



Boletín Nacional Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia

Abril – Junio 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 segundo 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 segundo 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 – Abril 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3705>

² Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – Mayo 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3706>

³ Informe de Vigilancia Sinóptica de Sudamérica – Junio 2024. Obtenido de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3707>

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).

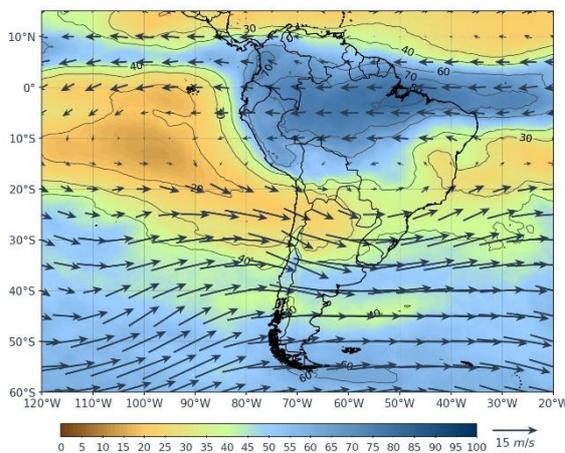
⁵ Hysplit (por sus siglas en inglés, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)

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 abril – junio.

ABRIL

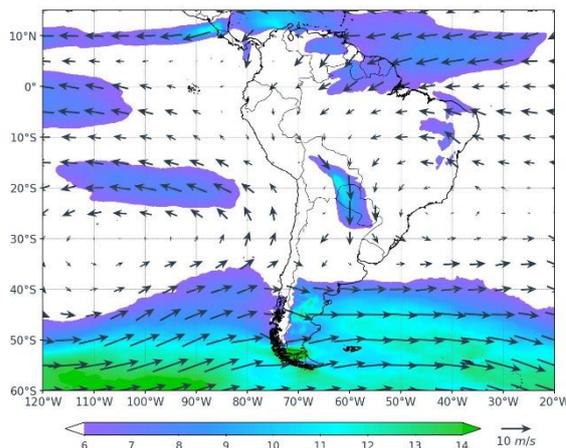
Figura 1: Flujos a niveles medios - Abril.



En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 25°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Bolivia y Brasil con núcleo en los 18°S y 55°W. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60-80%) hacia el territorio peruano y países como Colombia, 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 norte de Chile, norte de Argentina, Paraguay, Uruguay y sur de Brasil.

Figura 2: Flujos a niveles bajos - Abril

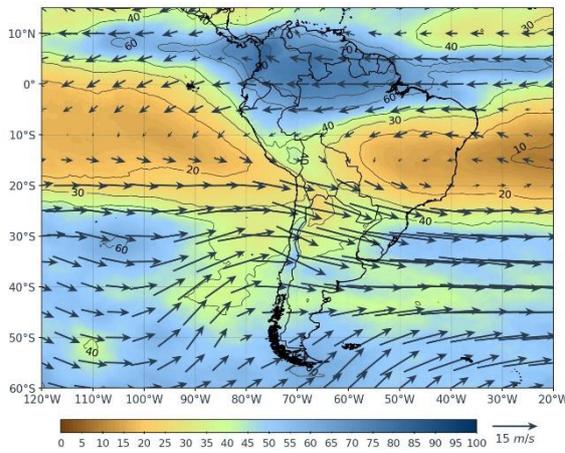


En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos del este y noreste sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del noroeste y centro de Sudamérica; también, se configuró el Jet de Bajos Niveles (JBN) sobre Bolivia y Paraguay alcanzando velocidades próximas a 12 m/s.

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) predominó definido con núcleo sobre los 37°S y 105°W y desplazado hacia el suroeste respecto a su posición climática con valores sobre los 1023 hPa, climáticamente elevado; 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.

MAYO

Figura 3: Flujos a niveles medios - Mayo

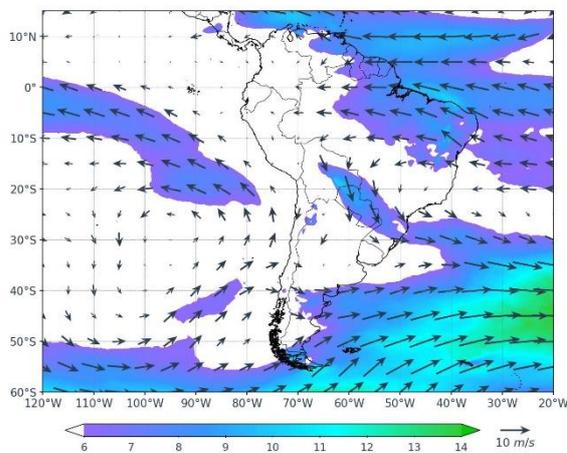


y sur del continente prevaleció el ingreso de aire seco con valores entre el 30-40% de humedad, principalmente al norte de Chile, norte de Argentina, Paraguay, Uruguay, Bolivia y sur de Brasil.

En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 15°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Brasil y Bolivia que extendió desde el Atlántico, y otro sobre el Pacífico alrededor de los 10°S.

Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 60-80%) hacia el norte del Perú, norte de Brasil y otros países del norte de Sudamérica; por otro lado, sobre el centro

Figura 4: Flujos a niveles bajos - Mayo



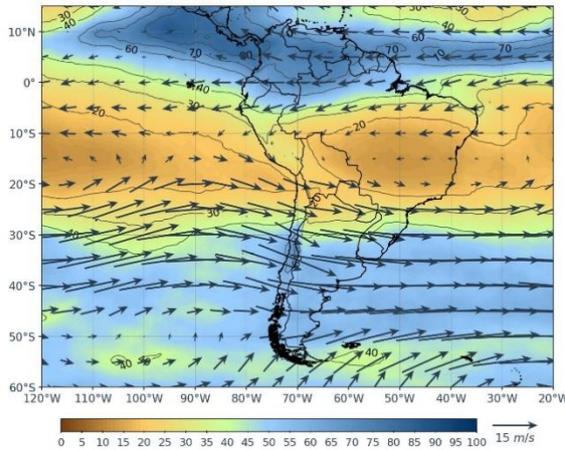
respecto a su posición climática con valores sobre los 1023 hPa, climáticamente elevado; asimismo, el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), se presentó en su posición climática pero con menor intensidad.

En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos de origen este sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del norte de Sudamérica; también, se configuró el Jet de Bajos Niveles (JBN) sobre Bolivia y Paraguay alcanzando velocidades próximas a 12 m/s.

En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) predominó con configuración meridional con núcleo sobre los 40°S - 98°W y desplazado hacia el suroeste

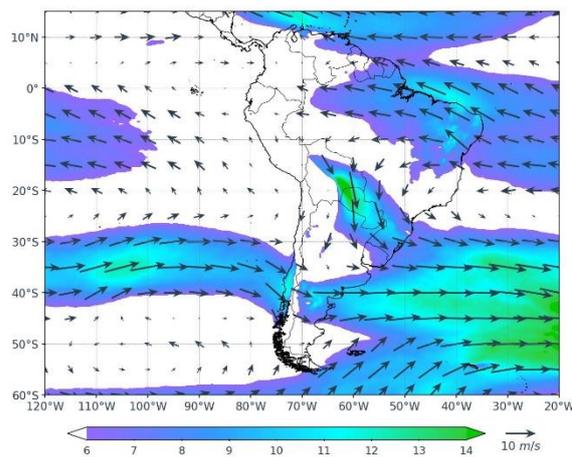
JUNIO

Figura 5: Flujos a niveles medios - Junio.



En niveles medios, predominaron flujos del oeste con componente zonal predominante, desde los 20°S hacia latitudes mayores asociado a una onda poco configurada. También, dominó un flujo anticiclónico sobre Brasil que se extendió desde el Atlántico y otro sobre el Pacífico alrededor de los 15°S. Estos sistemas favorecieron el ingreso de flujos del este con humedad (entre el 40 -80%) hacia el norte del Perú, norte de Brasil y otros países del norte de Sudamérica; por otro lado, sobre el centro del continente prevaleció el ingreso de aire seco con valores entre el 20 - 40% de humedad, principalmente en Brasil, Bolivia, Paraguay, norte de Chile y sur de Perú.

Figura 6: Flujos a niveles bajos - Junio.



En niveles bajos, a 850 hPa, predominaron flujos de origen este sobre el noreste de Sudamérica aportando humedad proveniente del Atlántico sobre países del norte de Sudamérica; también, se configuró el Jet de Bajos Niveles (JBN) sobre Bolivia y Paraguay alcanzando velocidades próximas a 14 m/s.

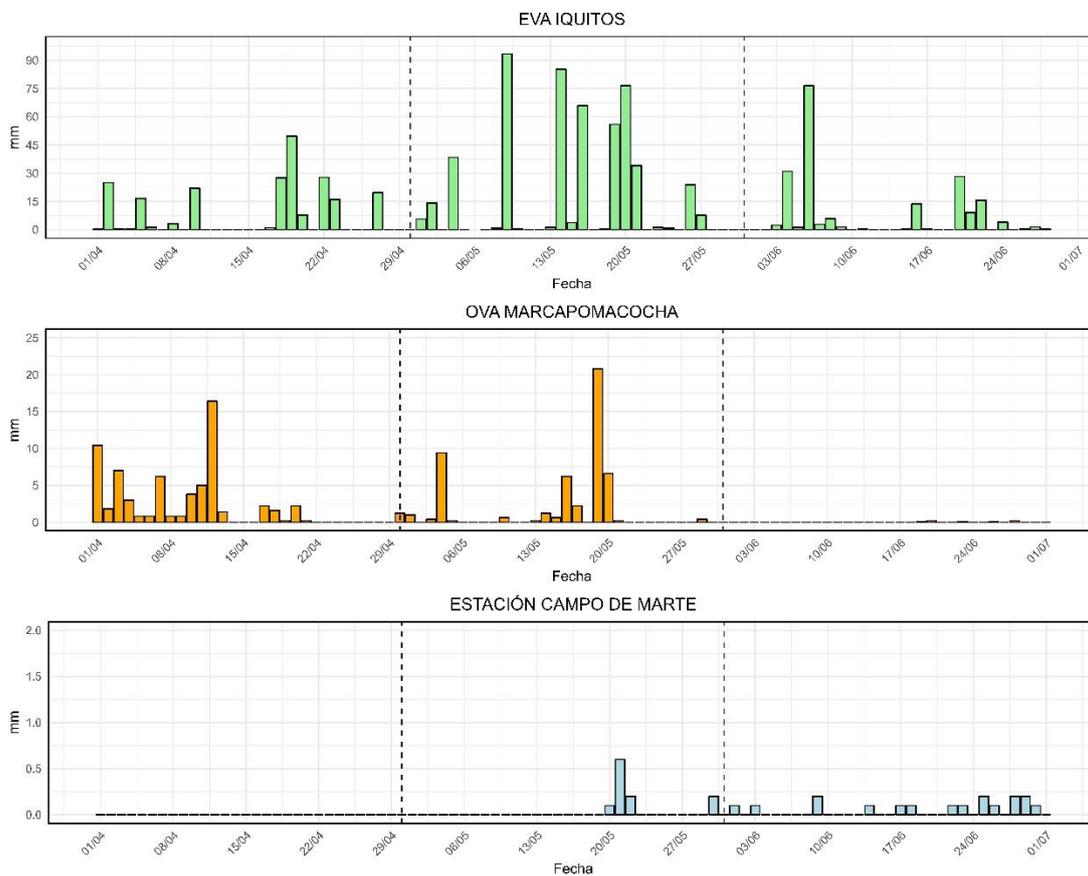
En superficie, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) predominó con configuración zonal y núcleo sobre los 27°S - 117°W y desplazado hacia el oeste respecto a su posición climática con valores sobre los 1020 hPa, climáticamente menos intenso; asimismo, el Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), se presentó en su posición climática pero con valores menores.

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 mes de mayo todas las estaciones estuvieron por encima de su normal, lo cual puede estar relacionado a patrones sinópticos que fomentaron el incremento de humedad en el país, especialmente hacia el norte de la selva del Perú. Por otro lado, para la costa, la configuración de Anticiclón del Pacífico sur (APS) y las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), que fueron particularmente frías para dicho mes, fomentaron las precipitaciones.

Cuadro 1: Acumulados de precipitación

| MESES | EVA IQUITOS | | OVA MARCAPOMACOCHA | | ESTACIÓN CAMPO DE MARTE | |
|-------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | ACUMULADO MENSUAL | NORMAL CLIMÁTICA | ACUMULADO MENSUAL | NORMAL CLIMÁTICA | ACUMULADO MENSUAL | NORMAL CLIMÁTICA |
| ABRIL | 218.6 | 221.9 | 65.8 | 81 | 0 | 0.1 |
| MAYO | 509 | 197.4 | 50 | 34.8 | 1.1 | 0.4 |
| JUNIO | 194.6 | 176.7 | 0.7 | 12.4 | 1.7 | 1.3 |

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 con el transcurrir de los meses existe un incremento en los focos de calor presentes a nivel nacional (principalmente en la sierra norte y centro) y también incrementos en los focos de calor hacia los sectores este y sureste de Sudamérica (Brasil, Bolivia y Paraguay) los cuales pueden contribuir significativamente en la composición química del aire.

Figura 8: Focos de Calor - Abril.



Figura 9: Focos de Calor - Mayo.



⁶ Mielnicki et al. 2005. La quema de biomasa en Sudamérica vista desde el Espacio. (<http://bit.ly/3Pwu7yd>)

Figura 10: Focos de Calor - Junio.



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

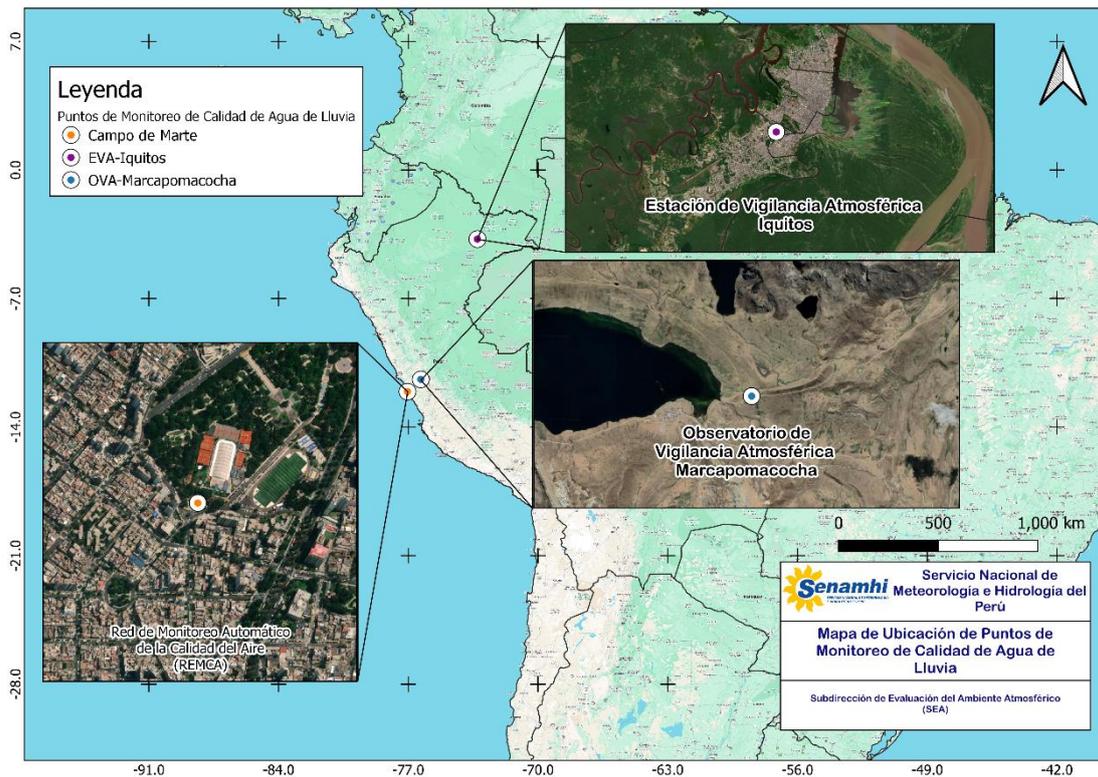
El SENAMHI, a través de la Subdirección de evaluación del Ambiente Atmosférico de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, realiza la vigilancia a nivel nacional de la calidad de agua de lluvia a través de una Red de Monitoreo de la Calidad de Agua de Lluvia (REMCAL), dicha red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

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

| N° | NOMBRE DEL PUNTO DE MONITOREO | UBICACIÓN | | | COORDENADAS | | ALTITUD (m s.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 |

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 11.1°C y los 10.8°C, la temperatura mínima media varía entre los 0.1 °C y los -2.7°C.

2.2. Estación de Monitoreo de Calidad del Aire Campo de Marte.- La temperatura máxima media varía entre los 24.6°C y los 18.9 °C, la temperatura mínima media varía entre los 18.8 °C y los 16°C.

2.3. Estación de Vigilancia Atmosférica Iquitos (EVA Iquitos).- La temperatura máxima media varía entre los 31.8°C y los 30.9 °C, la temperatura mínima media varía entre los 22.9 °C y los 22.4°C.

⁷ Normales Climatológicas Estándares y Medias 1991-2020: <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 4.4 (EVA Iquitos) y 8.8 (OVA Marcapomacocha), cabe precisar que no se registraron valores por debajo del umbral de lluvia ácida⁹.

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.

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



⁸ Potencial de Hidrogeno <https://www.epa.gov/caddis/ph>

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

5.2. Conductividad Eléctrica

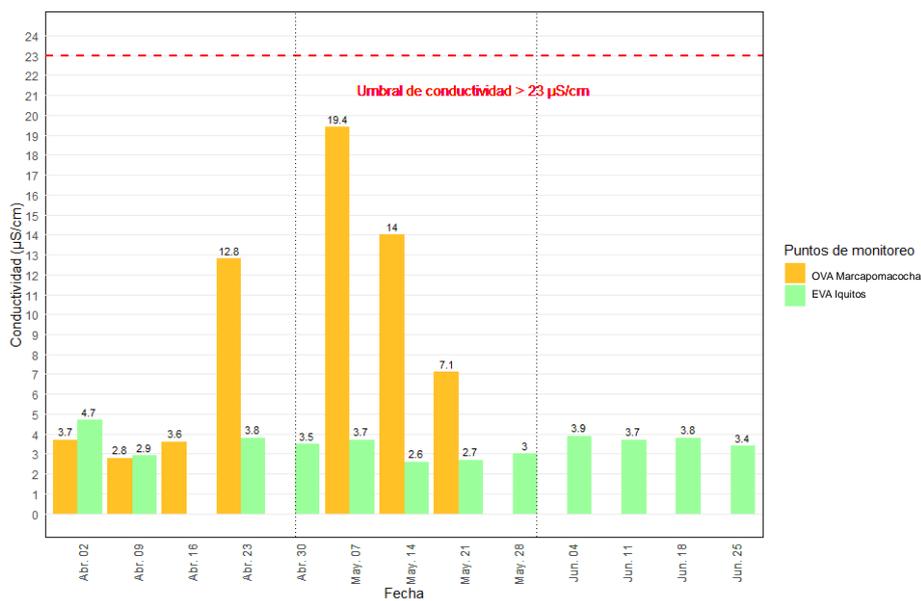
La conductividad es una medida de la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica. Debido a que las sales disueltas y otras sustancias químicas inorgánicas conducen la corriente eléctrica, la conductividad aumenta a medida que aumenta la salinidad.

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 agua¹⁰.

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 2.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (EVA Iquitos) y 19.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (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.

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



¹⁰ Conductividad del agua: <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.

5.3. Análisis de retrotrayectorias

El modelo híbrido de trayectoria integrada lagrangiana 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-receptor¹².

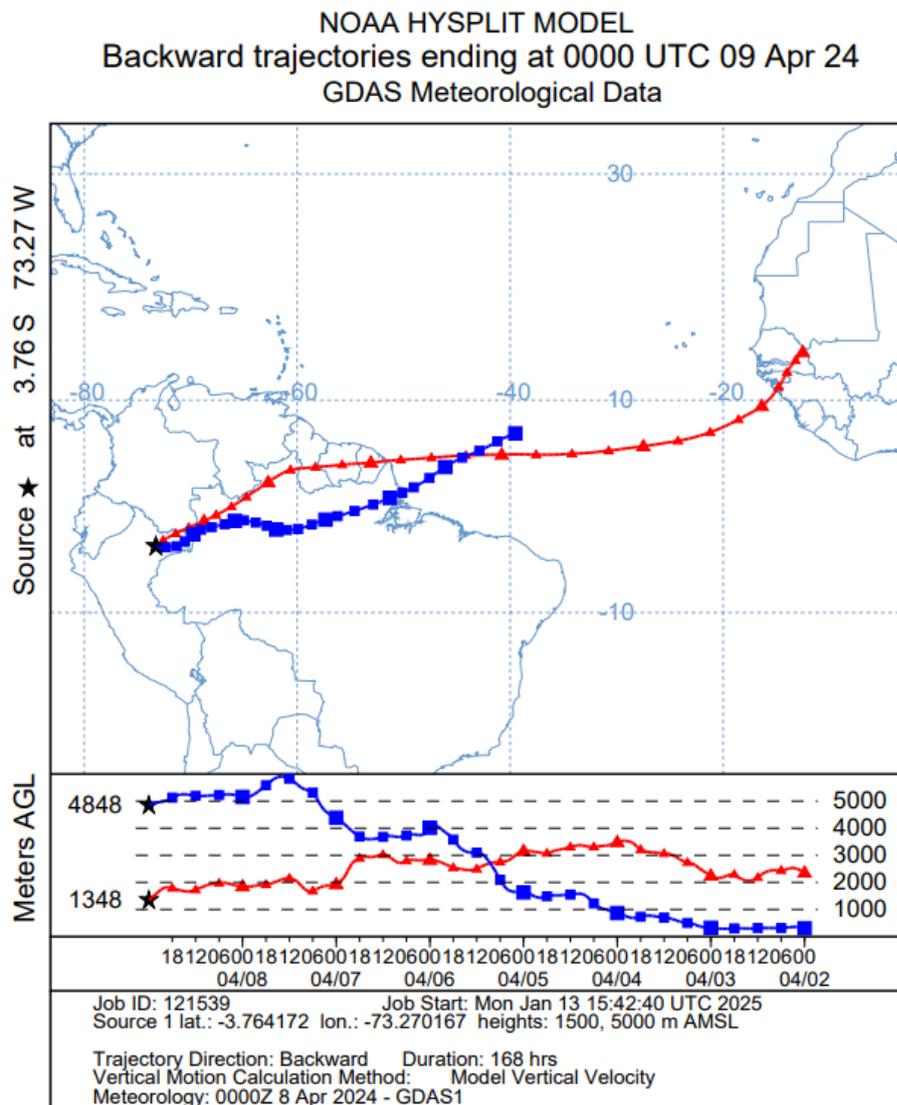
La Figura 11 nos muestra las trayectorias de masas de aire a dos alturas distintas: 1500 y 5000 ms. n. m. (metros sobre nivel del mar).

La trayectoria azul (5000 ms. n. m.) muestra que las masas de aire provienen del este atravesando gran parte del territorio amazónico hasta llegar a la EVA Iquitos; por otro lado, las trayectorias rojas (1500 ms. n. m.) presentan un comportamiento similar siendo provenientes del este, teniendo más interacción con la superficie por lo cual son más susceptibles a influencias locales.

La simulación cubre 7 días hacia atrás desde el punto de término (09 de abril), 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 (con tendencia a la acidez) puede estar relacionado a la influencia de emisiones locales (actividades antrópicas).

¹² HYSPLIT: <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>

Figura 11: Retrotrayectorias para la EVA Iquitos.



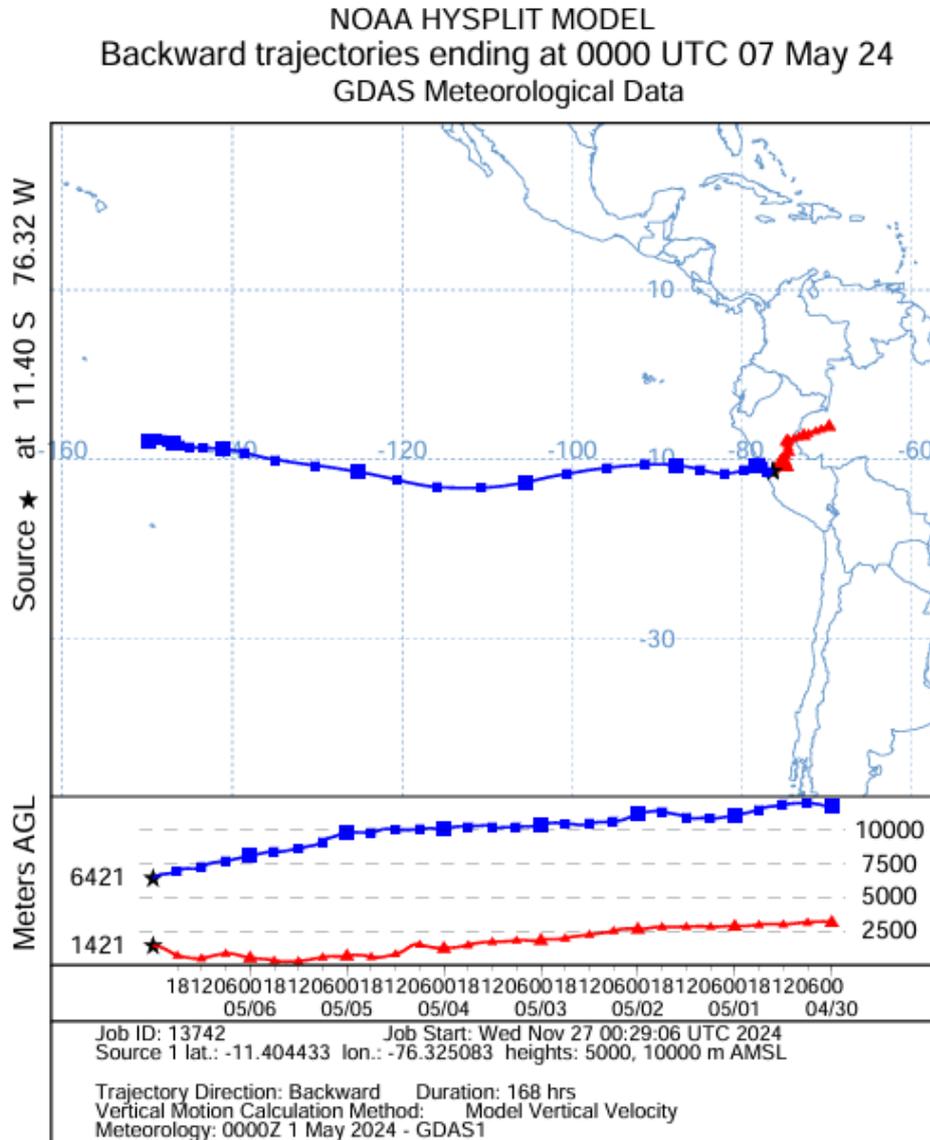
La Figura 12 nos muestra las trayectorias de masas de aire a dos alturas distintas: 5000 y 10000 ms. n. m.

La trayectoria azul (10000 ms. n. m.) muestra que las masas de aire viajaron desde el oeste, el Océano Pacífico, pudiendo arrastrar aerosoles marinos hasta llegar al OVA Marcapomacocha; por otro lado, las trayectorias rojas (5000 ms. n. m.) son más cortas, viajando desde el noreste y este, pudiendo tener interacciones con fuentes locales y regionales de contaminación (región amazónica) con mayor actividad humana.

La simulación cubre 7 días hacia atrás desde el punto de término (07 de mayo), 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 incremento de focos de calor a nivel nacional y el transporte de masas de aire con aerosoles marinos.

Figura 12: Retrotrayectorias para el OVA Marcapomacocha.



VI. CONCLUSIONES

- Durante el segundo 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 de origen este aportando humedad proveniente del Atlántico.
- Respecto a las condiciones pluviométricas, en todos los puntos de monitoreo se observan importantes acumulados mensuales los cuales se encuentran por encima de su normal climática.
- Según las muestras analizadas para el segundo trimestre del presente año, se puede observar que no hubo presencia de lluvia ácida en los puntos de monitoreo de la REMCAL. 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 abril para la EVA Iquitos pueden estar influenciados por actividades antrópicas locales.
- Se puede inferir que los valores elevados de Conductividad Eléctrica presentados durante el mes de mayo en el OVA Marcapomacocha pueden haberse originado por el transporte de masas de aire de la amazonía conteniendo material particulado (probablemente relacionado también al incremento de focos de calor y posibles incendios forestales) 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)

Bach. 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>

