



Boletín Nacional Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia

Enero – Marzo 2024



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



PRESENTACIÓN

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) a través de la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA) de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA) presenta el boletín nacional trimestral Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia con la finalidad de informar a las autoridades, agricultores, profesionales y población en general sobre la composición química de la lluvia (grado de acidez y alcalinidad de la lluvia) en diferentes lugares del Perú durante el primer trimestre del 2024; la vigilancia de la calidad de agua de lluvia depende de la presencia de precipitaciones, por lo tanto el análisis de muestras estará determinado por la presencia de éstas en los puntos de monitoreo.

Para un mejor entendimiento de las variables espaciales se utilizó información meteorológica de superficie (datos de las estaciones meteorológicas automáticas del SENAMHI); asimismo, se realizó un análisis sinóptico a partir de la documentación técnica del SENAMHI para el primer trimestre^{1,2,3}, se realizó análisis de focos de calor⁴ y análisis de las salidas del modelo híbrido de trayectoria integrada langrangiana de una sola partícula⁵. Con respecto a la información del pH se usó información de la Red de Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia (REMCAL) del SENAMHI la cual cuenta con tres puntos de monitoreo a nivel nacional situados en los departamentos de Loreto, Junín y Lima.

¹ Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – Enero 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3702>

² Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – Febrero 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3703>

³ Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – Marzo 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3704>

⁴ Sistema de información sobre incendios para la gestión de recursos (FIRMS, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA).

⁵ Hysplit (por sus siglas en inglés, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)

I. ANÁLISIS SINÓPTICO

Para un mejor entendimiento de las condiciones sinópticas de los puntos de monitoreo se han analizado los patrones atmosféricos ligados a éstos, por lo tanto a continuación se brindarán detalles de los flujos a niveles medios (patrones ligados a la sierra centro oriental), flujos en niveles bajos presentados en el centro de Sudamérica y superficiales desarrollados en el pacífico oriental. Por lo tanto, a continuación, se detalla las condiciones sinópticas ocurridas durante el trimestre enero – marzo.

ENERO

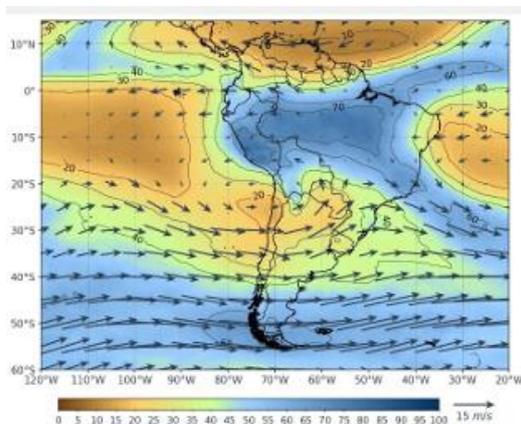


Figura 1: Flujos a niveles medios - Enero.

En niveles medios, predominaron flujos del oeste desde los 20°S hacia latitudes mayores con la presencia de una onda entre los 20°S y 55°S asociada a dos vaguadas (una al oeste del continente y otra al sur de Brasil) y un flujo anticiclónico al sur del Perú, asimismo, predominó un flujo anticiclónico al este del centro de Brasil (sobre el océano Atlántico). Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60 -80%) hacia el territorio peruano y países como Ecuador, Bolivia y gran parte de Brasil; por otro lado, sobre el centro del continente prevaleció el ingreso de aire seco con valores

entre el 20 - 40% de humedad, principalmente al norte de Chile, norte de Argentina, Paraguay y Uruguay.

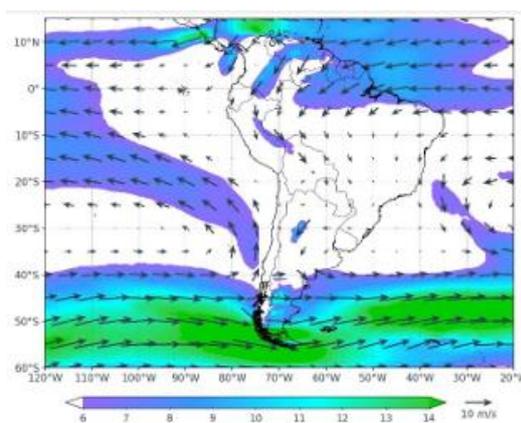


Figura 2: Flujos a niveles bajos - Enero

En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos del este sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del noroeste de Sudamérica incluido Perú. También, dominaron vientos intensos del norte, los Jet de Bajos Niveles (JBN), sobre la selva peruana y norte de Argentina.

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) con núcleo sobre los 33°S y 90°W se mantuvo sobre su posición climática con valores sobre los 1023 hPa, intensidad ligeramente alta respecto a lo climático; asimismo, el Anticiclón del Atlántico Sur

(AAS), se mantuvo con su intensidad y posición climática; por otro lado, no se muestran valores resaltantes de anomalías, los patrones referentes a presión mantuvieron un comportamiento dentro de su climatología.

FEBRERO

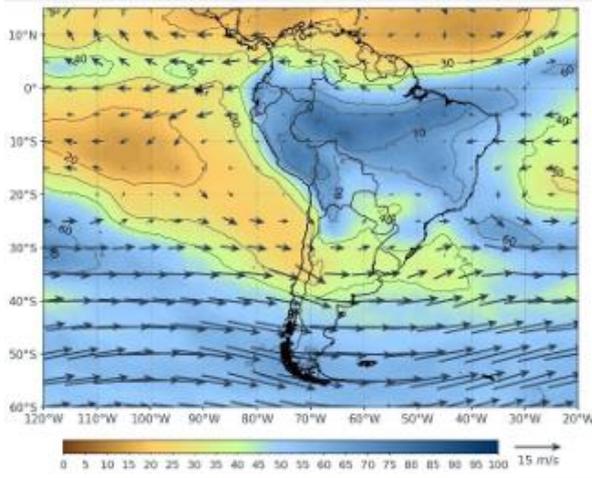


Figura 3: Flujos a niveles medios - Febrero

En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 25°S hacia latitudes mayores, asimismo, predominaron dos vaguadas débiles (una al oeste del continente sobre el océano Pacífico y otra al sur de Brasil). Asociado a la primera vaguada prevaleció un flujo anticiclónico al suroeste del Perú con núcleo en los 20°S y 80°W. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60 - 70%) hacia el territorio peruano y países como Ecuador, Bolivia y gran parte de Brasil; por otro lado, sobre el centro del continente prevaleció el

ingreso de aire seco con valores entre el 30 - 40% de humedad, principalmente al centro de Chile, centro de Argentina, Paraguay y Uruguay.

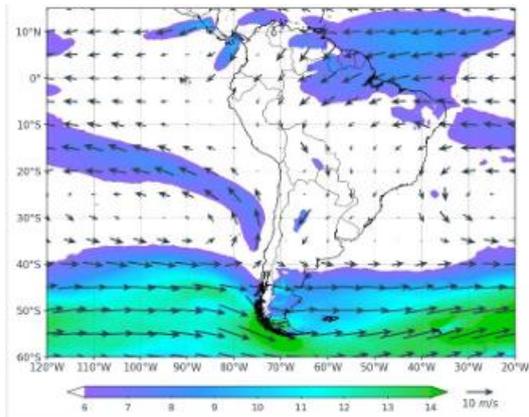


Figura 4: Flujos a niveles bajos - Febrero

En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos del este y noreste sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del noroeste y centro de Sudamérica.

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presenta una configuración cuasi zonal con núcleo sobre los 32°S y 90°W manteniéndose sobre su posición climática con valores sobre los 1021hPa, intensidad ligeramente alta respecto a lo climático; asimismo, el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), se mantuvo con su intensidad y posición climática; por otro lado, no se

muestran valores resaltantes de anomalías, los patrones referentes a presión mantuvieron un comportamiento dentro de su climatología.

MARZO

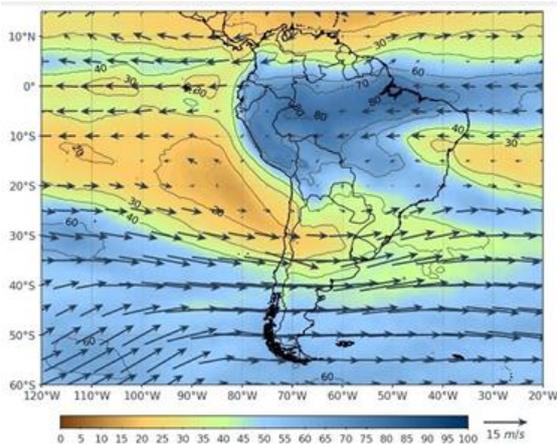


Figura 5: Flujos a niveles medios - Marzo.

Brasil; por otro lado, sobre el centro del continente prevaleció el ingreso de aire seco con valores entre el 20 - 40% de humedad, principalmente al norte – centro de Chile, norte de Argentina, Paraguay y Uruguay.

En niveles medios, predominaron zonas donde se presentaron flujos del este entre los 10°S y 10°N, asimismo, se presentaron flujos anticiclónicos débiles no configurados entre los 10°S y 20°S, una sobre el océano pacífico y la otra al sur de Brasil. Por otro lado, predominaron dos vaguadas débiles (una al oeste del continente sobre el océano Pacífico y otra al sur de Brasil) asociadas a una onda larga ubicada entre los 20°S y 40°S. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 70 - 80%) hacia el territorio peruano y países como Ecuador, Bolivia, Colombia y gran parte de

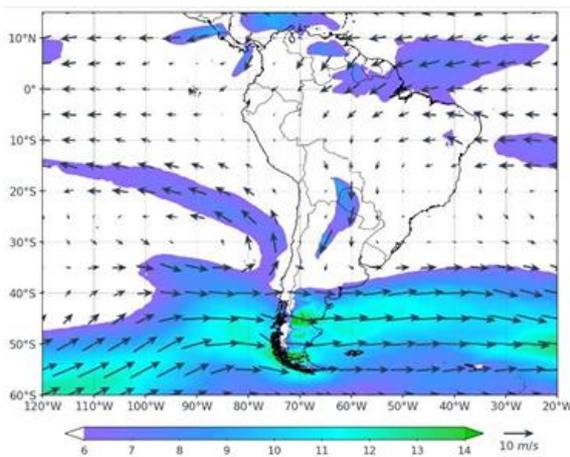


Figura 6: Flujos a niveles bajos - Marzo.

desplazado hacia el este encontrándose fuera del área de observación.

En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos del este y noreste sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del noroeste y centro de Sudamérica, asimismo, dominaron vientos intensos del norte sobre Bolivia y Argentina, transportando humedad hacia esos sectores.

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) con núcleo sobre los 30°S - 88°W con valores sobre los 1020 hPa, manteniendo su intensidad con un ligero desplazamiento hacia noreste respecto a lo climático; asimismo, el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), se mantuvo

II. CONDICIONES PLUVIOMÉTRICAS

Como el presente monitoreo trata de calidad de agua de lluvia es importante analizar las condiciones pluviométricas (precipitación) presentadas en cada punto de monitoreo los cuales se ubican en: Estación de Vigilancia Atmosférica Iquitos – EVA Iquitos (Loreto), Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha – OVA Marcapomacocha (Junín) y Estación de Calidad del Aire Campo de Marte (Lima), entendiéndose que cada lugar tiene condiciones climatológicas distintas, por ende patrones de precipitación distintos para un mismo periodo de tiempo.

Como se representa en la figura 7, la cantidad de la precipitación en los puntos de monitoreo son distintas, estas estuvieron altamente influenciadas por el comportamiento de los patrones atmosféricos en cada lugar (descritos previamente en el ítem I).

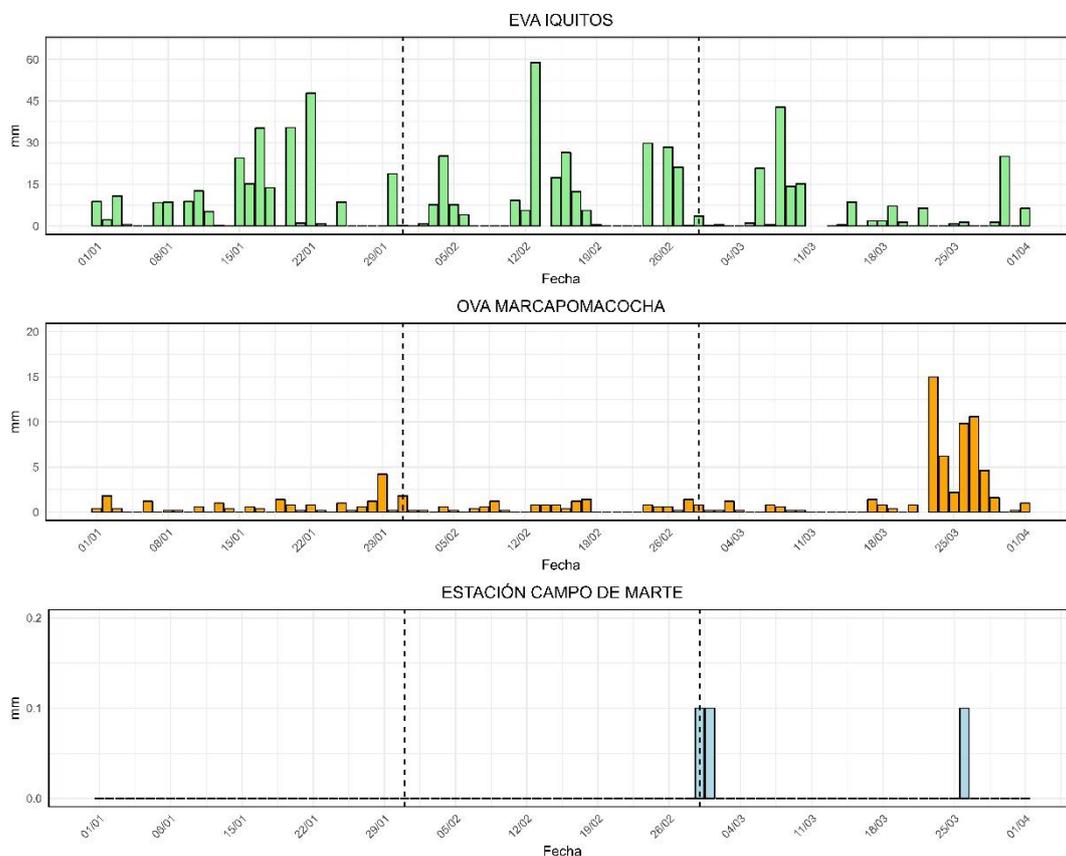


Figura 7: Precipitación acumulada en los puntos de monitoreo

Asimismo, el Cuadro 1 es un resumen de la cantidad mensual de precipitación, en la cual se observa que para el trimestre analizado la EVA Iquitos presentó precipitaciones por encima de su normal, lo cual puede estar relacionado a patrones sinópticos que fomentaron el incremento de humedad en el país. Por otro lado, para el OVA Marcapomacocha y la Estación Campo de Marte, durante el trimestre, dichas estaciones presentaron condiciones de precipitación por debajo de su normal las cuales pudieron estar relacionadas a ingresos de aire seco para el centro de Sudamérica y en el caso de la costa a la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur que mantuvo su posición climática.

MESES	EVA IQUITOS		OVA MARCAPOMACOCHA		ESTACIÓN CAMPO DE MARTE	
	ACUMULADO MENSUAL	NORMAL CLIMÁTICA	ACUMULADO MENSUAL	NORMAL CLIMÁTICA	ACUMULADO MENSUAL	NORMAL CLIMÁTICA
ENERO	267.4	224.4	19.8	140	0	0.6
FEBRERO	354.2	201.6	13.4	150.9	0.1	0.5
MARZO	1727.6	241.1	85	171.6	0.2	0.4

Cuadro 1: Acumulados de precipitación (mm/mes)

III. MONITOREO DE FOCOS DE CALOR

La quema de biomasa implica la ignición de vegetación viva o muerta por medio de incendios, incluyendo pastizales, bosques y residuos agrícolas constituye una fuente significativa de emisiones gaseosas y partículas a la atmósfera; entre las emisiones gaseosas se encuentran: gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O), gases reactivos (CO, NO₂, NO) e hidrocarburos que actúan como precursores de ozono troposférico, gases que agotan la capa de ozono como cloruro y bromuro de metilo (CH₃Cl y CH₃Br)⁶.

Por ello, es crucial realizar un seguimiento permanente de los focos de calor, no solo a nivel nacional, sino en toda Sudamérica, ya que los sistemas atmosféricos pueden transportar estos contaminantes desde países vecinos. Es así que, mediante el Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS, el cual utiliza el VIIRS y MODIS para proporcionar datos de incendios y focos de calor) se realizó el seguimiento de los focos de calor durante el trimestre en evaluación.

En las Figuras 8, 9 y 10 se puede observar que durante el mes de enero hay abundantes focos de calor a nivel nacional, sin embargo éstos van disminuyendo durante el mes de febrero especialmente en la sierra y selva central; por el contrario se observa un incremento hacia el mes de marzo. A nivel de Sudamérica, se observa que con el transcurrir de los meses existe una tendencia a la disminución de dichos focos de calor, especialmente hacia las zonas este y sureste del continente.

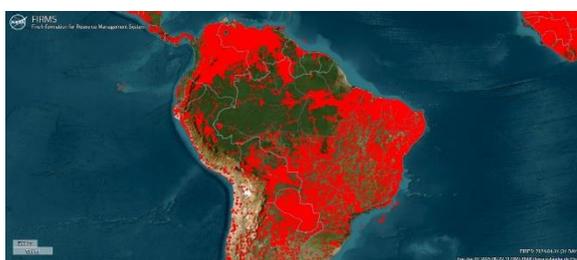


Figura 8: Focos de Calor - Enero.



Figura 9: Focos de Calor - Febrero.

⁶ https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Canziani/publication/242093033_LA_QUEMA_DE_BIOMASA_EN_SUDAMERICA_VISTA_DESDE_EL_ESPACIO/links/00463528378a684dfd000000/LA-QUEMA-DE-BIOMASA-EN-SUDAMERICA-VISTA-DESDE-EL-ESPACIO.pdf



Figura 10: Focos de Calor - Marzo.

IV. RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA (REMCAL)

El SENAMHI, a través de la Subdirección de evaluación del Ambiente Atmosférico de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, realiza la vigilancia a nivel nacional de la calidad de agua de lluvia a través de una Red de Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia (REMCAL), dicha red en la actualidad cuenta con tres puntos de monitoreo las cuales se observan en el Cuadro 2.

N°	NOMBRE DEL PUNTO DE MONITOREO	UBICACIÓN			COORDENADAS		ALTITUD (ms.n.m.)
		REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	
1	Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha)	Junín	Yauli	Marcapomacocha	11°24'15.96"S	76°19'30.30"O	4447
2	Estación de Monitoreo de Calidad del Aire Campo de Marte	Lima	Lima	Jesús María	12°4'14.03" S	77°2'35.3" O	123
3	Estación de Vigilancia Atmosférica Iquitos (EVA Iquitos)	Loreto	Maynas	San Juan Bautista	3°45'51.02"S	73°16'12.60"O	113

Cuadro 2: Puntos de monitoreo de Calidad de Agua de Lluvia y la ubicación de los mismos.

Estos puntos de monitoreo, estratégicamente ubicados, brindan información referencial de la costa, sierra y selva del país, además, cada sitio se caracteriza por tener diferentes tipos de vegetación, uso de suelo, microclima y otras características propias.

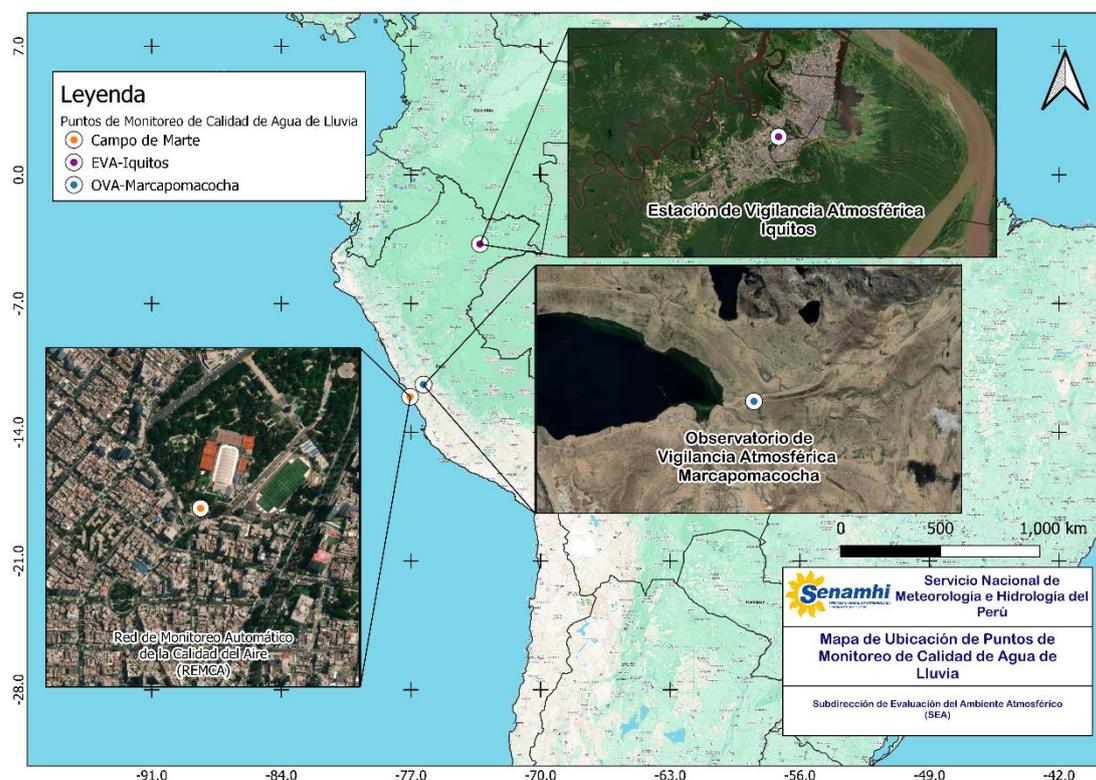


Figura 8: Ubicación de los Puntos de Monitoreo de la REMCAL a nivel nacional.

Para contextualizar y comprender un poco más acerca de cada punto de monitoreo a continuación brindaremos un poco de información respecto a las normales climatológicas⁷ presentadas en el trimestre para cada lugar:

- 2.1. Observatorio de Vigilancia Atmosférica Marcapomacocha (OVA Marcapomacocha).**- La temperatura máxima media varía entre los 10.8 °C y los 10.5 °C, la temperatura mínima media varía entre los 0.8 °C y los 0.5 °C.
- 2.2. Estación de Monitoreo de Calidad del Aire Campo de Marte.**- La temperatura máxima media varía entre los 27.1 °C y los 25.6 °C, la temperatura mínima media varía entre los 21.1 °C y los 20.4°C.
- 2.3. Estación de Vigilancia Atmosférica Iquitos (EVA Iquitos).**- La temperatura máxima media varía entre los 32.3°C y los 31.9 °C, la temperatura mínima media varía entre los 22.8 °C y los 23.1°C.

⁷ <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=normales-estaciones>

V. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA

Las variables más importantes para el monitoreo de la calidad de agua de lluvia son el pH y la Conductividad Eléctrica, es así que para la determinación de estos parámetros en la REMCAL se emplean equipos especializados siguiendo lineamientos establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La frecuencia de monitoreo de la calidad de agua de lluvia que se realiza en la REMCAL es semanal, la cual es una frecuencia recomendada por la OMM.

5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El pH es una expresión de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El término se utiliza para indicar la basicidad o acidez de una solución en una escala de 0 a 14, siendo el pH 7 neutro. A medida que aumenta la concentración de iones H^+ en la solución, aumenta la acidez y el pH disminuye, por debajo de 7 y cuando el pH es superior a 7, la solución es básica. Es importante el análisis del pH ya que este afecta la mayoría de los procesos químicos y biológicos en el agua⁸.

La figura 9, muestra los registros de pH para la calidad de agua de lluvia en la REMCAL, donde los valores mínimo y máximo fueron 4.2 (EVA Iquitos) y 8.4 (OVA Marcapomacocha), cabe precisar que durante el trimestre se presentó un valor por debajo del umbral de lluvia ácida⁹ para la EVA Iquitos.

Asimismo, es necesario señalar que en la figura 9 no se incluyó a la Estación de Calidad del Aire Campo de Marte debido a que durante el periodo de monitoreo no hubo muestra suficiente de precipitación, razón por la cual no se pudo realizar el análisis para calidad de agua de lluvia.

⁸ <https://www.epa.gov/caddis/ph>

⁹ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>

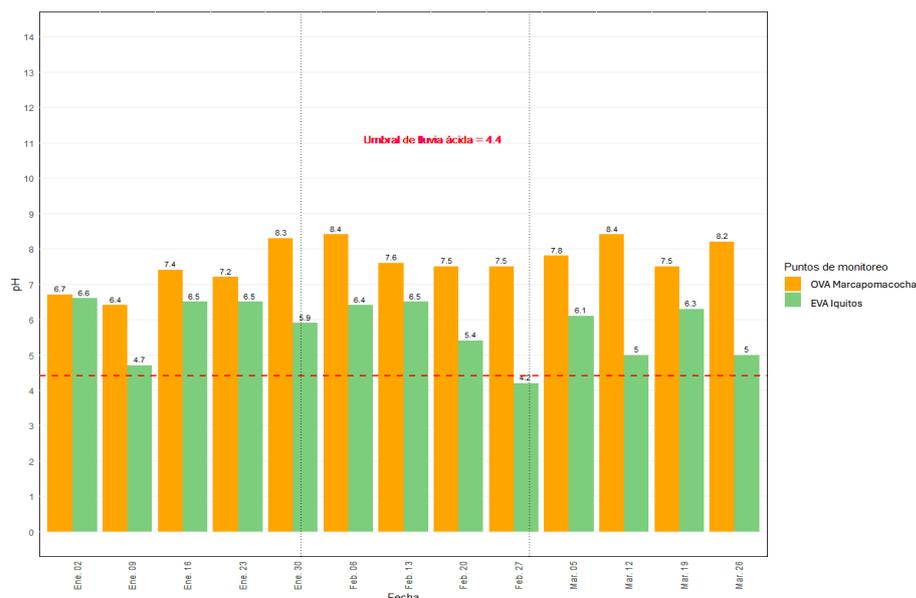


Figura 9: Registros de pH de la deposición atmosférica húmeda en la REMCAL.

5.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad es una medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica. Debido a que las sales disueltas y otras sustancias químicas inorgánicas conducen la corriente eléctrica, la conductividad aumenta a medida que aumenta la salinidad.

La importancia de realizar mediciones de conductividad radica en que esta es útil como medida general de la calidad del agua. Cada cuerpo de agua tiende a tener un rango de conductividad relativamente constante que, una vez establecido, puede usarse como base para comparar con mediciones de conductividad regulares. Los cambios significativos en la conductividad podrían entonces ser un indicador de que una descarga o alguna otra fuente de contaminación ha ingresado al agua (US-EPA¹⁰).

La figura 10, muestra los registros de Conductividad Eléctrica para la calidad de agua de lluvia en la REMCAL; asimismo, se observa que los valores mínimo y máximo fueron 1.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (EVA Iquitos) y 16.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (OVA Marcapomacocha). Cabe precisar durante el trimestre analizado no se registraron valores por encima del umbral de lluvia ácida¹¹.

Asimismo, es necesario señalar que en la figura 10 no incluyó a la Estación de Calidad del Aire Campo de Marte debido a que durante el periodo de monitoreo no hubo muestra suficiente de precipitación, razón por la cual no se pudo realizar el análisis respectivo.

¹⁰ <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>

¹¹ Antolinez, A. y Díaz, C. (2003) Lluvia Ácida en la zona norte de Bogotá.

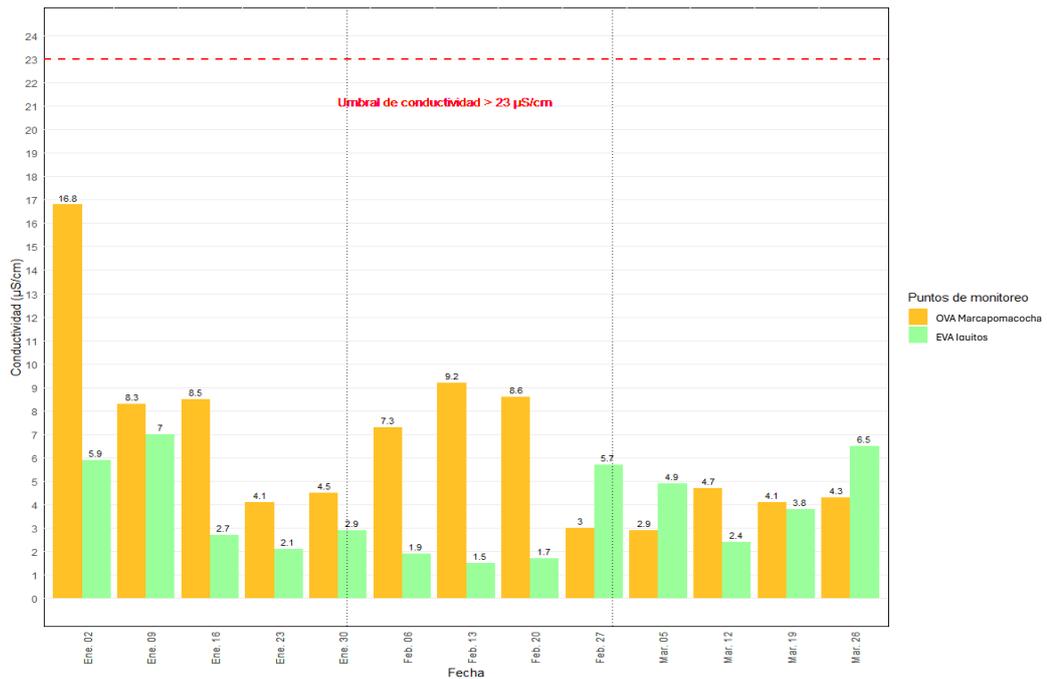


Figura 10: Registros de Conductividad Eléctrica de la deposición atmosférica húmeda en la REMCAL.

5.3. Análisis de retrotrayectorias

El modelo híbrido de trayectoria integrada langrangiana de una sola partícula o Hysplit (por sus siglas en inglés, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) es un sistema completo para calcular trayectorias simples de paquetes de aire, así como simulaciones complejas de transporte, dispersión, transformación química y deposición; este sigue siendo uno de los modelos de dispersión y transporte atmosférico más utilizado en la comunidad de las ciencias atmosféricas. Una aplicación común de este modelo es el análisis de trayectoria inversa (o retrotrayectorias) para la determinación del origen de masas de aire y así establecer relaciones fuente-receptor ¹².

La Figura 11 nos muestra las trayectorias de masas de aire a dos alturas distintas: 400 y 1500 ms. n. m. (metros sobre nivel del mar).

La trayectoria azul (400 ms. n. m.) muestra que las masas de aire proceden de regiones más locales o cercanas, posiblemente influenciadas por fenómenos terrestres y alta probabilidad de captar emisiones de actividades humanas, incendios o fuentes industriales; por otro lado, las trayectorias rojas (1500 ms. n. m.) muestran un patrón más amplio, sugiriendo transporte de masas de aire desde regiones más distantes (Brasil) las cuales pueden arrastrar contaminantes desde fuentes más lejanas, como incendios forestales o transporte de polvo.

¹² National Oceanic and Atmospheric Administration

La simulación cubre 7 días hacia atrás desde el punto de término (27 de febrero), lo cual comprende el tiempo que estuvo expuesto el muestreador de calidad de agua de lluvia. Cabe precisar que, se escogió este periodo para el análisis de Hysplit para la EVA Iquitos debido a que en dicho periodo se presentó menor pH durante el trimestre, es así que se puede deducir que durante ese periodo la calidad del agua de lluvia (por debajo del umbral de lluvia ácida) puede estar relacionado a la influencia de emisiones locales (actividades antrópicas) e incendios forestales.

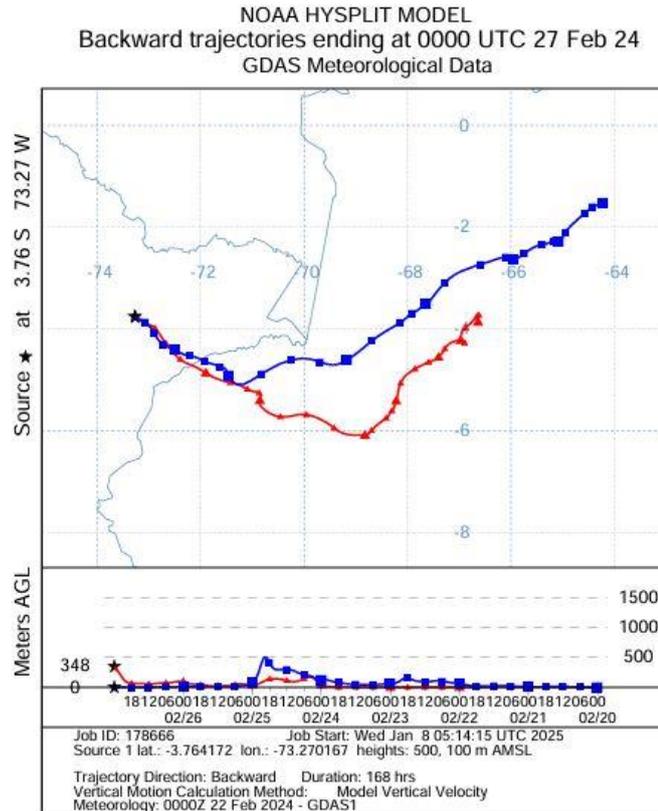


Figura 11: Retrotrayectorias para la EVA Iquitos.

La Figura 12 nos muestra las trayectorias de masas de aire a dos alturas distintas: 1500 y 7000 ms. n. m.

La trayectoria roja (1500 ms. n. m.) proviene de zonas cercanas al nivel del suelo, este flujo de aire está más influenciado por las emisiones terrestres, como fuentes antropogénicas o fuentes naturales locales, además las masas de aire, al tener su origen en el sur, pudieron arrastrar también aerosoles marinos hasta llegar al OVA Marcapomacocha; por otro lado, la trayectoria azul (7000 ms. n. m.) muestra que las masas de aire podrían haber viajado mayor distancia y pudieron haber arrastrado contaminantes desde zonas más alejadas con influencia antrópica y también aerosoles marinos (debido al origen de las masas de aire en el océano Pacífico).

La simulación cubre 7 días hacia atrás desde el punto de término (02 de enero), lo cual comprende el tiempo que estuvo expuesto el muestreador de calidad de agua de lluvia. Cabe precisar que, se escogió este periodo para el análisis de Hysplit para el OVA Marcapomacocha debido a que en dicho periodo se presentó mayor conductividad durante el trimestre, es así que se puede deducir que durante ese periodo hubo mayor cantidad de iones los cuales incrementaron los niveles de conductividad en el observatorio lo cual puede estar relacionado al transporte de masas de aire con alta carga de contaminantes (posiblemente relacionados a las fiestas de fin de año) y aerosoles marinos.

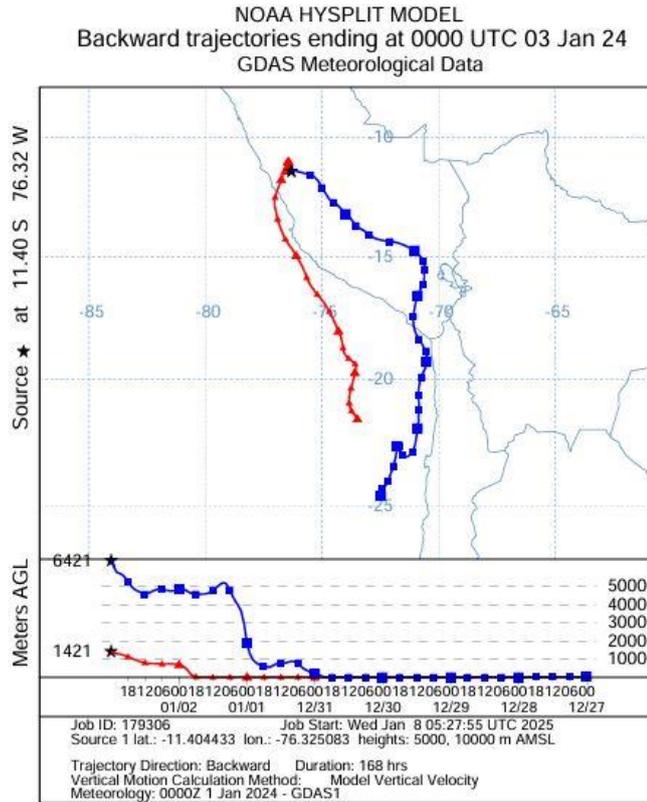


Figura 12: Retrotraectorias para el OVA Marcapomacocha.

VI. CONCLUSIONES

- Durante el primer trimestre en niveles medios se presentaron sistemas que favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad principalmente hacia la zona norte del país; mientras que en niveles bajos predominaron los flujos del este aportando humedad proveniente del Atlántico.
- Respecto a las condiciones pluviométricas, en la EVA Iquitos observan importantes acumulados mensuales los cuales se encuentran por encima de su normal climática para todo el trimestre; sin embargo para el OVA Marcapomacocha y la Estación de Calidad del Aire Campo de Marte durante el trimestre se presentaron acumulados por debajo de su normal climática.
- Según las muestras analizadas para el primer trimestre del presente año, se puede observar que solo una muestra de un punto de monitoreo de la REMCAL evidenció presencia de lluvia ácida (EVA Iquitos). Asimismo, la Estación de Calidad el Aire Campo de Marte no registró precipitación suficiente por lo cual no se pudieron analizar muestras para la determinación de calidad de agua de lluvia.
- Los bajos valores de pH presentados en el mes de febrero para la EVA Iquitos pueden estar influenciados por actividades antrópicas locales e incendios forestales.
- Se puede inferir que los valores elevados de Conductividad Eléctrica presentados durante el mes de enero en el OVA Marcapomacocha pueden haberse originado por el transporte de masas de aire conteniendo material particulado (probablemente relacionado también al incremento de contaminantes en el aire por las fiestas de fin de año), actividad antrópica y de masas del aire provenientes del Océano Pacífico conteniendo aerosoles marinos.

Para más información sobre el presente documento, contactar con:

Ing. Jhojan Pool Rojas Quincho
jprojas@senamhi.gob.pe

Subdirector de Evaluación del Ambiente Atmosférico

Elaboración:

Ing. Sháneri Sheyla Sánchez Calderón (ssanchez@senamhi.gob.pe)

Ing. Hanns Kevin Gómez Muñoz

Suscríbete al **BOLETÍN DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE LLUVIA**
mediante el siguiente enlace: <https://forms.office.com/r/Z4C8SD80Xq>

