al proceso de depuración al que sometió la base de datos (Ramón y Moreno. 2018).

Tabla 4. Estaciones de Vasco de las 3 zonas de estudio. Fuente: Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente.

E.	ZONA DE CALIDAD DEL AIRE	MUNICIPIO	PROVINCIA
Elciego	Ribera	Elciego	Álava
Llodio	Encartaciones-Alto Nervion	Llodio	Álava
Tolosa	Goierry	Tolosa	Guipúzcoa

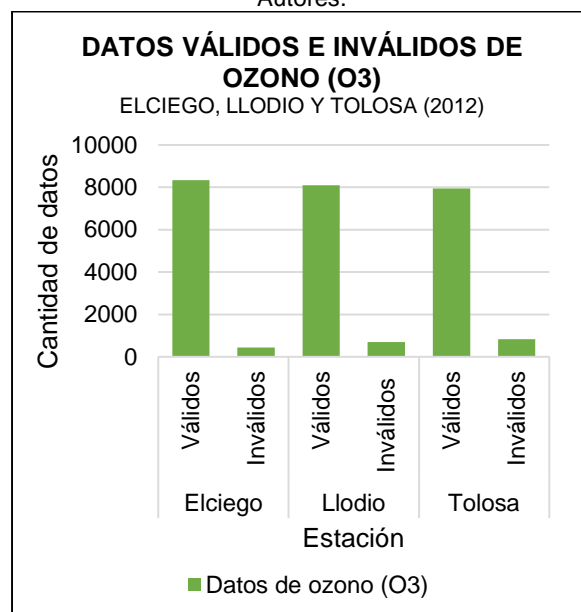
Figura 1. Datos válidos e inválidos de ozono (o3) de Elciego, Llodio Y Tolosa durante el 2012.



Fuente: Autores.

En concreto, para el ozono troposferico (O₃), en las estaciones de calidad del aire de los municipios de Elciego, Llodio y Tolosa presenta un porcentaje de datos inválidos de 5.06%, 7.87% y 9.51% respectivamente, registrados en el 2012; mientras que, para la temperatura (°C), presenta un porcentaje de datos inválidos de 8.53%, 7.52% y 32% respectivamente (Oliveros *et al.*, 2019).

Figura 2. Datos válidos e inválidos de temperatura (T) de Elciego, Llodio Y Tolosa durante el 2012. Fuente: Autores.



DATOS CLIMATOLÓGICOS

A través de la plataforma oficial del Gobierno de Vasco y Power Nasa se obtuvieron los datos mensuales relacionados a la precipitación y temperatura de las zonas estudiadas durante el 2012.

2.2 FASE 2. ESTIMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA CONCENTRACIÓN DEL OZONO TROPOSFÉRICO.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE OZONO

En este apartado se estudió las variaciones estacionales del ozono (O₃), teniendo en cuenta la influencia que posee la climatología sobre el contaminante; permitiendo comprobar la relación directamente proporcional que poseen estos dos factores.

ESTIMACIÓN DE LOS PERJUICIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

Se investigaron los límites máximos permisibles de ozono (O₃) para la protección de la cobertura vegetal; permitiendo postular una comparación entre los valores establecidos por el Convenio de Ginebra (Tabla 5) y por la Directiva Europea de Calidad del Aire (Tabla 6) con los datos tratados de las 3 zonas evaluadas durante el 2012, y con ello, plantear una clasificación de acuerdo con su potencial de riesgo.

Tabla 5. Niveles críticos de ozono para los distintos tipos de vegetación y sus efectos

VEG.	TIPO	NIVEL C.(µg/m3)	TIEMPO	EFECTO
Cultivos	Agrícolas	6.000	3 meses	Reducción de la producción (5%).
	Hortícolas	12.000	3,5 meses	Reducción de crecimiento (5%).

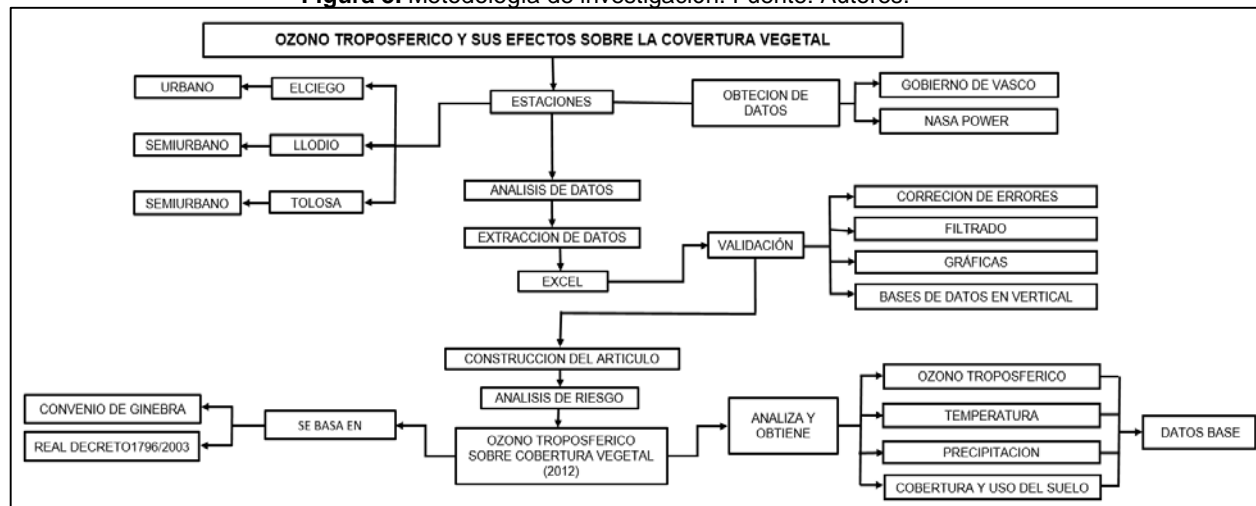
Especies forestales	Especies forestales	10.000	Estación de crecimiento	Reducción de crecimiento (5%).
Herbáceas	Pereñnes	10.000	6 meses	Reducción de crecimiento (10%).
	Anuales	6.000	3 meses	Reducción de crecimiento y/o producción de semillas (10%).

Nota. Adaptado de los niveles críticos de ozono para los distintos tipos de vegetación establecidos en el Convenio de Ginebra.

Tabla 6. Niveles críticos de ozono establecidos por el Real Decreto 1796/2003. Fuente: Ministerio de la Presidencia.

C.	PERIODO	NIVEL CRÍTICO (µg/m3)
Protección de la vegetación	Acumulado durante 3 meses (mayo-julio). Medida de 5 años, contados, por primera vez, a partir de 2010.	18.000

Figura 3. Metodología de investigación. Fuente: Autores.

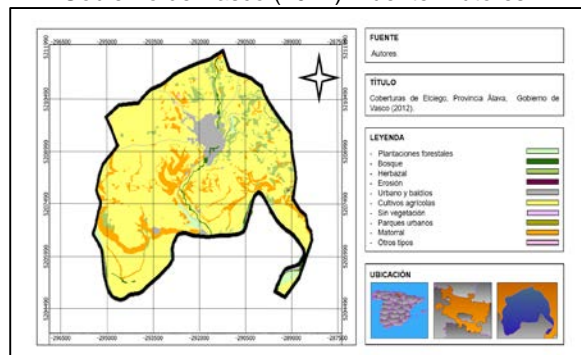


3. RESULTADOS

ELCIEGO – PROVINCIA DE ÁLAVA – GOBIERNO DE VASCO

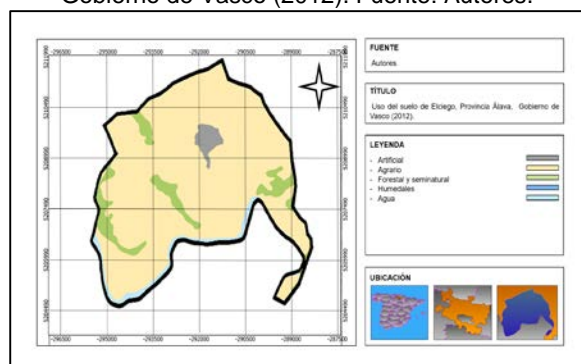
La vegetación de la localidad se conformaba por una amplia variedad de tipos de cobertura vegetal, de los cuales predominaron los cultivos agrícolas, especies herbáceas, matorral y plantación forestal (Figura 4); por lo que, para el 2012, se establecieron como especies de mayor riesgo a la exposición de contaminantes. Sin embargo, de acuerdo a los informes establecidos dentro del estudio, y por las actividades antropogénicas que se desarrollaron en el municipio de la provincia de Álava (Figura 5), se puede afirmar que, durante 2012, las concentraciones de ozono eran considerablemente aceptables debido a que se mantuvieron por debajo del límite establecido por el Convenio de Ginebra (Tabla 7), y por ende se denotó el cumplimiento del Real Decreto de 1796/2003; a pesar de que las condiciones climatológicas se podrían considerar idóneas para la formación del ozono troposférico. Por lo tanto, el riesgo de generación de efectos fitotóxicos, durante esa época, era mínimo.

Figura 4. Coberturas de Elciego, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.



Nota. De acuerdo al informe "Catálogo del Paisaje Área Funcional de Álava Central" del Departamento de Medio Ambiente Planificación Territorial y Vivienda, los cultivos de la zona se definen principalmente por la triada mediterránea (cultivos de trigo, vid y el olivo).

Figura 5. Uso del suelo de Elciego, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.



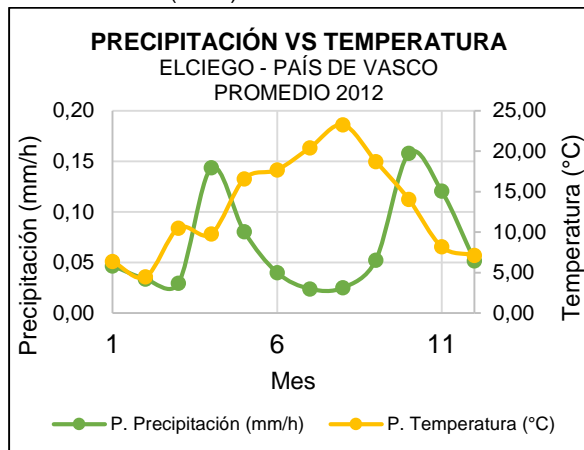
Nota. La distribución de uso de suelo prioriza principalmente los espacios para agricultura.

Tabla 7. Evaluación preliminar del cumplimiento del Convenio de Ginebra en Elciego (2012). Fuente: Autores.

TIPO VEGETACIÓN	TIPO	CONVENIO DE GINEBRA		DATOS	CATEGORÍA (CUMPLE O INCUMPLE)
		PERIODO	NIVEL CRÍTICO (µg/m3)	CONCENTRACIÓN (µg/m3)	
Cultivo	Agrícola	Enero - Marzo	6.000	182,93	Cumple
		Abril - Junio	6.000	238,03	Cumple
		Julio - Septiembre	6.000	220,87	Cumple
		Octubre - Diciembre	6.000	151,84	Cumple
E. Forestal	E. Forestal	Marzo - Junio	10.000	312,14	Cumple
Herbácea	Perennes	Enero - Junio	10.000	420,95	Cumple
		Julio - Diciembre	10.000	372,71	Cumple
	Anuales	Enero - Marzo	6.000	182,93	Cumple
		Abril - Junio	6.000	238,03	Cumple
		Julio - Septiembre	6.000	220,87	Cumple
		Octubre - Diciembre	6.000	151,84	Cumple

Cabe adicionar que, en general, las concentraciones se presentaron en un periodo discontinuo entre los 30 y 65 microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); siendo este comportamiento fuertemente influenciado por las variables climatológicas que se generaron durante el periodo evaluado, indicando así que, a medida que aumentaba la temperatura incrementaba las concentraciones de ozono (O_3), estableciendo así una relación directamente proporcional (Figura 6).

Figura 6. Precipitación vs temperatura de Elciego (2012). Fuente: Autores.



Nota. Se denotó que, las precipitaciones con mayor proporción se presentaron entre el mes de septiembre y octubre, siendo estos correspondientes a la temporada de otoño que se genera en el Gobierno de Vasco, obteniendo como máximo 0.15 mm/h. Por otro lado, en cuanto a la temperatura, se puede decir que, los promedios máximos se mantuvieron principalmente entre junio y septiembre, coincidiendo con la temporada de verano; a la cual se le atribuyó como la temporada con mayor potencial de formación y acumulación de ozono troposférico.

LLODIO – PROVINCIA DE ÁLAVA – GOBIERNO DE VASCO

Como se observa en la Figura 7, para el 2012, la cobertura local se conformaba principalmente por plantaciones forestales, seguido de matorral, herbazal y bosques, siendo este el tipo de vegetación que, en general, presentó mayor riesgo por presencia de contaminantes con una amplia capacidad de generar efectos fitotóxicos; tales como el ozono troposférico. Sin embargo, de acuerdo a la Tabla 8, las

actividades antropogénicas no generaron una alta concentración de contaminantes precursores (dióxido de nitrógeno e hidrocarburos) para la formación de ozono (O_3); por lo que, se puede afirmar que, tanto la generación como acumulación durante los 12 meses, no fue considerablemente dañina para los elementos vegetales identificados en la zona de estudio, ni siquiera durante la temporada de verano (Figura 8 y 9).

Figura 7. Ozono de Elciego (2012). Fuente: Autores.

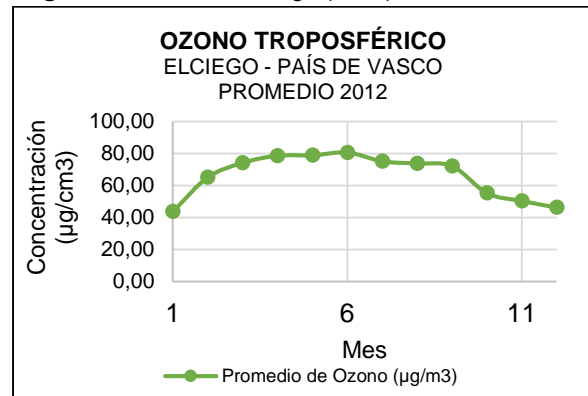


Figura 8. Coberturas de Llodio, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.

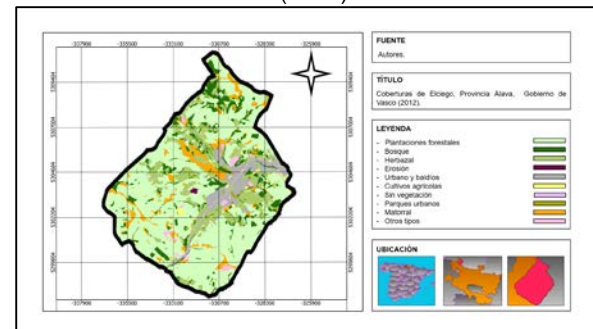


Figura 9. Uso del suelo de Elciego, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.

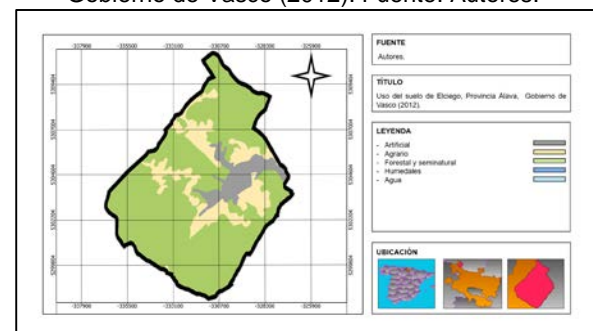
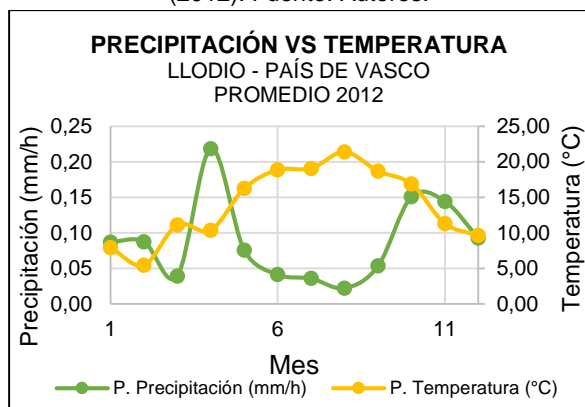


Tabla 8. Evaluación preliminar del cumplimiento del Convenio de Ginebra en Llodio (2012). Fuente: Autores.

TIPO VEGETACIÓN	TIPO	CONVENIO DE GINEGRA		DATOS	CATEGORÍA (CUMPLE O INCUMPLE)
		PERIODO	NIVEL CRÍTICO (µg/m3)	CONCENTRACIÓN (µg/m3)	
Cultivo	Agrícola	Enero - Marzo	6.000	73,71	Cumple
		Abril - Junio	6.000	109,34	Cumple
		Julio - Septiembre	6.000	86,89	Cumple
		Octubre - Diciembre	6.000	92,44	Cumple
E. Forestal	E. Forestal	Marzo - Junio	10.000	141,67	Cumple
Herbácea	Perennes	Enero - Junio	10.000	183,06	Cumple
		Julio - Diciembre	10.000	179,33	Cumple
	Anuales	Enero - Marzo	6.000	73,71	Cumple
		Abril - Junio	6.000	109,34	Cumple
		Julio - Septiembre	6.000	86,89	Cumple
		Octubre - Diciembre	6.000	92,44	Cumple

Por otro lado, las concentraciones se presentaron en un periodo discontinuo entre los 15 y 46 microgramos/metro cúbico (µg/m3), predominando el cuarto mes del 2012; a pesar de que la temperatura promedio de abril está catalogada entre las temperaturas más bajas generadas dentro del periodo de estudio (figura 10 y 11), indicando así que hubo mayor producción debido a las altas emisiones de contaminantes precursores generadas por actividades antropogénicas; tales como la quema de combustibles para el transporte.

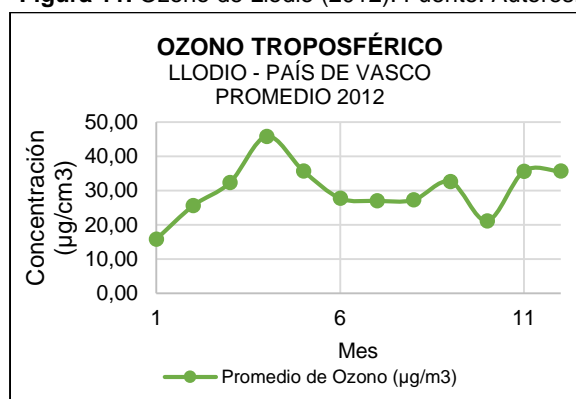
Figura 10. Precipitación vs temperatura de Llodio (2012). Fuente: Autores.



Nota. Se estableció que, tanto la precipitación como la temperatura eran inversamente proporcional, es decir, a medida que aumentó la temperatura, la precipitación disminuyó. Cabe destacar que, las

variables correspondieron a las temporadas climáticas que se genera en el Gobierno de Vasco, las cuales son cuatro (invierno, otoño, primavera y verano); definiendo así, que, la estación de crecimiento, es decir, el período del año en el que tanto las condiciones de humedad como de temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos (ONUAA, 1997), se presentó dentro marzo y junio.

Figura 11. Ozono de Llodio (2012). Fuente: Autores.



TOLOSA – PROVINCIA DE GUIPÚZCOA – GOBIERNO DE VASCO

De acuerdo a la Figura 12 y 13, durante el 2012 la cobertura se definía principalmente por la presencia de plantación forestal, bosque, herbazal y cultivos; sin embargo, según lo indica la Tabla 9, la zona semiurbana no poseía un alto de riesgo de pérdidas de vegetación por exposición de ozono troposférico, debido a que este se mantuvo dentro de los niveles de concentración permisibles tanto del Real Decreto 1796/2003 como del Convenio de

Ginebra. Estipulando así, que las actividades socioeconómicas que se desarrollaron durante el tiempo evaluado no generaban un amplio rango de contaminantes que contribuían en la formación del ozono (O₃).

Figura 12. Coberturas de Tolosa, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.

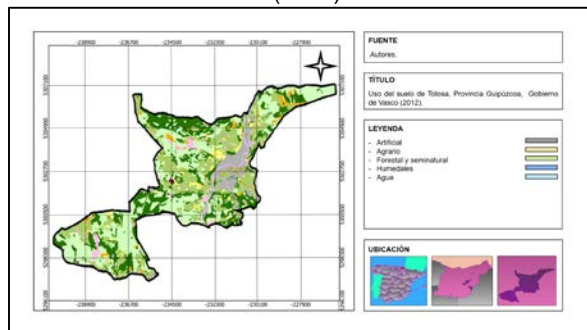
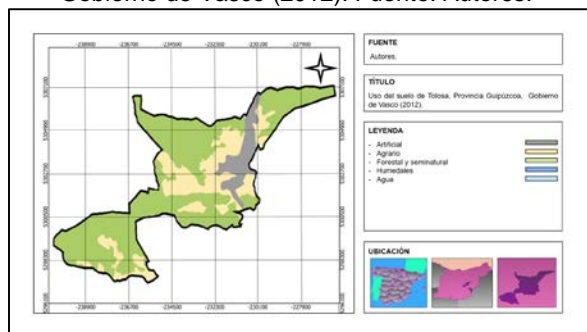


Figura 13. Uso del suelo de Tolosa, Provincia Álava, Gobierno de Vasco (2012). Fuente: Autores.



Cabe resaltar que, el ozono se generó y/o acumuló en mayor proporción durante el

verano (Figura 14 y 15); siendo esta característica correspondiente a la teoría, la cual indica que, a medida que aumenta la temperatura hay mayor concentración de ozono (O₃) (Mora *et al.*, 2018).

Figura 14. Precipitación vs temperatura de Tolosa (2012). Fuente: Autores.

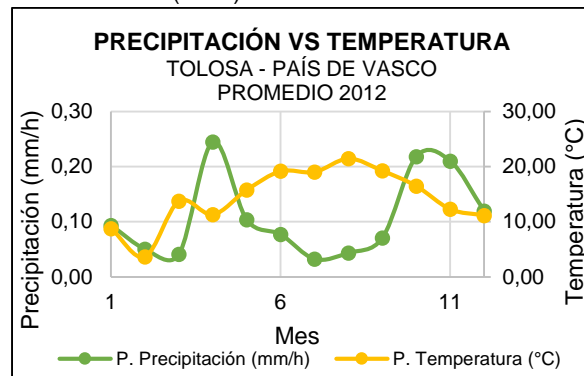


Figura 15. Ozono de Tolosa (2012). Fuente: Autores.

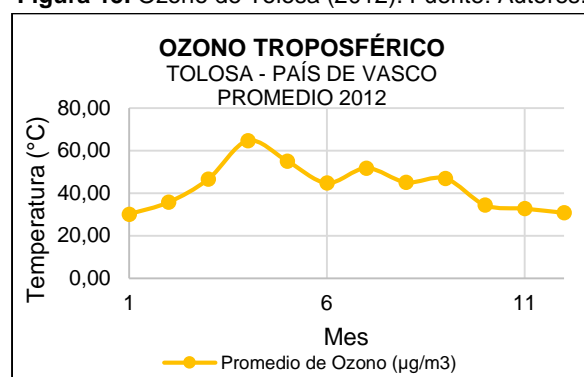


Tabla 9. Evaluación preliminar del cumplimiento del Convenio de Ginebra en Tolosa (2012). Fuente: Autores.

TIPO VEGETACIÓN	TIPO	CONVENIO DE GINEGRA		DATOS	CATEGORÍA (CUMPLE O INCUMPLE)	
		PERIODO	NIVEL CRÍTICO (µg/m3)	CONCENTRACIÓN (µg/m3)		
Cultivo	Agrícola	Enero - Marzo	6.000	112,40	Cumple	
		Abril - Junio	6.000	164,56	Cumple	
		Julio - Septiembre	6.000	143,82	Cumple	
		Octubre - Diciembre	6.000	97,87	Cumple	
E. Forestal Herbácea	E. Forestal	Marzo - Junio	10.000	211,11	Cumple	
		Perennes	Enero - Junio	10.000	276,96	Cumple
	Julio - Diciembre		10.000	241,69	Cumple	
	Anuales		Enero - Marzo	6.000	112,40	Cumple
			Abril - Junio	6.000	164,56	Cumple
			Julio - Septiembre	6.000	143,82	Cumple
			Octubre - Diciembre	6.000	97,87	Cumple

4. DISCUSIÓN

En general, el municipio de Elciego – Provincia de Álava se estableció como la zona con mayor concentración y acumulación de ozono troposférico; sin embargo, este no sobrepasó los límites que se consideran nocivos para la cobertura vegetal, por lo que, se puede concluir que durante el 2012 el nivel de riesgo de pérdida y/o reducción del crecimiento de las especies era mínimo, y por lo mismo, no se consideró necesario el planteamiento de esquemas de minimización y/o compensación por perjuicios. Por otro lado, se reconoció que, en las 3 áreas de estudio, se generó un incremento del contaminante durante mes de abril, el cual se mantuvo regular hasta septiembre; dadas las condiciones climáticas propias de la localidad, ya que el comportamiento de la temperatura y precipitación se vio fuerte influenciado por las estaciones; denotando que, el aumento se generó durante la primavera y el verano.

5. CONCLUSIÓN

Este estudio proporcionó una metodología preliminar, que permite la identificación de zonas con alto riesgo de pérdida y/o reducción en la cobertura vegetal por diferentes tipos de exposición; facilitando así la priorización espacial de gestión, y con ello, contribuir en la conservación de elementos ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad.

Para el caso de Elciego, Llodio y Tolosa, se evidenció que, durante el 2012 el rango de concentración y acumulación de ozono troposférico era aceptable, debido a que los índices no sobrepasaban un promedio trimestral de 150 a 190 microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); siendo este el 1% del nivel crítico establecido por el Real Decreto 1796/2003, y, por lo tanto, los escenarios de

vulnerabilidad para los diferentes tipos de cobertura (cultivos, especies forestales y herbáceas), por efectos fitotóxicos provocados por la exposición crónica de ozono, son casi nulos.

Cabe adicionar que, al ser una metodología preliminar es necesario generar un estudio de campo a nivel detallado con el fin de comprobar los datos obtenidos para la conformación de un diagnóstico real.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CIEMAT, al Convenio de Ginebra y a la Directiva Europea de Calidad del Aire por proporcionarnos información con respecto ozono troposférico y sus efectos en diferentes tipos de vegetación; al Congreso de Colombia, Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente del Gobierno del País Vasco y al IDEAM por proporcionarnos información sobre la clasificación de la cobertura y usos del suelo y a Nasa Power por facilitarnos el acceso a datos meteorológicos y de calidad del aire; al Ing. Francisco Jaimes Arredondo por asesorarnos en la construcción de mapas; al Ph.D. Jarol Derley Ramón Valencia por asesorarnos en el proceso de tratamiento de datos; y al Químico Mauricio Bugallo Carvajal por el apoyo durante la realización de esta investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIEMAT. (2011). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm30-188049.pdf.
- Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997. Disponible en: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6491.pdf>.

- Departamento de Desarrollo Económico, Sostenible y Medio Ambiente de Vasco. (2014). Usos de suelos de Vasco. Disponible en: https://www.euskadi.eus/web01-s2osa/es/contenidos/informacion/if_mapas_usos/es_dapa/if_mapa_usos.html.
- Departamento de Medio Ambiente Planificación Territorial y Vivienda. (2019). Disponible en: https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/catalogo_paisaje_a_central/es_def/docs/PRESENTACION.pdf.
- Ecologistas en acción. (2013). Ozono troposférico. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/27108/ozono-troposferico/>.
- El País. (2009). El 71% de los vascos respira aire contaminado al menos un día al año. Disponible en: https://elpais.com/diario/2009/03/18/paisvasco/1237408804_850215.html.
- Gonzales I. (2009). Flujos estomáticos de ozono y sus efectos sobre la vegetación. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/4157/28298_gonzalez_fernandez_ignacio_anselmo.pdf.
- Higuera, F., Salamanca, J. R., Acosta, L. F. y Acero, M. (2018). Análisis de acero laminado antes y después de soldado, mediante pruebas de metalografía y macroataque. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.3209>
- IDEAM. (2022). Códigos y colores RGB Corine Land Cover para Colombia. Disponible en: https://mixdyr.files.wordpress.com/2022/01/clc_colombia_codigos_y_rgb_poster_v1.2.1.pdf.
- López F. (2021). Análisis de esquemas de deposición seca de ozono troposférico en modelos numéricos de calidad del aire. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/359779/TFM2021_Lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Ministerio de la Presidencia. (2003). Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-616#:~:text=Este%20real%20decreto%20tiene%20por,ello%20con%20la%20finalidad%20de>.
- Montalvo, A., Aldana, R., López, A., Álvarez, E., Aldana, F. y Rivera, Y. (2018). Mantenimiento centrado en confiabilidad en motocompresores. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.3212>
- ONUAA. (1997). Zonificación agroecológica. Disponible en: <https://www.fao.org/3/w2962s/w2962s00.htm>.
- Mora, E. A., Martínez, E. y Velasco, J. A. (2018). Simulación y validación del prototipo de un colector térmico solar hecho con neumáticos reciclados. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v9i2.404>
- Olivares, M. A., López, A., Aldana, R., Álvarez, E. J., Aldana, F., Rivera, Y. y Leyva, J. G. (2019). Mantenimiento automotriz basado en un diagnóstico tribológico. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i1.394>
- Ramón, B. y Moreno, J. (2018). Estudio de materiales precursores del reciclaje y sus atributos mecánicos con aplicación al diseño y fabricación de ladrillo ecológico. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.3213>
- Rivera, H. U., Castellanos, C. y Ibarra, A. A. (2018). Análisis del sistema de aseo en sus cuatro componentes (barrido y limpieza de áreas públicas, recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos municipales), en cuanto al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente: caso de estudio

municipio de Pamplona, N de S, Colombia. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 9(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.3214>

2.2018.3215

Rua, E., Gonzales, A., Granados, A. y Ramírez, R. (2018). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 9(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2018.3219>

Trujillo, J. E., Caballero, J. E. y Ramón, J. D. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM10 del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.3957>

Villamizar, J., Rivera, M. E. y Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 10(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i2.388>

Villamizar, C y Fernández, D. (2015). CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTORES DE DURAZNO (PRUNUS PÉRSICA (L) BATSCH) EN LAS PROVINCIAS DE PAMPLONA Y RICAURTE, NORTE DE SANTANDER. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 6(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2015.3226>

Salamanca, J., Acosta, L., Higuera, F. y Rojas, B. (2018). DESARROLLO DE CHASIS DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA, A BASE DE GUADUA Y POLÍMERO. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 9(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2018.3215>