

Influencia de las zonas de procedencia de las masas de aire en la composición química de lluvias en localidades de Cuba

Influence of air mass origin on the ionic composition of rain in Cuba's localities

Rosemary López-Lee✉, Pedro Juan Expósito, Arnaldo Collazo-Aranda

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de las zonas de procedencia de las masas de aire en la composición química de la lluvia en localidades de Cuba. Se utilizaron muestras de lluvias individuales de las estaciones de monitoreo de la contaminación atmosférica de La Palma, Casablanca y Veguitas. La cuantificación de los iones se realizó por cromatografía de intercambio iónico y la de los elementos por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente. Las trayectorias regresivas de las masas de aire fueron obtenidas utilizando el modelo HYSPLIT. Los resultados muestran que en Casablanca las lluvias ácidas se asociaron a trayectorias regresivas de las masas de aire que provienen del Atlántico. En La Palma las lluvias ácidas se asociaron a trayectorias regresivas que provienen del norte del continente suramericano, mientras que en Veguitas se observaron lluvias básicas.

Palabras clave: composición iónica de las lluvias, trayectorias regresivas, HYSPLIT, contaminación atmosférica, Cuba

Abstract

The objective of this study was to evaluate the influence of air mass origin on the ionic composition of rain in Cuba's localities. Daily rainwater samples were obtained from pollution monitoring station of La Palma, Casablanca and Veguitas. Different chemical analyses were conducted using ion chromatography and an optical emission spectrophotometer with inductively coupled plasma. The regressive air mass trajectories were obtained using the HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model. Results show that Casablanca's acid rains were related to back trajectories coming from Atlantic (eastern sector). La Palma's acid rains were related to back trajectories coming from north of South America. However in Veguitas were observed basic rains.

Keywords: ionic composition of rain, back trajectories, HYSPLIT, atmospheric pollution, Cuba

✉ Autor para correspondencia: Rosemary López-Lee. E-mail: rosemary.lopez@insmet.cu

Recibido: 20/6/2017

Aceptado: 12/9/2017

Introducción

A diferencia de la contaminación del agua y del suelo, la contaminación del aire puede llegar a cualquier lugar y es imposible confinarla a un espacio determinado. Junto con las masas de aire, los contaminantes pueden propagarse a grandes distancias y transportar la contaminación de la atmósfera a lugares completamente inesperados. Por esta razón, la protección de la atmósfera de la contaminación es esencial en la prevención del deterioro del medio ambiente natural.

Las características de las zonas de procedencia y el transporte de las masas de aire pueden influenciar fuertemente la composición química de las precipitaciones y la deposición ácida en regiones específicas ([Huang et al., 2008](#); [Anatolaki & Tsitouridou, 2009](#)). El análisis de trayectorias regresivas es una herramienta muy útil para estudiar la relación entre la composición química de las precipitaciones y el origen de las masas de aire ([Calvo et al., 2010](#)).

En relación con la influencia del transporte a larga distancia en la acidificación de las

precipitaciones en Cuba: [Rodríguez \(1991\)](#), encontró que las lluvias ácidas son las que en sus trayectorias hacia atrás recorrieron gran parte de los Estados Unidos y [Cuesta \(1995\)](#), lo determinó fundamentalmente para las lluvias asociadas a los frentes fríos y el anticiclón continental migratorio.

Dada la persistencia de la acidificación de las precipitaciones en zonas de Cuba y que la deposición ácida puede ser causada por el transporte de largo alcance de contaminantes en lugar de fuentes locales ([López et al., 2014](#)). El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de las zonas de procedencia de las masas de aire en la composición química de la lluvia en regiones de Cuba, con el objeto de comprender los mecanismos de transporte de contaminantes que afectan la calidad del aire y mejorar su gestión.

Materiales y Métodos

Sitios de muestreo

Las estaciones de monitoreo utilizadas para la recolección de muestras individuales de lluvias aparecen en la [figura 1](#). El detalle se

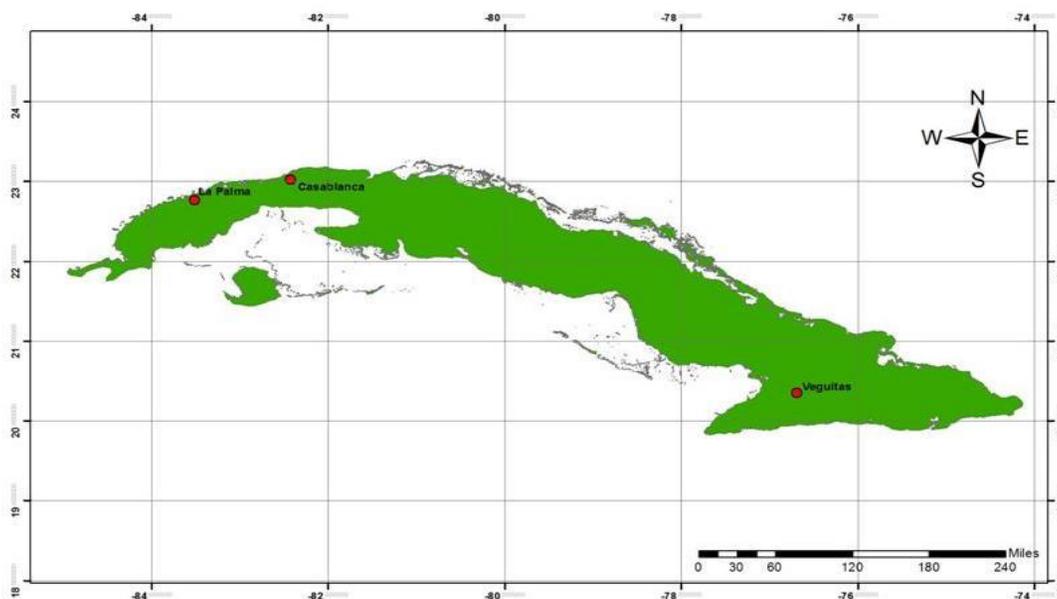


Figura 1. Estaciones de monitoreo

describe a continuación.

Estación La Palma: Ubicada a 6 Km de la costa norte. Es una zona con amplios pinares sobre el sector este y sur. En el sector norte y oeste se planta caña de azúcar y otros cultivos menores. A 3 Km al este, se localiza el pueblo La Palma cuyas fuentes de emisión fijas son tres grupos electrógenos de tres escuelas del MINED.

Estación Casablanca: Ubicada a 1,5 Km de la costa norte de la bahía de La Habana, capital de Cuba con alrededor de dos millones de habitantes. Se ubica en las inmediaciones de una zona industrial (termoeléctrica, refinería, astillero) y cercana al puerto de la Habana. Hacia el sector oeste y sur están los municipios Habana Vieja y Centro Habana de mayor densidad y concentración poblacional. En esta zona los suelos son húmicos carbonatados arcillosos.

Estación Veguitas: Localizada en el municipio de Yara, provincia Granma. A unos 26.7 Km, al oeste, de la ciudad de Bayamo y a 23 Km, al este, de la ciudad de Manzanillo. La distancia que la separa de la costa: es al norte de 122 Km, al este de 258 Km, al sur de 48 Km y al oeste de 24 Km. Su relieve es completamente llano entre la cota de 20 y 30 msnm. El suelo es fluvisol mullido, medianamente profundo, salino, arcilloso y vertisol, poco profundo y arcilloso. En la zona se cultiva arroz, pastos y forraje. No presenta construcciones en los alrededores, solo el asentamiento humano urbano, Veguita, a 4 km al sur de la estación. Las fuentes fijas de contaminantes atmosféricos están concentradas al este, en Bayamo y al oeste, en Manzanillo. El municipio Yara cuenta con tres fuentes fijas: CAI Arnulfo Leyva, Fábrica de conservas y un vertedero municipal

Colección de muestras de lluvia

La metodología de muestreo empleada fue la recomendada por el sistema de vigilancia de

atmósfera global (VAG) de la OMM para el caso de la operación de colectores manuales de lluvia, que ha sido utilizada por otros autores como procedimiento para la captación de precipitación húmeda ([WMO, 1988](#)).

Procedimientos analíticos

El pH se determinó con el medidor Oakton serie 1100. La cuantificación de las especies químicas NH_4^+ , NO_3 , SO_4^{2-} y Cl^- se realizó en un cromatógrafo de intercambio iónico ICS-3000. La cuantificación de los metales Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} se realizó por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y por espectrometría de absorción atómica.

Identificación de las zonas de procedencia de las masas de aire que influyen en la composición química de las lluvias

Para el análisis de las trayectorias regresivas se utilizó el modelo HYSPLIT ([Draxler et al., 2009](#)). Las corridas se realizaron 72 horas hacia atrás en los niveles de altura de 500 msnm, 1500 msnm y 3000 msnm (metros sobre el nivel del mar).

En la estación La Palma de Cuba se clasificaron seis áreas de procedencia de contaminantes mediante el modelo HYSPLIT, las que fueron caracterizadas de acuerdo a su situación geográfica y sus posibles fuentes contaminantes ([Gómez, 2011](#)).

Las áreas fueron enumeradas en contra de las manecillas del reloj con un total de seis Zonas ([Figura 2](#)). A continuación se muestra las particularidades geográficas y meteorológicas, así como las fuentes principales de cada una de ellas:

- **Zona I:** Región enmarcada entre los 15° y 25° de latitud Norte y algo más extendido de los 50° y 85° de longitud Oeste, en la cual ocupa un área importante la porción occidental del Océano Atlántico. Es de donde proviene la mayor cantidad de retro-

trayectorias tanto para el nivel de 500 m como para el de los 1500 m, provocado por la influencia de los vientos alisios. En esta zona el predominio de fuentes potentes de contaminantes se encuentra reducido debido a que los países que en ella se encuentran no cuenta con un desarrollo económico que pueda provocar grandes impactos al medio ambiente.

- **Zona II:** Está ubicada entre los 25° y 60° de latitud Norte y los 60° y 85° de longitud Oeste, representada fundamentalmente por los estados de la costa este y los adyacentes a estos últimos de Estados Unidos y Canadá. Es una de las regiones más industrializadas del mundo y cuenta con un poderío de industrias pesadas, dedicadas al suministro de energía eléctrica, a la siderurgia y a la extracción de minerales; las ciudades están densamente pobladas, las cuales suponen un mayor tráfico vehicular, lo cual cobra gran importancia si se tiene en cuenta que durante la temporada invernal el arrastre del viento desde ese sector se hace aún mayor inducido por la componente meridional del viento justo antes del paso de la línea frontal.
- **Zona III:** Se acotó la Zona III entre la II y la IV comprendida entre los 25° y 70° de latitud Norte y los 85° y los 150° de longitud Oeste, ocupada fundamentalmente por la zona central del continente Norteamericano, región esta empleada fundamentalmente en las labores agrícolas. Es considerada una de las más ricas en acero y carbón, convirtiéndose en una zona siderúrgica de primer orden, aspecto este último esencial para la fabricación de automóviles. La zona cuenta con importantes y populosas ciudades que poseen un alto tráfico vehicular.
- **Zona IV:** Se encuentra entre los 30° y los 80° de latitud Norte y los 105° y 160° de longitud Oeste, gran parte la ocupa el Océano Pacífico y los territorios de la costa. En esta zona la contaminación es inducida por los importantes pozos petroleros y áreas refinadoras de Texas, Kansas, California y el estado de Columbia Británica en Canadá.
- **Zona V:** Se definió esta zona comprendida entre los 20° y los 30° de latitud Norte y 85° y 130° de longitud Oeste. Esta área se encuentra los territorios de México, Nicaragua, Honduras, países que se dedican a la refinación y extracción del petróleo y minerales, fundamentalmente en las regiones cercanas a la costa y en aguas del golfo de México y de Campeche.
- **Zona VI:** Se encuentra ubicada entre los 7° y los 20° de latitud Norte y los 50° y 85° de



Figura 2. Zonas de procedencia de las masas de aire para la estación La Palma

longitud Oeste. Se localizan países como Colombia con importantes industrias encaminadas a la extracción del petróleo, el carbón, el cemento, así como un amplio desarrollo en la industria química.

En las [figuras 3 y 4](#) se observan las zonas de procedencia utilizadas para las estaciones de Casablanca y Veguitas tomando como referencia la clasificación de [Gómez \(2011\)](#).

Tratamiento estadístico de los datos

El procesamiento estadístico de los datos fue realizado utilizando los softwares MS-Excel y MINITAB14. La prueba no paramétrica H de

Kruskal Wallis se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre las zonas de procedencia de las masas de aire respecto al pH, conductividad y mineralización de las lluvias. La prueba no paramétrica de Dunn se utilizó para verificar entre cuáles zonas de procedencia existían diferencias estadísticamente significativas. La prueba no paramétrica U de Mann-Whitney se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre zonas de procedencia de masas de aire cuando solo se compararon dos grupos. Estas pruebas de hipótesis se utilizaron al no existir una distribución normal de los datos.



Figura 3. Zonas de procedencia de las masas de aire para la estación Casablanca



Figura 4. Zonas de procedencia de las masas de aire para la estación Veguitas

Resultados y Discusión

Estación Casablanca

En la [figura 5](#) se observa la variación del pH en función de las zonas de procedencia a 500 msnm. Las lluvias ácidas ($\text{pH} < 5.6$) correspondieron solo a la zona I, las lluvias menos básicas fueron las de la zona II y la zona VI. No se evidenció diferencias significativas entre los valores de pH de las lluvias en función de las zonas de procedencia utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn.

En las [figuras 6](#) y [7](#) no se observaron para los valores de pH promedio lluvias ácidas a 1500 y 3000 msnm. Las lluvias menos básicas fueron las que provienen de la zona I. No se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores de pH de las lluvias en función de las zonas de procedencia utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn.

Los valores de pH más bajos para los tres niveles de altura estudiados fueron en primer lugar, los asociados a las zonas de procedencia I y en segundo lugar, los de la zona II. Teniendo en cuenta que en la zona I los países que en ella se encuentran no cuentan con un desarrollo

económico que provoca grandes impactos al medio ambiente, consideramos que las causas de las lluvias ácidas cuando las masas de aire provienen de esta zona es fundamentalmente por fuentes antropogénicas locales. La zona II aunque ha reducido en gran medida sus emisiones, continúa a nivel global entre los territorios de más altas emisiones de los principales responsables de la acidificación de las lluvias SO_2 y NO_x (óxidos de nitrógeno) ([Vet et al., 2014](#)). De ahí, que cuando las masas de aire provienen de la zona II consideramos que las emisiones desde fuentes antropogénicas del continente norteamericano contribuyen a la acidificación de las precipitaciones.

En las [figuras 8](#), [9](#) y [10](#) las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio se encuentran por encima de los valores de fondo de 0,155 y 0,48 mg/l informados por [Casimiro et al. \(1991\)](#), para el hemisferio norte. En los tres niveles de altura no se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio de las lluvias en función de las zonas de procedencia utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn.

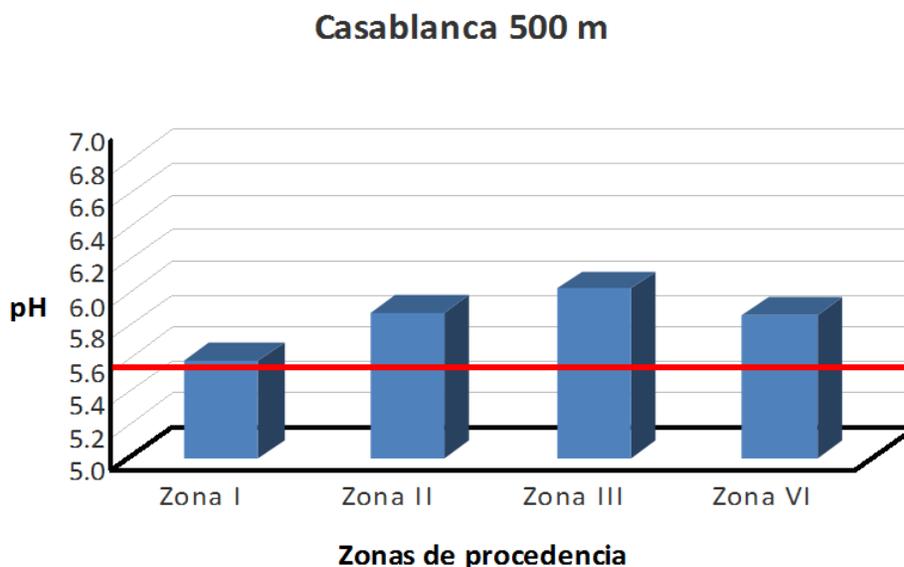


Figura 5. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

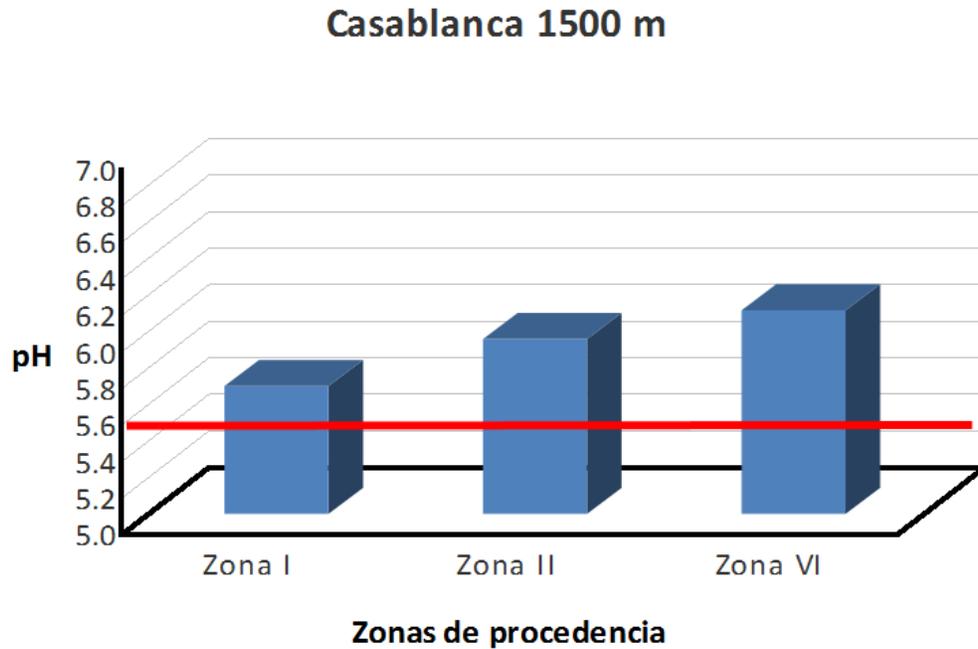


Figura 6. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

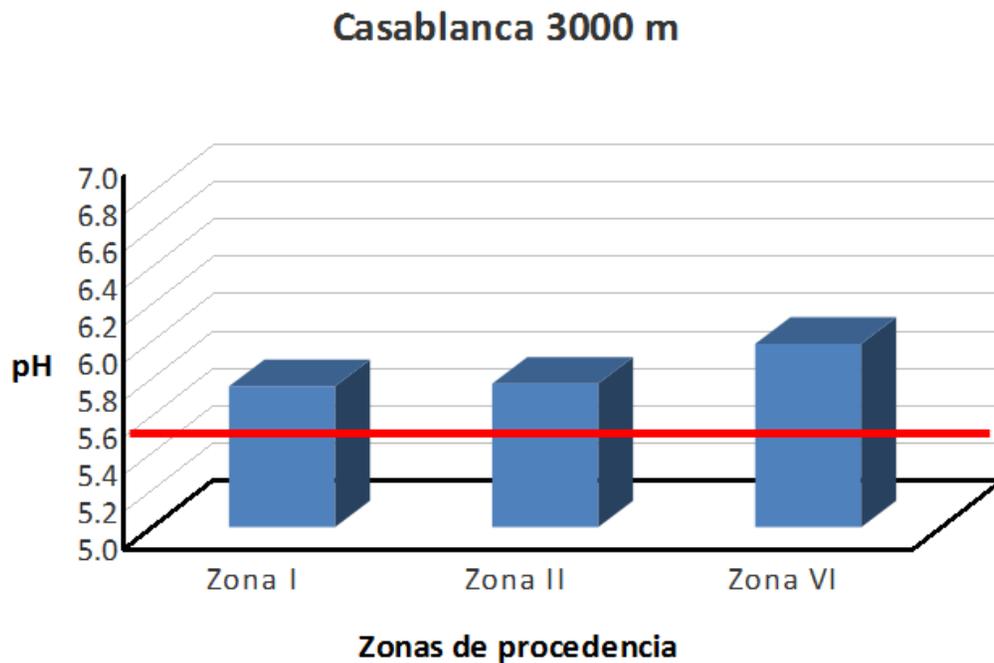


Figura 7. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

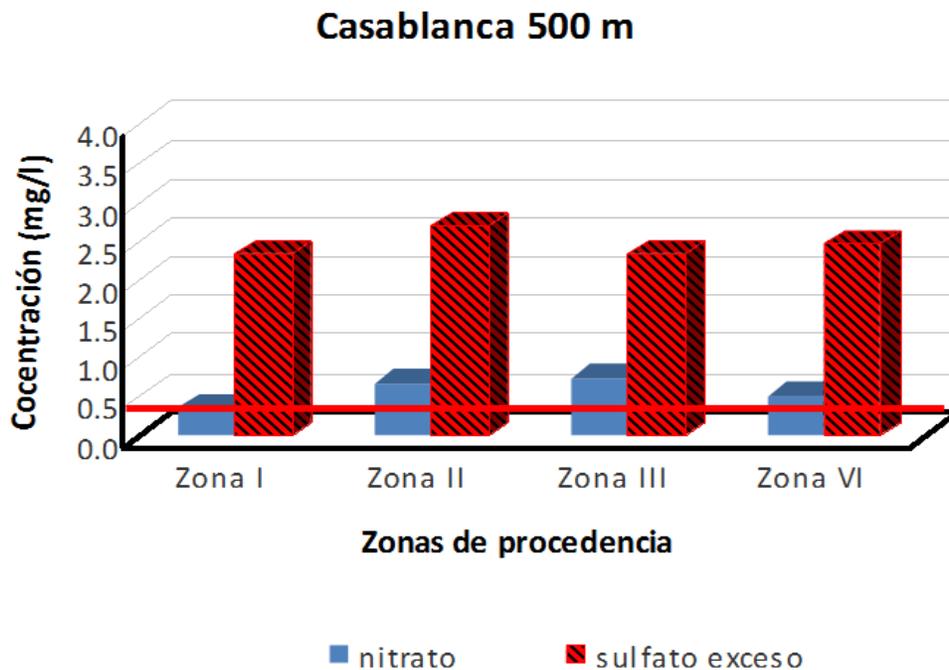


Figura 8. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

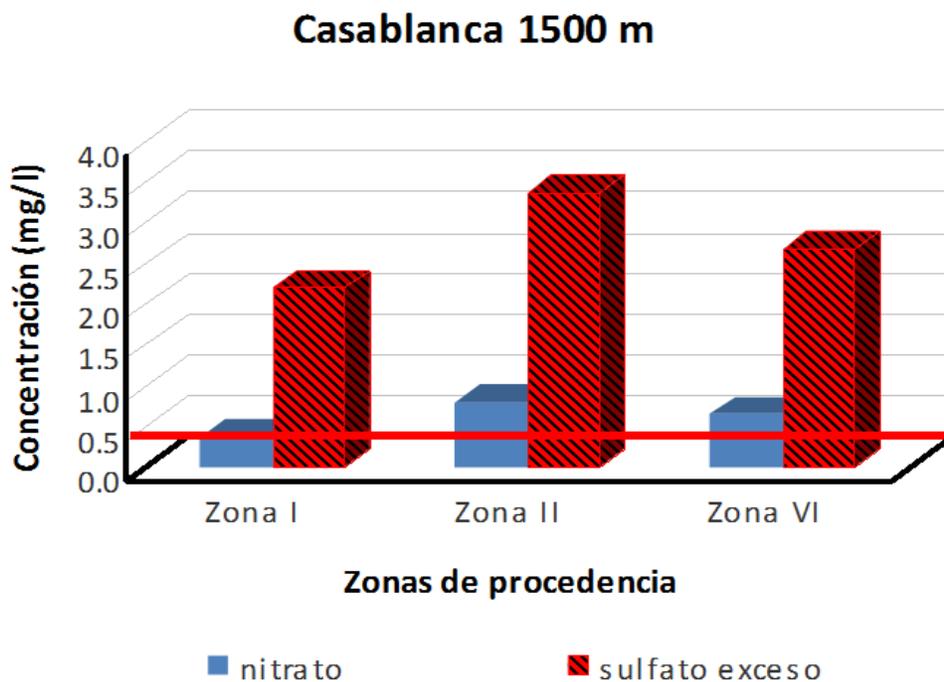


Figura 9. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

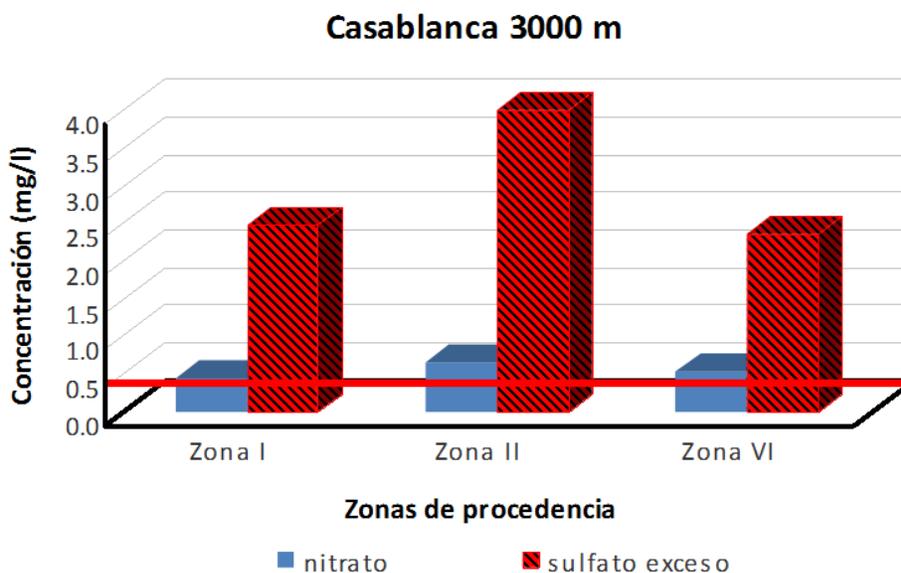


Figura 10. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

En los tres niveles de altura las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio fueron mayores para la zona de procedencia II. Lo cual puede asociarse como anteriormente hemos planteado con el transporte a larga distancia de estos contaminantes desde fuentes antropogénicas del continente norteamericano.

En las [figuras 11, 12 y 13](#) se observa que los mayores valores de mineralización a los tres niveles de altura fueron para las lluvias que provienen de la zona II. Es de destacar los valores para la zona II a 1500 msnm de 19,14 mg/l y a 3000 msnm de 19,37 mg/l, los cuales son muy cercanos al límite de 20 mg/l. Cuando se sobrepasa este valor se dice que las lluvias están contaminadas y por debajo que son lluvias limpias. A 1500 msnm los valores de mineralización de las lluvias que provienen de la zona II fueron superiores estadísticamente de forma significativa a los de la zona I utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn.

A 500 msnm se observaron altos valores de mineralización para las lluvias que provienen de la zona III, esta región se dedica fundamentalmente a actividades agrícolas y se

mantiene a nivel global con emisiones altas de SO_2 y NO_x , por está razón estos compuestos podrían ser transportados a largas distancias en conjunto con partículas de la corteza terrestre, por las actividades de laboreo de la tierra ([Vet et al., 2014](#)).

Estación La Palma

En las [figuras 14, 15 y 16](#) se observa que solo las lluvias fueron ligeramente ácidas cuando provienen de la zona VI, norte del continente suramericano donde existen localidades con emisiones altas de SO_2 y medias para NO_x ([Vet et al., 2014](#)).

En las [figuras 17, 18 y 19](#) las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio se encuentran por encima de los valores de fondo de 0,155 y 0,48 mg/l informados por [Casimiro et al. \(1991\)](#), para el hemisferio norte. En los tres niveles de altura no se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio de las lluvias en función de las zonas de procedencia utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn.

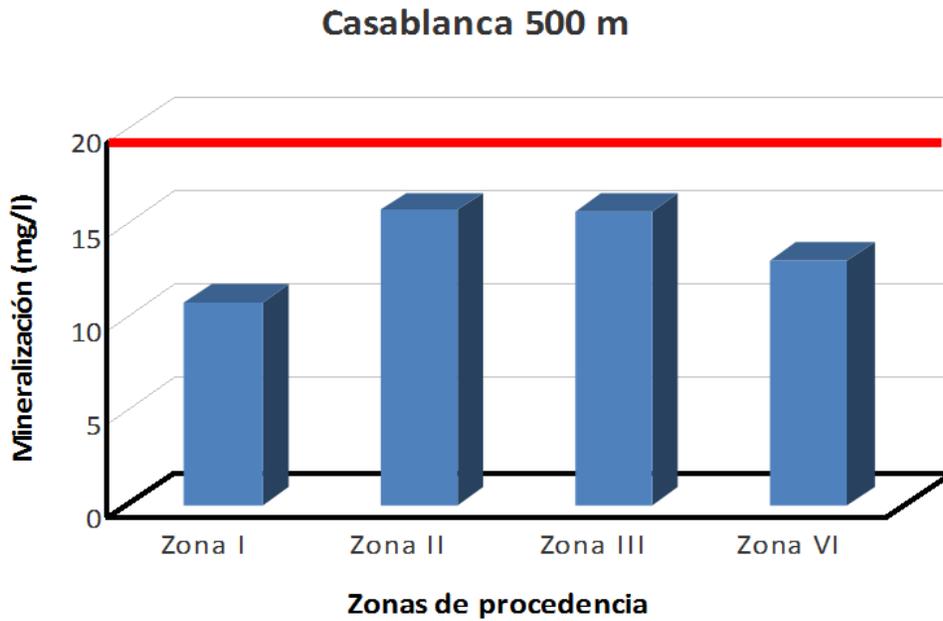


Figura 11. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

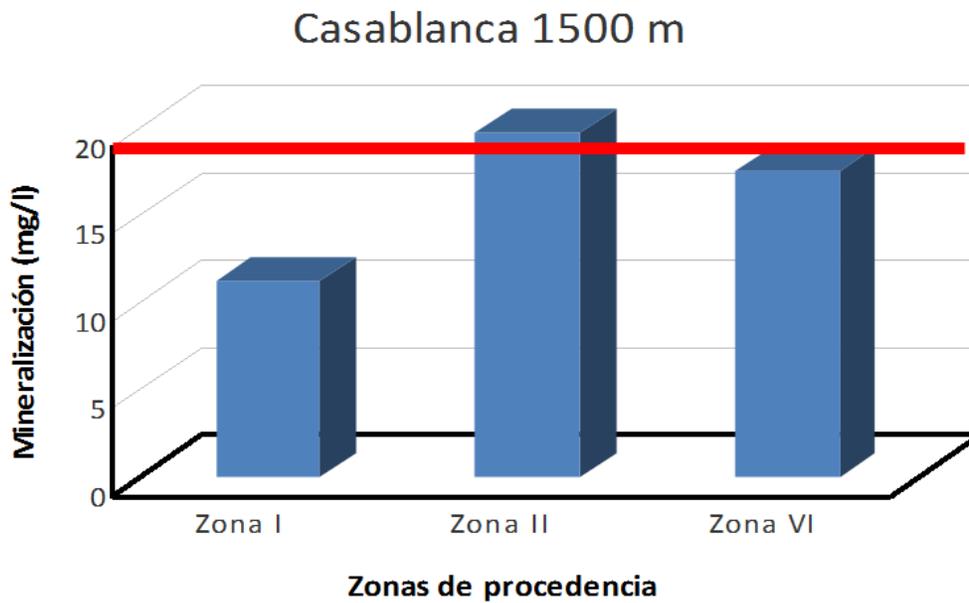


Figura 12. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

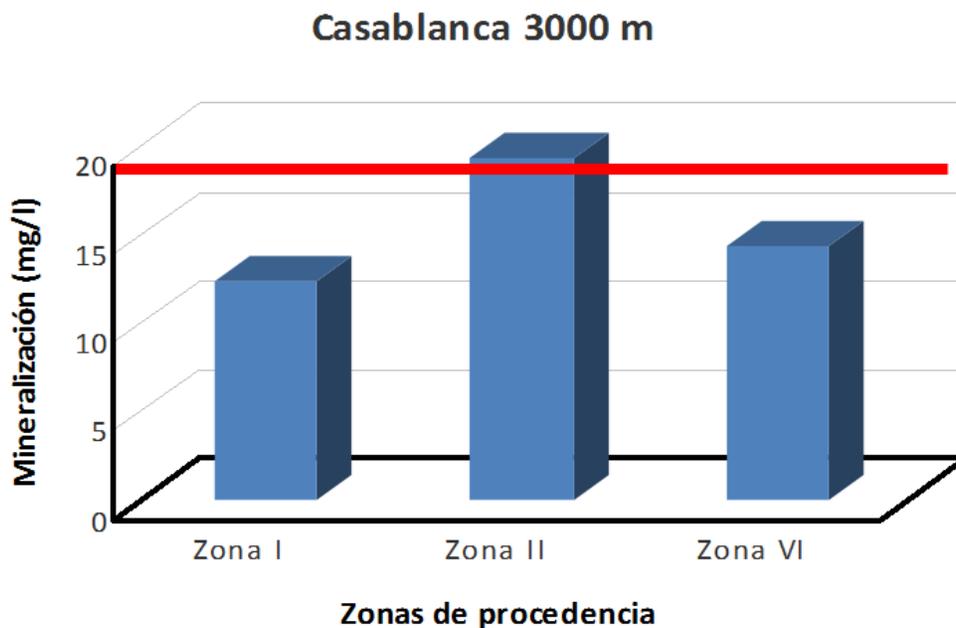


Figura 13. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Casablanca de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

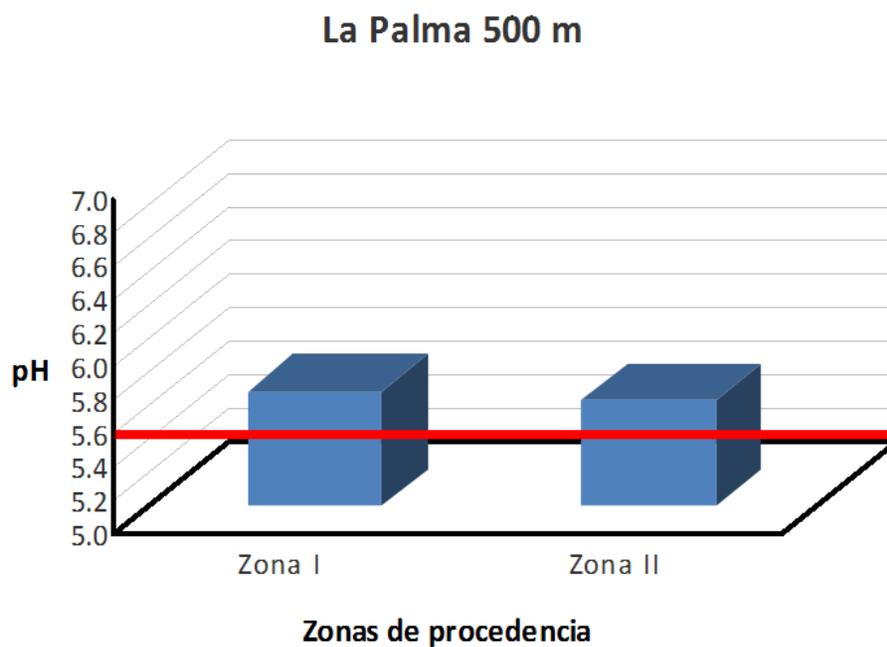


Figura 14. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

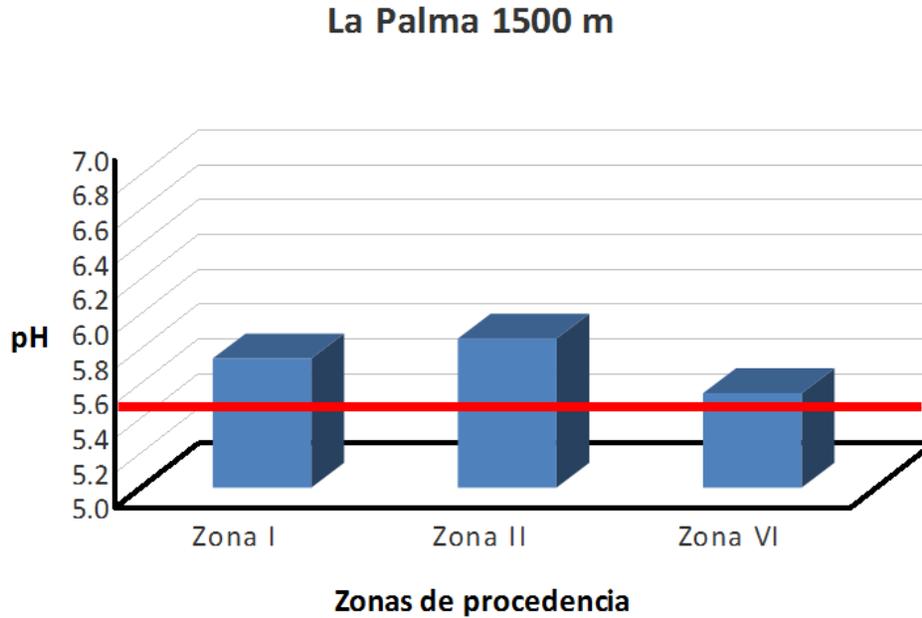


Figura 15. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

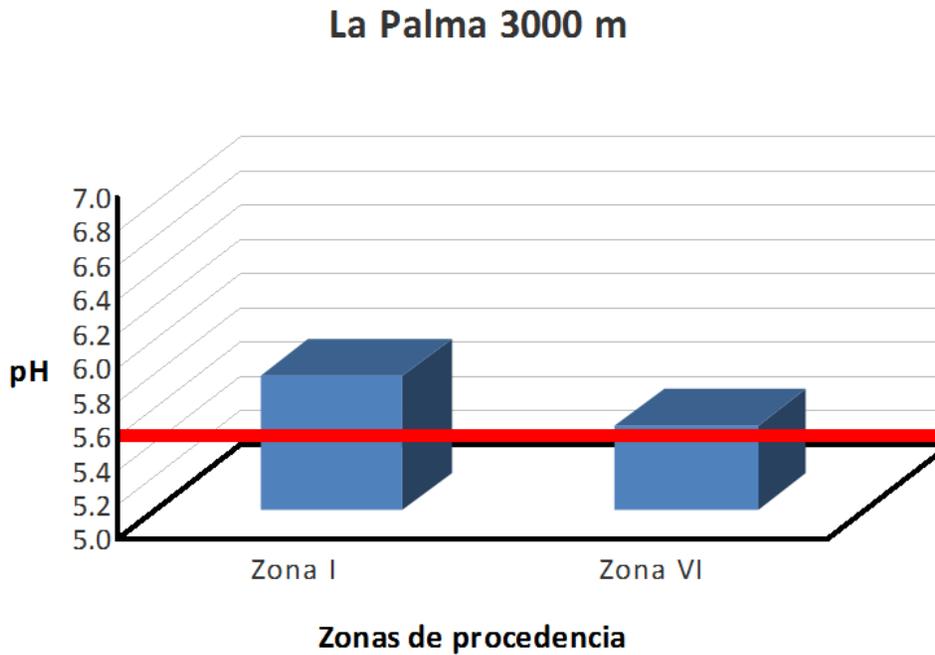


Figura 16. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

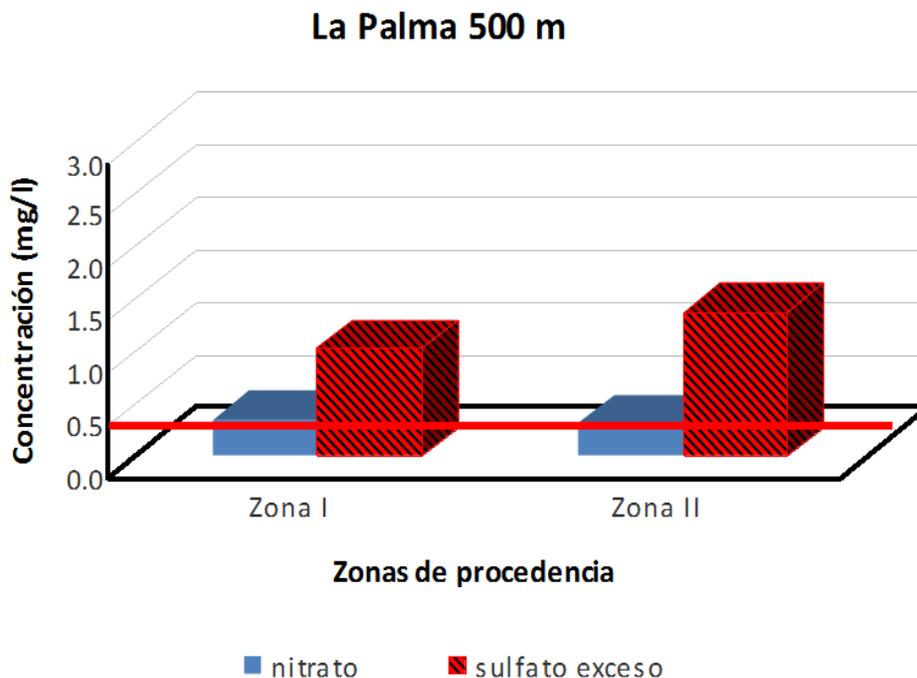


Figura 17. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

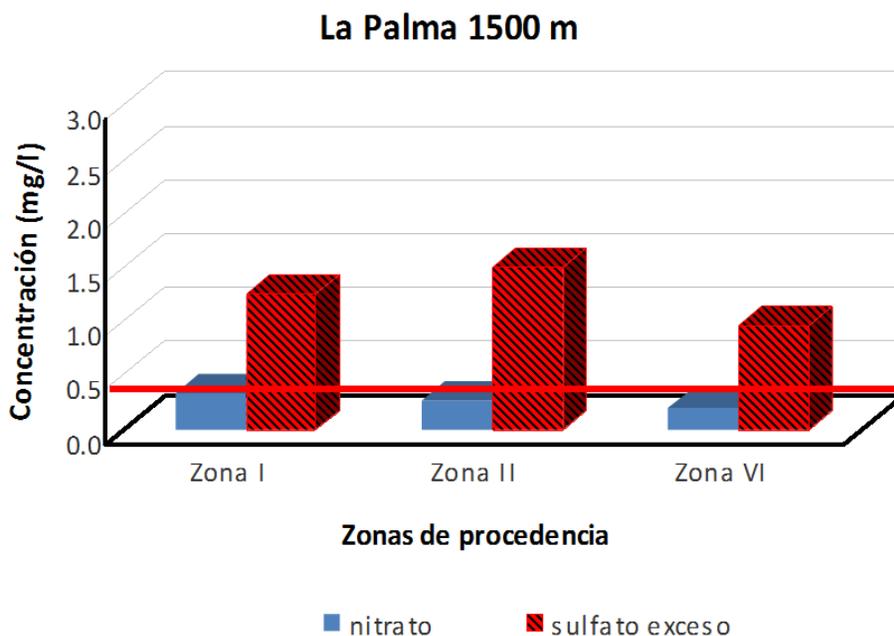


Figura 18. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

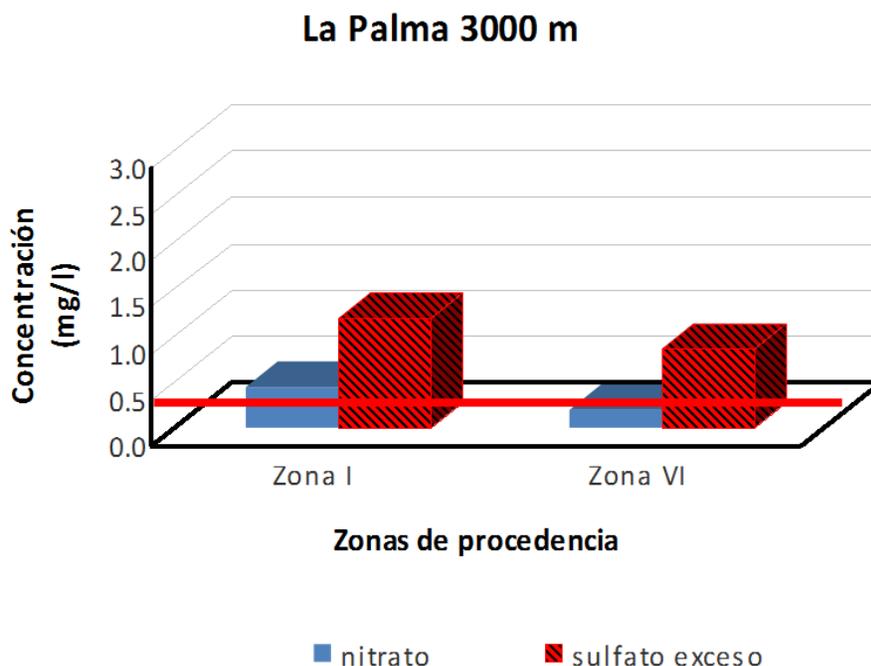


Figura 19. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de la Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

Las mayores concentraciones de SO_4^{2-} exceso se observaron para la zona noreste del continente norteamericano, zona con gran industrialización y centros urbanos, que se mantiene a nivel global con altas emisiones de SO_2 (IJC, 2010).

En las figuras 20, 21 y 22 se puede observar que los valores de mineralización son muy por debajo de 20 mg/l, por lo cual en La Palma las lluvias fueron limpias.

Estación Veguitas

En las figuras 23, 24 y 25 se puede observar que para todas las zonas de procedencia a los tres niveles de altura las lluvias fueron básicas. En la figura 24 se determinó que los valores de pH de las lluvias que proceden de la zona VI fueron superiores estadísticamente de forma significativa respecto los valores de pH de la zona I con la prueba U de Mann-Whitney.

En las figuras 26, 27 y 28 las concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio se encuentran por encima de los valores de fondo de 0,155 y 0,48 mg/l informados por Casimiro *et al.* (1991), para el hemisferio norte. En los tres niveles de altura no se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio de las lluvias en función de las zonas de procedencia utilizando la prueba H de Kruskal Wallis y de Dunn. Las concentraciones de estos compuestos fueron muy similares para todas las zonas de procedencia a los tres niveles de altura, por lo cual no se aprecia la influencia del transporte a larga distancia a diferencia de las estaciones de occidente.

En las figuras 29, 30 y 31 se puede observar que los valores de mineralización estuvieron muy por debajo de 20 mg/l por lo cual en Veguitas las lluvias fueron limpias.

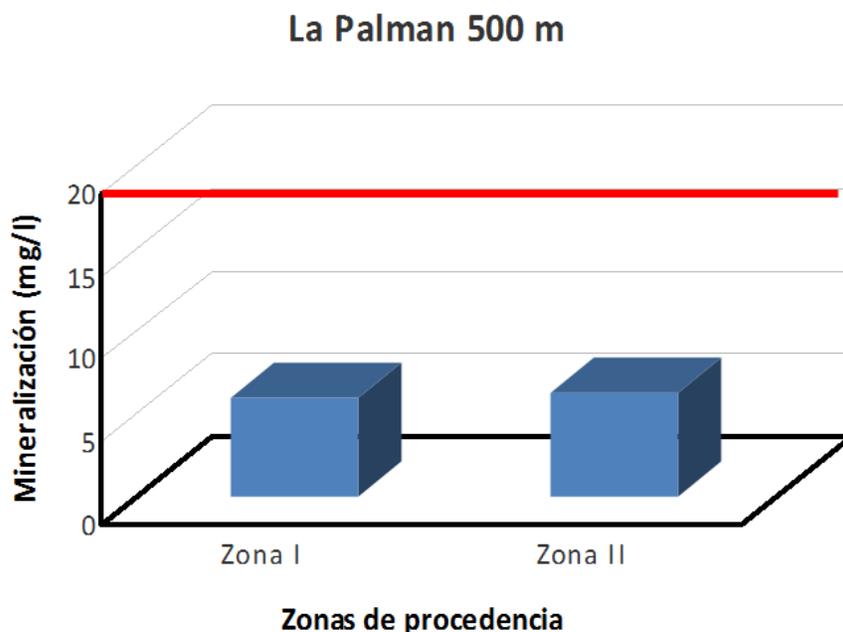


Figura 20. Valores de mineralización promedio para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

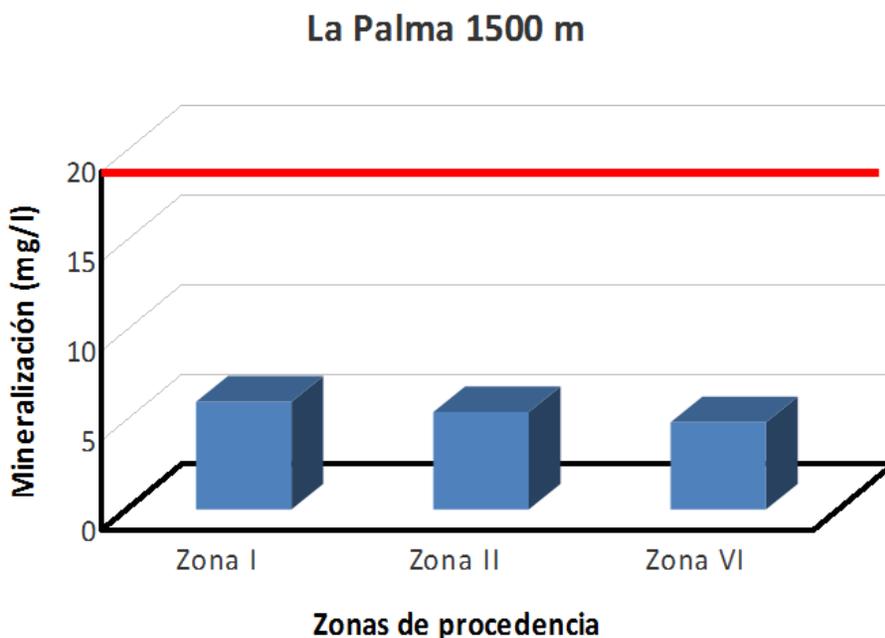


Figura 21. Valores de mineralización promedio para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

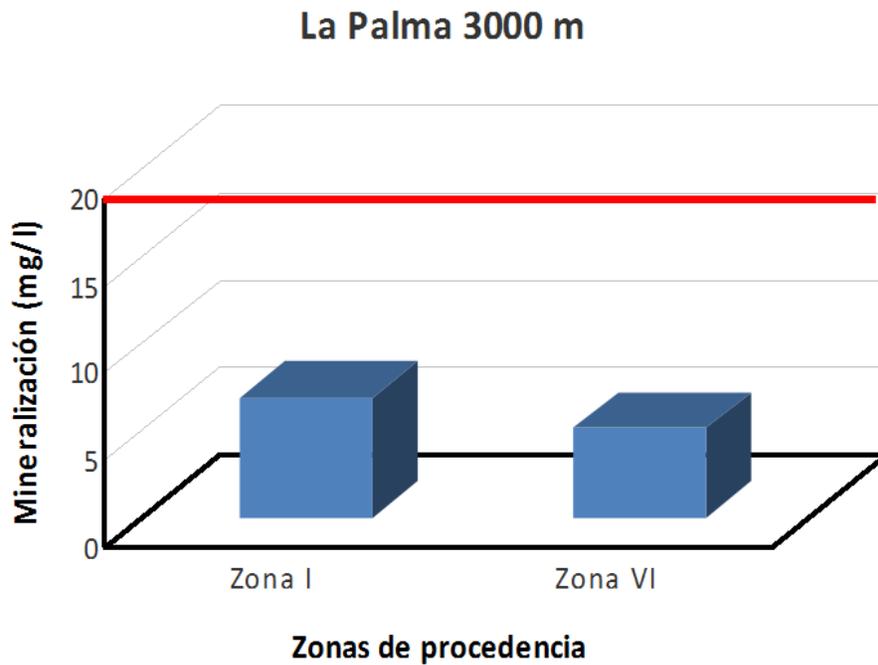


Figura 22. Valores de mineralización promedio para las lluvias de La Palma de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

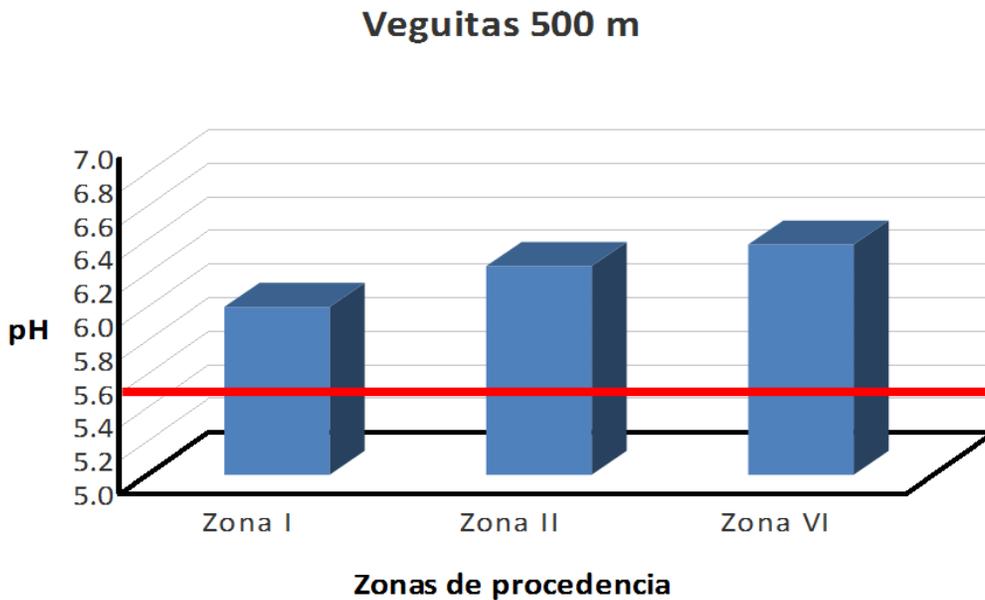


Figura 23. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

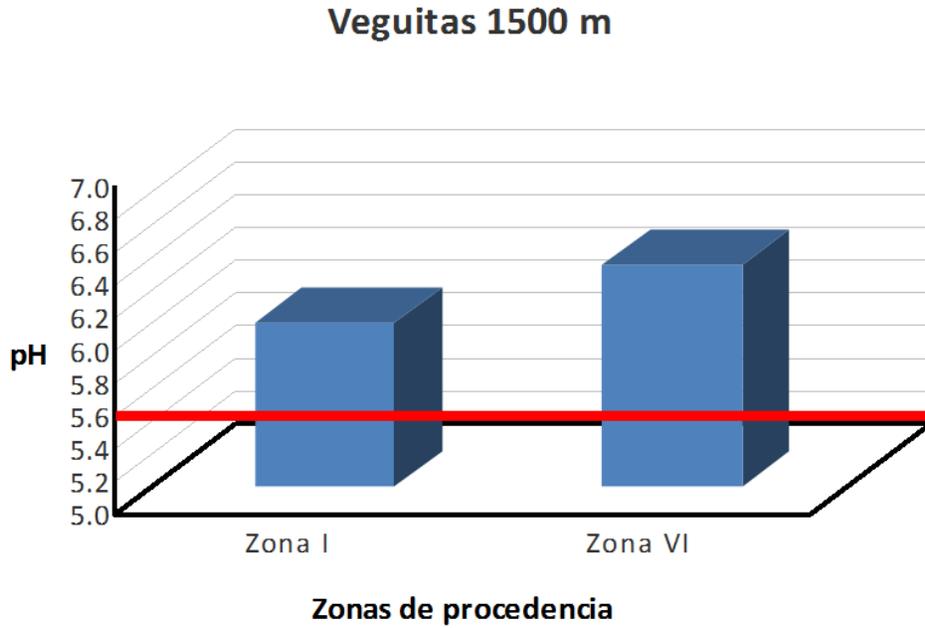


Figura 24. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

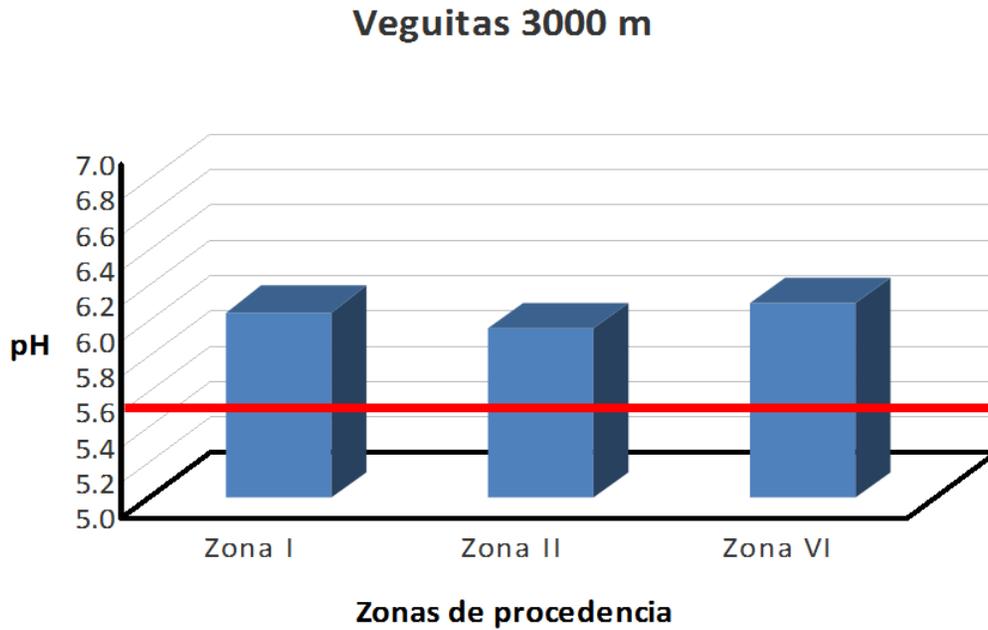


Figura 25. Valores de pH promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

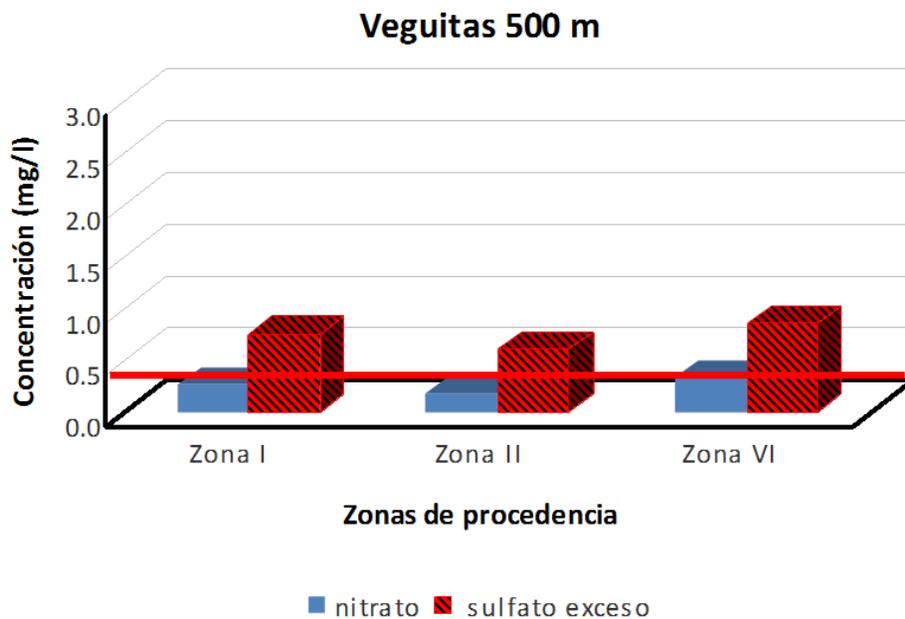


Figura 26. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

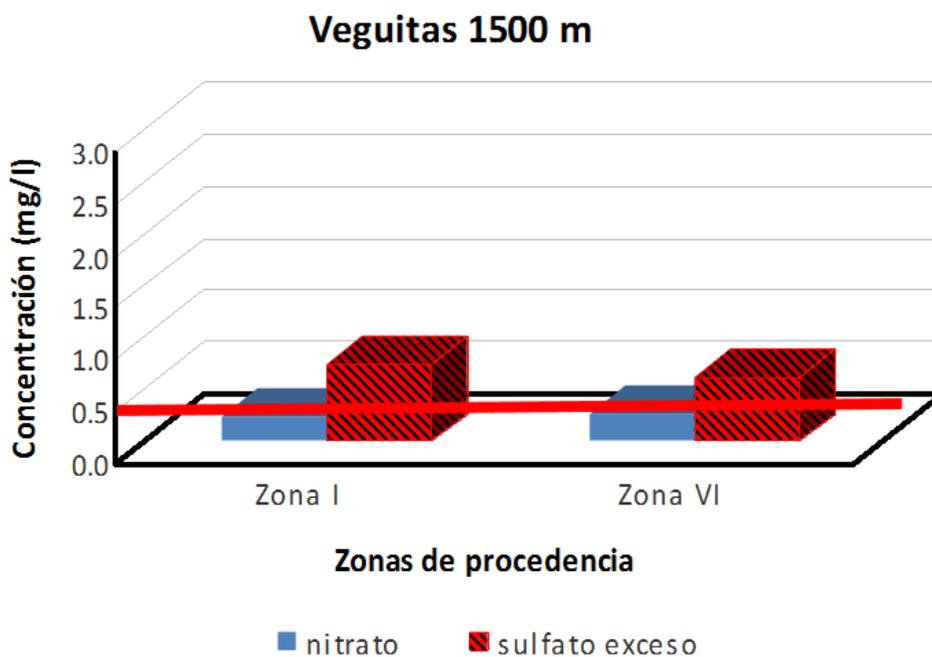


Figura 27. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

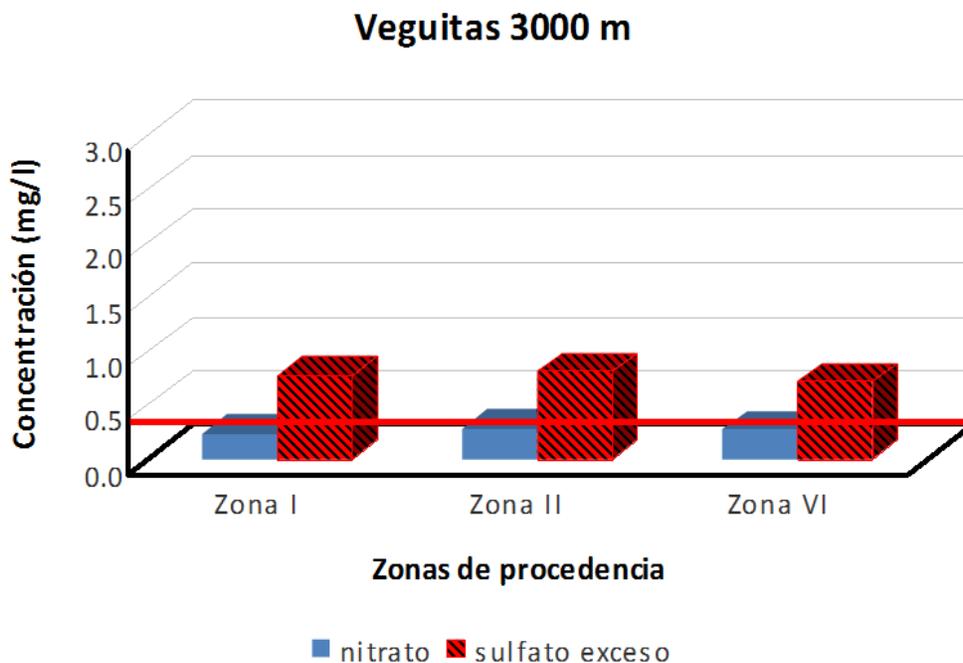


Figura 28. Concentraciones de NO_3^- y SO_4^{2-} exceso promedio ponderados por volumen para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

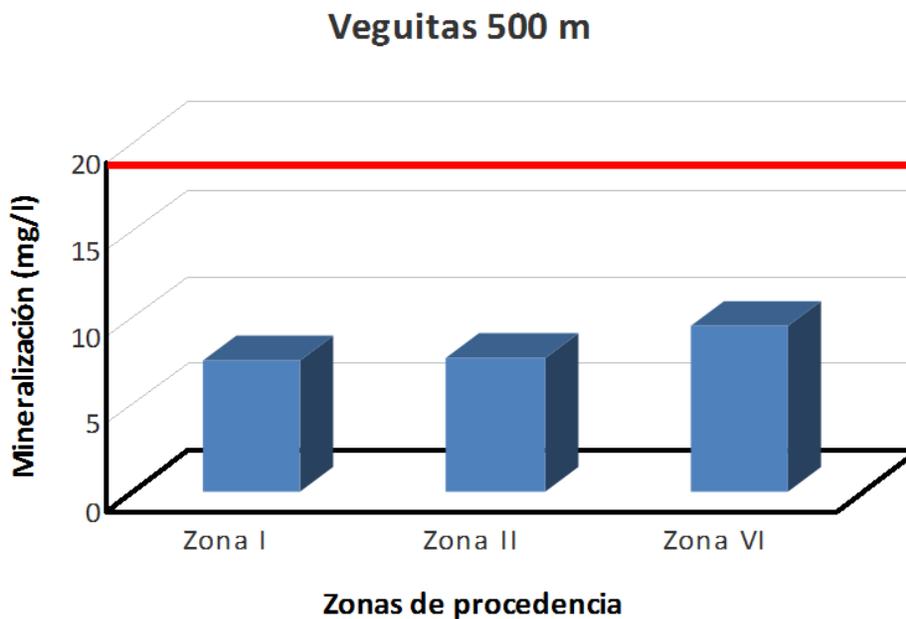


Figura 29. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 500 msnm

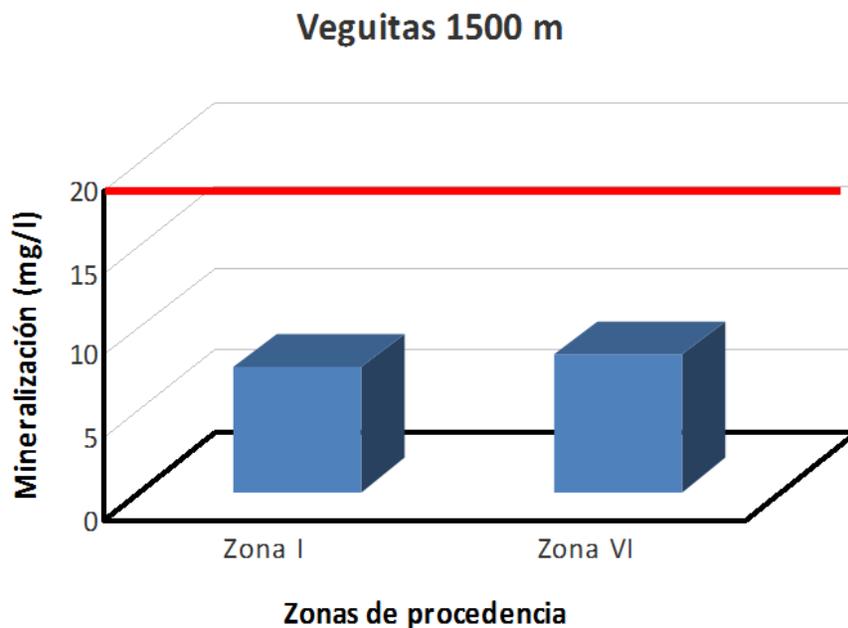


Figura 30. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 1500 msnm

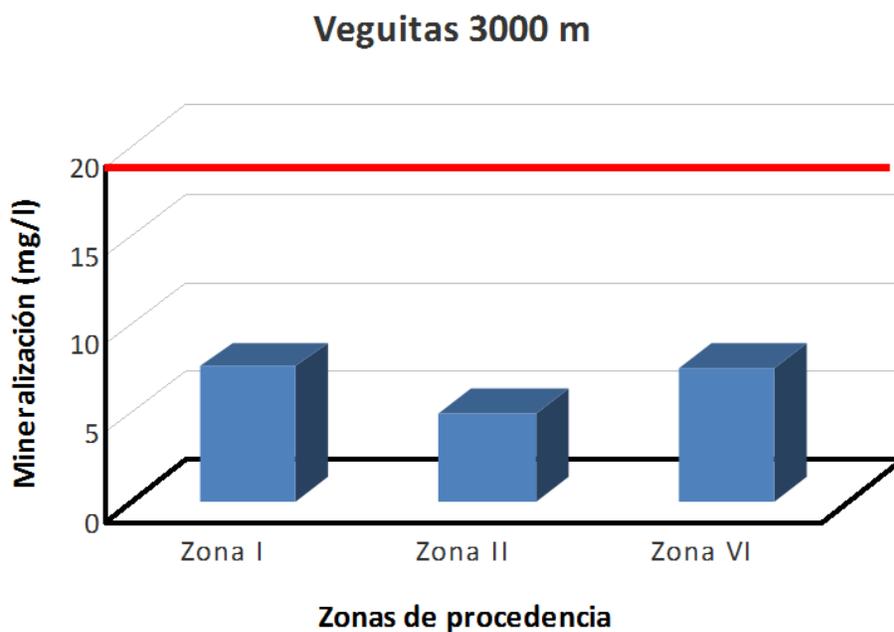


Figura 31. Valores de mineralización promedio para las lluvias de Veguitas de acuerdo a las zonas de procedencia de las masas de aire a 3000 msnm

Conclusiones

- La acidificación de las lluvias en la estación de Casablanca se asoció a la influencia de trayectorias regresivas que provienen del Atlántico, por lo cual los procesos de transporte de contaminantes a cortas y medias distancias son los primordiales en la generación de este problema ambiental.
- En la estación de La Palma, las lluvias ácidas se asociaron a la influencia de trayectorias regresivas que provienen del norte del continente suramericano, por lo cual los procesos de transporte de contaminantes a cortas, medias y largas distancia son importantes en la generación de este problema en esta localidad. Mientras que en Veguitas no se observaron lluvias ácidas.
- La influencia del transporte de SO_4^{2-} exceso a largas distancias desde el continente norteamericano se evidenció en las estaciones de Casablanca y La Palma a diferencia de Veguitas.
- En la estación de Casablanca las lluvias que provienen del noreste del continente americano tuvieron valores de mineralización muy cercanos a la clasificación de lluvias contaminadas y las lluvias más limpias fueron las que provenían del Atlántico Occidental. En La Palma y Veguitas las lluvias fueron limpias.

Referencias

- Anatolaki, C. & Tsitouridou, R. 2009. Relationship between acidity and ionic composition of wet precipitation. A two years study at an urban site, Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research* 92: 100–113.
- Calvo, A.I.; Olmo, F.J. ; Lyamani, H. ; Alados-Arboledas, L. ; Castro, A. ; Fernández-Ragaa, M. y Fraile, R. 2010. Chemical composition of wet precipitation at the background EMEP station in Víznar (Granada, Spain) (2002-2006). s.l. : *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2010.01.013
- Casimiro, A.P., Salgueiro, M.L., Nunez, V.T.1991. Seasonal and air mass trajectory: effects on rainwater quality at the southwestern European border. *Atmospheric Environment* 25A (10), 2259–2266.
- Cuesta, O. 1995. Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los tipos de situaciones sinópticas. Tesis en opción al grado científico de Candidato a Dr. en Ciencias Geográficas. La Habana.
- Draxler, R., et al. 2009. *HYSPLIT User's Guide*. s.l. : version 4.
- Gómez, Yanssel. 2011. Caracterización de las Zonas Fuentes de los compuestos gaseosos del nitrógeno, lluvia ácida, polvo del Sahara y Moho Azul que afectan al occidente de Cuba. La Habana : Tesis en opción al Título de Licenciatura en Meteorología, INSTEC.
- Huang, K.; Zhuang, G.; Xu, C., Wang, Y. & Tang, A. 2008. The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China. *Atmospheric Research* 89: 149–160.
- IJC, 2010. Canada-United States Air Quality Agreement Progress Report 2010. Report, ISBN 978-1-100-17179-1. available from: http://www.epa.gov/airmarkets/progsregs/u_sca/docs/2010report.pdf.
- López, R.; Carrillo, E; Cuesta, O; Collazo, A; Sosa, C. 2014. Caracterización de compuestos químicos de la lluvia en zonas de Cuba. Informe de resultado científico. INSMET, 69 pp.
- Rodríguez, A. (1991): Composición química de las precipitaciones de sistemas meteorológicos y acidez de la lluvia en

Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. La Habana, 111 pp.

Vet , R; Artz,R.S; Carou, S.; Shawa, M.;Ro, Ch.; Aas, W.; Baker, A.; Bowersox , Van C. ; Dentener, F.; Galy-Lacaux,C.; Hou, A.; Pienaar, J.; Gillett, R.; Forti, M.; Gromov, S.; Hara, H.; Khodzher, T.; Mahowald, N. ; Nickovic,S.; Rao, P.S.P. ; Reid, N. 2014. A global assessment of precipitation chemistry

and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt,base cations, organic acids, acidity and pH and phosphorus. *Atmospheric Enviroment* 93: 1-116.

WMO. World Meteorological Organization. 1988. International Operations Handbook for Measurement of Background Atmospheric Pollution, WMO-No. 491, 110 p.