

# Comportamiento de la lluvia horizontal en el ecosistema montañoso de La Gran Piedra

## Horizontal rainfall behavior in the mountain ecosystem of La Gran Piedra



<https://cu-id.com/2377/v30n2e04>

①Leonel Domínguez Borrero<sup>1\*</sup>, ②Melek Campos Sofía<sup>2</sup>, ③María Teresa Álvarez Balanqué<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba (CMP SCU). Calle 4 esquina 17, número 451. Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba. CP 90400.

<sup>2</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba, Cuba.

**RESUMEN:** Los bosques nublados tienen una alta humedad relativa asociada a la precipitación horizontal y a la temperatura. Esta combinación de factores causa que los ecosistemas se mantengan permanentemente húmedos. La precipitación horizontal es un proceso mediante el cual las gotas de agua en movimiento horizontal entran en contacto con la vegetación. Sin embargo, poco se ha investigado y difundido sobre el comportamiento de la misma en la zona montañosa, por no existir una práctica en su medición y método de colección, en particular en el ecosistema montañoso de la Gran Piedra. El objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento de la lluvia horizontal en el periodo de julio de 2022 - junio de 2023 e identificar los tipos de situaciones sinópticas (TSS) que condicionan la ocurrencia de niebla. Para su determinación se construyó un equipo y se desarrolló un método para su colección. Con esta investigación se contribuye a la obtención de una base de datos continua para una mejor gestión del conocimiento, relacionado con la lluvia horizontal y su aporte a los ecosistemas montañosos de referencia. Se demostró que el análisis integrado de los factores del clima y patrones sinópticos permite una mejor explicación de la ocurrencia de la lluvia horizontal en la región. Esto establece una valiosa información para la planeación de los procesos de reforestación, conservación y desarrollo de estos ecosistemas.

**Palabras clave:** lluvia horizontal, niebla, patrones sinópticos, sistema montañoso, bosque nublado.

**ABSTRACT:** Cloud forests have high relative humidity associated with horizontal precipitation and temperature. This combination of factors causes the ecosystems to remain permanently humid. Horizontal precipitation is a process by which horizontally moving water droplets come into contact with vegetation. However, little has been researched and disseminated on the behavior of horizontal precipitation in the mountainous zone, because there is no practice in its measurement and collection method, particularly in the mountainous ecosystem of the Gran Piedra. The objective of this research is to analyze the behavior of horizontal rainfall in the period July 2022 - June 2023 and to identify the types of synoptic situations (TSS) that condition the occurrence of fog. For its determination, an equipment was built and a method for its collection was developed. This research contributes to obtain a continuous database for a better knowledge management related to horizontal rainfall and its contribution to reference mountain ecosystems. It was demonstrated that the integrated analysis of climate factors and synoptic patterns allows a better explanation of the occurrence of horizontal rain in the region. This provides valuable information for the planning of reforestation, conservation and development of these ecosystems.

**Keywords:** horizontal rainfall, fog, synoptic patterns, mountain system, cloud forest.

\*Autor para correspondencia: Leonel Domínguez Borrero. E-mail: [leonel.dominguez@scu.insmet.cu](mailto:leonel.dominguez@scu.insmet.cu)

Recibido: 01/12/2023

Aceptado: 02/02/2024

Leonel Domínguez Borrero. Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba (CMP SCU). Calle 4 esquina 17, número 451. Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba. CP 90400.

Melek Campos Sofía. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba. E-mail:

María Teresa Álvarez Balanqué. Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba (CMP SCU). Calle 4 esquina 17, número 451. Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba. CP 90400. E-mail: E-mail:

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

**Declaraciones de autoría:** Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Las zonas montañosas tropicales, contienen una gran diversidad de ecosistemas, con un número de especies que conviven en ellas. En estas zonas ocurren procesos de condensación del aire húmedo proveniente principalmente del mar, donde se forman densos macizos de nubes con una consecuente elevada humedad y una alta precipitación pluvial. Las altitudes típicas pueden variar desde 500 a 3000 msnm. En dependencia de la latitud pueden tener nombres distintos tales como: bosque de niebla, bosques siempre nublados y bosques siempre verdes (Sánchez-Velásquez, 2014; Altamirano-León y col., 2022).

Según la clasificación de Köppen, en la mayor parte de Cuba el clima predominante es del tipo cálido tropical, con estación lluviosa en el verano. Se considera que el Clima de Cuba es tropical, estacionalmente húmedo, con influencia marítima y rasgos de semi continentalidad. Sin embargo, en el país se reporta también la presencia de otros tipos de clima. Por ejemplo, en las zonas más altas de los principales sistemas montañosos existe el clima de tipo tropical húmedo de selva, lluvioso durante todo el año. En estas zonas se encuentran enclavadas comunidades importantes que desarrollan actividades socioeconómicas que interactúan con la dinámica de la biodiversidad de la zona (Borrero y col., 2022).

La Sierra de la Gran Piedra está situada entre las cuencas tectónicas de Santiago de Cuba y Guantánamo; tiene unos 40 km de largo y un ancho máximo de 20 km. Su punto culminante es la Gran Piedra con 1225 msnm (Reyes y col., 2005).

La vegetación de la Sierra de la Gran Piedra se desarrolla en función de un gradiente ecológico y en los niveles más altos están el bosque semidecíduo mesófilo, el bosque siempreverde mesófilo y el bosque pluvial montano (Pluvisilva montana). Este último se desarrolla en las condiciones de mayor humedad de las áreas más elevadas (Reyes y col., 2005). En estas condiciones se realizan actualmente mediciones de lluvia horizontal.

En términos microclimáticos, los bosques nublados tienen una alta humedad relativa asociada a la precipitación horizontal y a la temperatura. Esta combinación de factores causa que estos ecosistemas se mantengan permanentemente húmedos. Debido a ello, también existe un alto grado de epifitismo, donde predominan los musgos, líquenes, entre otras especies, esto exhibe un notable endemismo de flora y fauna, propiciado por el efecto biogeográfico (Agudelo y col., 2012).

La precipitación horizontal es un proceso mediante el cual las gotas pequeñas de vapor de agua en movimiento horizontal entran en contacto con la vegetación. A diferencia de la precipitación vertical que no está influenciada por la vegetación en términos de su monto y distribución, la precipitación horizontal está fuertemente relacionada con la presencia de

los bosques nublados en estado maduro (Agudelo y col., 2012; Stadtmüller, 1987; Bruijnzeel y Hamilton, 2000).

Es importante considerar que para producirse la lluvia horizontal se necesitan parámetros físicos y meteorológicos adecuados (Cerezal y Bayon, 2010). En estudios realizados en ecosistemas montañosos se observan análisis del comportamiento de algunos elementos del clima, tales como la temperatura, humedad, viento, precipitación (Lee y Saavedra, 2014; Álvarez Balanqué y col., 2017; Olivares y col., 2017). Sin embargo, en estos no se evidencian análisis holísticos entre los elementos climáticos y patrones sinópticos. Estos últimos permiten explicar el comportamiento de las variables climáticas (Chang Bermúdez y Cepena Almaguer, 2019) y ayudan a entender la variabilidad y complejidad de las situaciones meteorológicas (Sardiñas y Sainz, 2019).

Para la determinación de la lluvia horizontal es significativo conocer el recurso niebla. Este último, se aprovecha para la obtención de agua a nivel mundial, pero ciertamente no se ha implementado una estructura que represente una mayor captura de esta (Cárdenas-Vargas y García-Valbuena, 2019). La misma se convierte en una opción potencial para la obtención de agua en lugares donde el acceso al recurso hídrico es limitado (Palacios y col., 2018), incluso su explotación es considerada como una técnica pasiva y de bajo costo (Schunk y col., 2018).

Sin embargo, este capital hídrico que se halla presente en diversas regiones del planeta es una reserva de agua poco aprovechada y estudiada, debido a que constituye una forma de precipitación indirecta, la cual no es tenida en cuenta en la mayoría de cálculos de balance hídrico (Moratíel Yungueros y col., 2016).

A nivel mundial, se han desarrollado diversos proyectos que incluyen la construcción y formación de estructuras llamadas comúnmente como atrapanieblas para la captura de agua niebla. Estos son instrumentos cuyo principio de funcionamiento se basa en la captación del agua que se encuentra en suspensión. Para ello se coloca como obstáculo una pantalla constituida por malla raschel, la cual permite que la niebla, al chocar, se condense para formar gotas de agua (Arellano-Escudero, 2017; Harb y col., 2016). Las gotas de agua crecen por coalescencia hasta que alcancen un tamaño considerable que les permita precipitar por medio de la gravedad hasta una canaleta o sistema de recolección localizado debajo de la malla (Montecinos y col., 2018).

En Cuba, el término de lluvia horizontal se utilizó por primera vez en 1972 por el investigador Fernando Boytel Jambú. Las mediciones realizadas en la Sierra de la Gran Piedra refieren que la lluvia horizontal determinada puede alcanzar el 50 % del régimen de precipitación de la zona. Sin embargo, no se conserva el método instrumental que se empleó para la captación de la lluvia horizontal en esta zona montañosa.

En esta existe un importante patrimonio forestal, se realizan actividades de ecoturismo, de conservación y/o protección de bosques naturales y artificiales y observaciones meteorológicas. Estas son de vital importancia para las investigaciones relacionada con el clima y la conservación en los ecosistemas montañosos. No obstante, poco se ha investigado y difundido sobre el comportamiento de la lluvia horizontal en la zona montañosa, por no existir una práctica en su medición y método de recopilación, en particular en el ecosistema montañoso de la Gran Piedra.

Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento de la lluvia horizontal en el periodo lluvioso de julio de 2022 - junio de 2023 e identificar los tipos de situaciones sinópticas (TSS) que condicionan la ocurrencia de niebla. Con esta investigación se contribuye a la obtención de una base de datos continua para una mejor gestión del conocimiento, relacionado con la lluvia horizontal y su aporte a los ecosistemas montañosos de referencia. Esto establece una valiosa información para la planeación de los procesos de reforestación, conservación y desarrollo de estos ecosistemas.

## MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en el ecosistema montañoso de la Gran Piedra. El punto de medición se ubicó en la estación meteorológica, con código identificativo internacional 78366, localizada en los: 20° 00'45 N y 75°38'06 W a 1130 msnm.

Se utilizó la Base de Datos SAROM del periodo (julio 2022 - junio 2023) de la estación, relacionada específicamente con los días con niebla y los registros de la lluvia horizontal de igual periodo.

Se diseñó y construyó un equipo para la cuantificación de la precipitación horizontal que fue instalado en la estación meteorológica y se realizaron las mediciones durante un año.

Se determinaron los patrones sinópticos que contribuyeron a la ocurrencia de precipitación horizontal y el porcentaje que esta representa respecto a la lluvia promedio en los periodos poco lluvioso, lluvioso y lluvia total mensual registrada.

Se evaluaron las condiciones meteorológicas teniendo en cuenta la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo para la determinación de la humedad específica (g/kg de aire seco), la humedad relativa (%), la velocidad del viento (km/h) y la dirección del viento (°), así como la identificación de los TSS que favorecieron la ocurrencia de los eventos de niebla y la precipitación horizontal. En este caso se utilizó el catálogo o clasificación de Tipos de Situaciones Sinópticas (TSS) para Cuba, en el que están definidos nueve tipos principales y 20 subtipos (Lecha-Estela y col., 2020; Torres y col., 2020). Se emplearon los mapas de niveles de 850 hPa y 700 mbar, para identificar los TSS que condicionaron la ocurrencia de

la niebla en la zona de observación. Para las bases de datos y el análisis de la información se utilizó el programa Excel.xlsx.

## Caracterización del área de estudio

La Sierra de La Gran Piedra se ubica al sureste de Santiago de Cuba (figura 1), tiene su punto más alto a 1225 msnm, se caracteriza por la diversidad climatológica, geomorfológica, ecológica y paisajística originados y transformados por el clima, están presentes estratos de este tipo de rocas, compuestas de tobas, ceniza y demás fragmentos de rocas y productos líquidos, como mantos de lava volcánica. La flora es exclusiva, pues la componen 222 variedades de helechos, y 352 de orquídeas, eucaliptos, pinos maestrenses, cubenses, cipreses, y una variedad de frutales, entre ellos, por insólito que parezca, manzanas legítimas y melocotones. La fauna es uno de los atractivos más fuertes. En su entorno, vuelan pájaros carpinteros, zorzales reales, cartacubas, gavilanes, torcazas, mayitos, capitaneados por nuestra ave nacional, el tocororo.

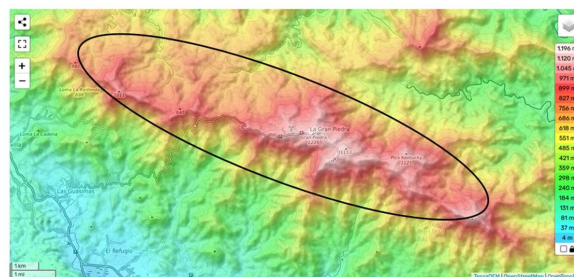


Figura 1. Imagen topográfica de la Sierra de la Gran Piedra. (<https://es-es.topographic-map.com/maps/6oq4/Cuba/>)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados se realizó teniendo en cuenta los dos periodos que predominan en Cuba desde el punto de vista climatológico, el periodo poco lluvioso y el periodo lluvioso. Tanto las precipitaciones como los patrones sinópticos involucrados tienen comportamientos característicos de cada periodo.

### Comportamiento de la lluvia horizontal respecto a la lluvia total mensual en el periodo de julio 2022-junio 2023

El comportamiento de la lluvia horizontal respecto a la lluvia total mensual en la región de estudio, para el periodo poco lluvioso de noviembre 2022-abril 2023 se muestra en la figura 2.

En el mes de abril se registró la mayor cantidad de lluvia horizontal (60,9 mm) del periodo poco lluvioso, respecto a la lluvia total mensual. Desde el punto de vista meteorológico, esto representa un aporte al régimen hídrico en el ecosistema de la región de estudio de 31 % respecto a la lluvia total caída. En el resto de los meses el aporte de la lluvia horizontal, respecto a

la lluvia total, representa entre el 40,2 % y el 83,1 %; excepto en el mes de noviembre de 2022 que solo representó el 23,2 %.

Sin embargo, solo en los meses de noviembre de 2022 y febrero de 2023 los valores de la lluvia mensual registrados están en el orden de los valores históricos correspondientes. En la figura 3 se muestra el comportamiento de la lluvia horizontal respecto al valor histórico en este período.

Es importante destacar que, aunque existen anomalías de la lluvia total mensual registrada en este período respecto al valor histórico, la lluvia horizontal aporta al régimen hídrico valores significativos, superiores al 30 %, excepto en noviembre que fue de 26,4 %. Esta variable no se determina en ninguna estación meteorológica en Cuba hasta el momento.

Por otra parte, en el período lluvioso se incrementa la cantidad de lluvia horizontal registrada, tal como se muestra en la figura 4.

En este período se registran valores significativos de lluvia horizontal en los meses de mayo y junio, los que representan el 41,7 % y el 44,1 %, respecto a la lluvia total caída en igual período. Sin embargo, aunque los valores de lluvia horizontal registrados son mayores que en el período poco lluvioso, el porcentaje que aporta al régimen hídrico de la región es inferior con respecto a la lluvia total mensual. En este caso se aporta entre 12,9 % y 30,4 %, excepto en los meses de mayo y junio.

Respecto al valor histórico el comportamiento de la lluvia horizontal en el período lluvioso se muestra en la figura 5.

En este período el mes de mayor contribución al balance hídrico, respecto al valor histórico es junio de 2023, con un 99,4 %. El resto de los meses se aporta entre 10 % y 46 %, en relación con el valor histórico de lluvia registrado. Los meses de agosto, septiembre y octubre fue inferior al 30 % del período poco lluvioso. Este aporte fue de 19,6 %, 28,4 % y 10 %, respectivamente.

En sentido general, en el período poco lluvioso se registraron 186,3 mm de lluvia horizontal, lo que representa el 38,9 % respecto a la lluvia total y en el período lluvioso, 418.8 mm, que representa el 31,2 %.

Los registros de lluvia horizontal obtenidos, muestran un nivel adicional de lluvia que recibe el ecosistema montañoso durante todo el año. Este tipo de precipitación no es medido ni registrado por el pluviómetro y el pluviógrafo vertical de las estaciones meteorológicas de montaña.

La ocurrencia de la lluvia horizontal y su aporte al ecosistema montañoso en ambos períodos está asociado al número de días con niebla en esta zona, lo que se muestra en la figura 6.

Como se observa, los meses de mayor cantidad de días con niebla son septiembre, noviembre y octubre, respectivamente; todos con anomalías positivas

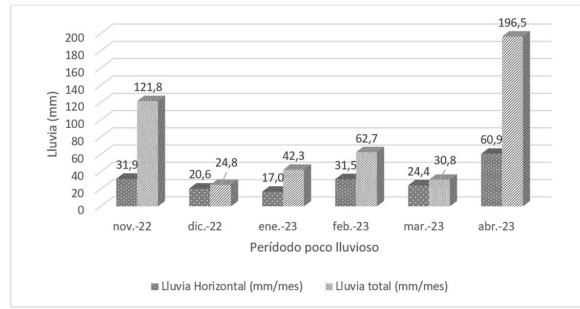


Figura 2. Comportamiento de la lluvia horizontal respecto a la lluvia total mensual en el periodo poco lluvioso noviembre 2022-abril 2023. Estación meteorológica Gran Piedra

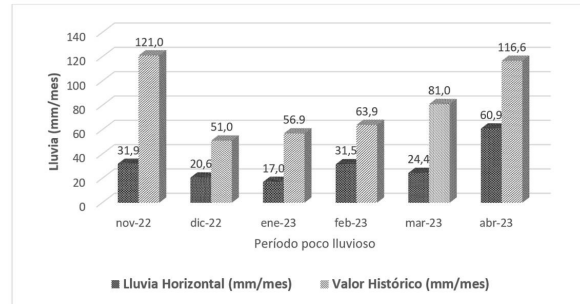


Figura 3. Comportamiento de la lluvia horizontal, respecto al valor histórico mensual, en el periodo poco lluvioso noviembre 2022 - abril 2023. Estación meteorológica Gran Piedra

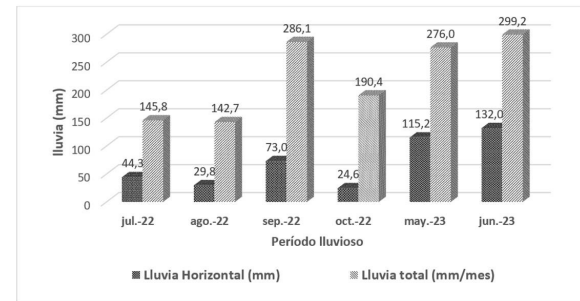


Figura 4. Comportamiento de la lluvia horizontal respecto a la lluvia total mensual en el periodo lluvioso julio 2022- junio 2023. Estación meteorológica Gran Piedra

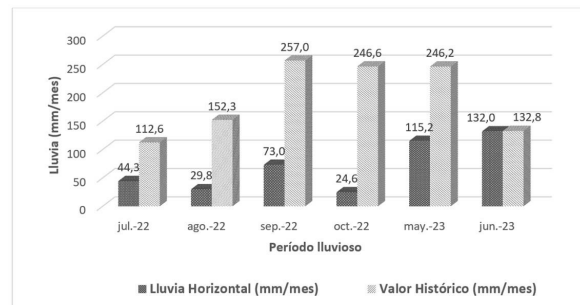


Figura 5. Comportamiento de la lluvia horizontal, respecto al valor histórico mensual, en el periodo lluvioso julio 2022- junio 2023. Estación meteorológica Gran Piedra



respecto a su valor histórico mensual (Borrero y col., 2022). Sin embargo, el resto de los meses presentó anomalías negativas respecto al valor histórico.

Es necesario tener en cuenta que si bien es importante el número de días con niebla su durabilidad en el tiempo permite realizar una mejor evaluación de su interacción con el ecosistema (Figura 7).

En esta figura se evidencia que no siempre los meses con mayor número de días con niebla coinciden con los meses de mayor cantidad de horas niebla. Los meses en que más horas niebla se reportó son: octubre, junio y noviembre, respectivamente. Sin embargo, octubre y noviembre coinciden en la relación entre días y horas con niebla, no son los meses de mayor ocurrencia de lluvia horizontal. Asimismo, junio coincide con el mes de mayor registro de este tipo de lluvia, por lo que se requiere evaluar el efecto de otras variables en la ocurrencia de esta.

En las figuras 8 y 9 se muestran la velocidad y la dirección del viento en el período evaluado, específicamente en el momento de ocurrencia de la niebla. Esta variable favorece el movimiento y dinámica de las partículas de agua en suspensión (niebla) y es considerada por algunos autores como un factor fundamental en la captación de la lluvia horizontal (Ruiz, 2022).

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es que para producirse la precipitación horizontal se necesitan parámetros físicos y meteorológicos adecuados. Por ejemplo, que la velocidad del viento sea superior a 6 km/h, ya que, de lo contrario las gotas de agua permanecen en suspensión y no son captadas por las ramas u hojas (Cerezal y Bayon, 2010; Sardiñas y Sainz, 2019). En los meses de estudio, durante la ocurrencia de eventos de niebla la velocidad del viento supera este valor. Esto coincide con estudios realizados en la mitad oriental de Cuba donde la velocidad horario promedio del viento supera valores entre 16,2 km/h y 32 km/h (Avila y col., 2023). En los meses junio y diciembre la velocidad promedio es mayor. Sin embargo, diciembre se encuentra entre los meses de menor registro de lluvia horizontal en el período evaluado.

Este comportamiento puede ser explicado si se analiza la dirección del viento (figura 9).

En el análisis de la dirección predominante del viento en los meses de mayor registro de lluvia horizontal (junio, mayo y septiembre, respectivamente) hay gran incidencia de vientos del sur y del suroeste. Sin embargo, en la figura 8 se muestra que la velocidad promedio del viento en los meses de mayo y septiembre es inferior a la de otros meses donde se registró menor cantidad de lluvia horizontal. Un análisis más detallado corroboró que en estos meses, durante los días en que predominaron vientos del sur y del suroeste, la velocidad del viento registrada fue de 20-30 km/h. De esta manera se puede considerar que vientos de esta dirección, con velocidades superiores a los 20 km/h favorecen la ocurrencia de lluvia horizontal en esa región.

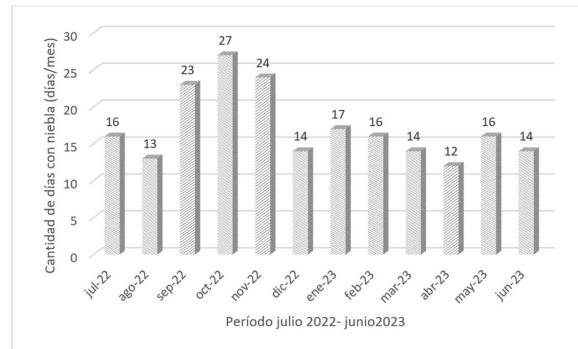


Figura 6. Comportamiento de los días con niebla, desde julio 2022 - junio 2023. Estación Meteorológica Gran Piedra

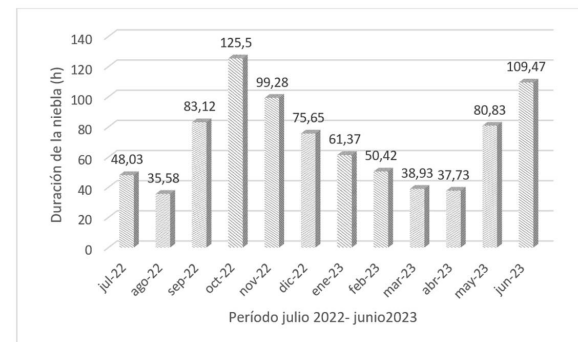


Figura 7. Duración de la niebla, desde julio 2022 - junio 2023. Estación meteorológica Gran Piedra

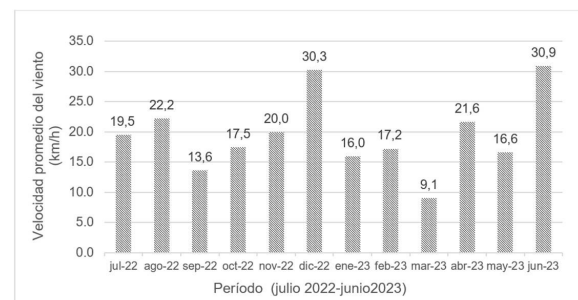
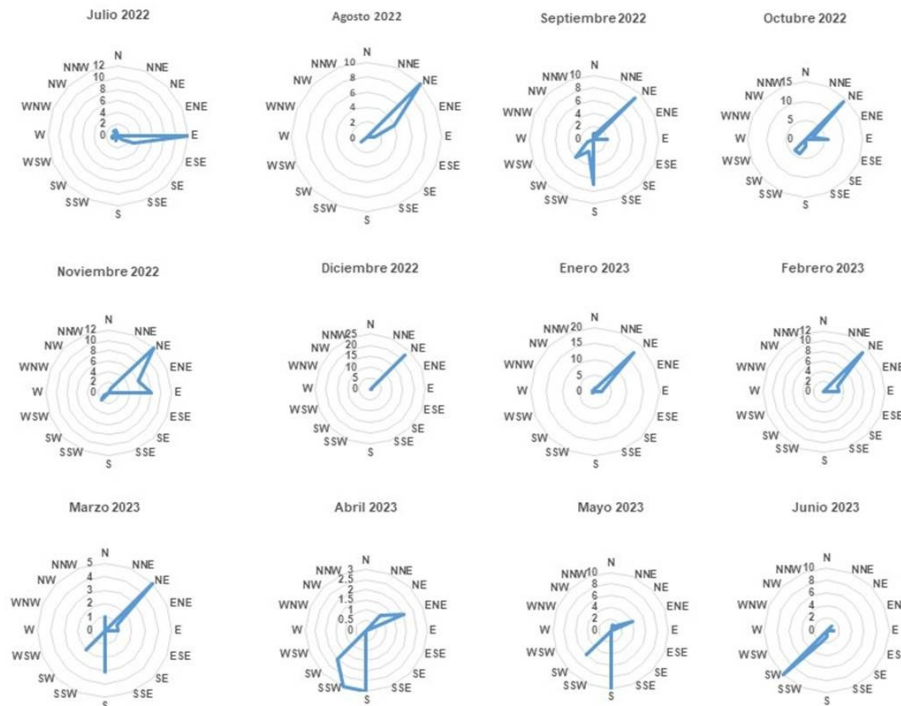


Figura 8. Comportamiento de la velocidad promedio del viento mensual, en el momento de ocurrencia de la niebla en (km/h). Estación meteorológica Gran Piedra, periodo julio 2022- junio 2023

En el caso particular del mes de abril se reafirma que la combinación de vientos de más de 20 km/h, con dirección S, SSW, SW y baja frecuencia de ENE, propician la formación de lluvia horizontal ya que se registran acumulados de 60,9 mm con tan solo 38 horas niebla y 12 días con niebla.

En los meses de octubre y noviembre se reportaron los mayores días con niebla, cercanos a su valor histórico, aunque octubre ligeramente por encima. Asimismo, se registró un número de horas niebla superior a 99 h. Por otra parte, la velocidad del viento es de 17,5 y 20 km/h. Sin embargo, la lluvia horizontal registrada no es significativa, lo que puede atribuirse a la dirección predominante del viento en ambos meses que fue del NE, E y ENE. Esto puede deberse a la



**Figura 9.** Comportamiento de la dirección del viento en el horario de ocurrencia de la niebla, en la Estación meteorológica de Gran Piedra, periodo julio 2022- junio 2023

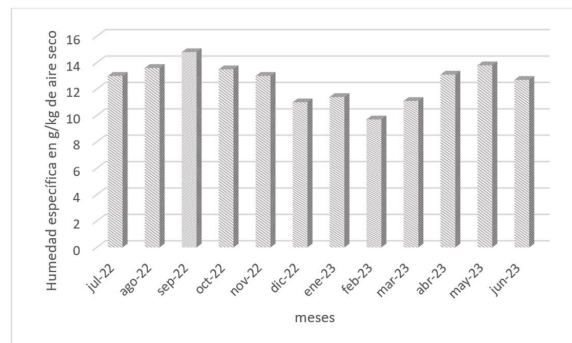
distancia que debe recorrer la masa de aire húmeda cuando ocurren vientos de estas direcciones.

Los altos volúmenes de lluvia horizontal en los meses de abril, septiembre, mayo y junio se deben, fundamentalmente, a la cercanía del mar Caribe central, que en presencia de algunos patrones sinópticos aportan masas de aire con altos niveles de humedad específica entre 12,7-14,8 g/kg aire seco (figura 10).

El comportamiento de la humedad específica durante la ocurrencia de niebla en el período analizado se encuentra entre 9,7 y 14,8 g/kg de aire seco. Esto representa entre 9,7 y 14,8 mm de agua en suspensión, lo cual es significativo para el ecosistema y su volumen de retención en el mismo estará en correspondencia con la dirección y velocidad del viento, así como el patrón sinóptico imperante durante los eventos de niebla.

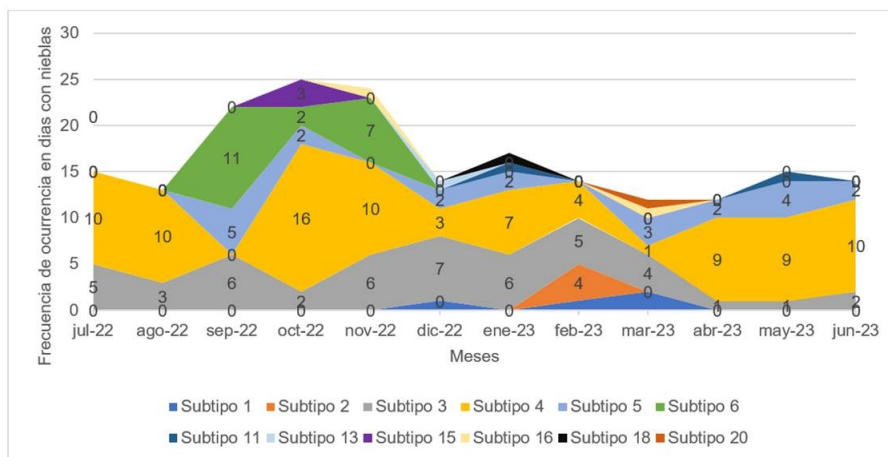
En la figura 11 se muestran los patrones sinópticos presentes en días con niebla durante el período evaluado, los cuales favorecen la ocurrencia de lluvia horizontal.

El subtipo de mayor ocurrencia es el Subtipo 4, que corresponde a la influencia lejana del anticiclón subtropical del Atlántico, imponiendo la influencia del sector divergente de ondas y hondonadas. En segundo lugar, el Subtipo 3, que corresponde a la influencia lejana del anticiclón subtropical del Atlántico, imponiendo flujo extendido no perturbado sobre Cuba. Estos patrones sinópticos se comportaron en correspondencia con los valores históricos reportados durante el período (Torres y col., 2020).



**Figura 10.** Comportamiento de la humedad específica durante la ocurrencia de los eventos de niebla, julio 2022 - junio 2023 de la Estación meteorológica Gran Piedra

En el mes de septiembre predominaron tres subtipos, el subtipo 5, el cual corresponde a débil gradiente barométrico sobre Cuba, esto favorece los procesos convectivos en el horario vespertino, fundamentalmente, con la formación de nubes orográficas y niebla de montaña. En segundo lugar, el subtipo 3, el cual corresponde a la influencia lejana del anticiclón subtropical del Atlántico, que impone flujo extendido del Este y aporta alto contenido de humedad. Sin embargo, el que mayor cantidad de lluvia horizontal generó es el subtipo 6, debido a la influencia de ciclones tropicales sobre el área de investigación. En este mes predominaron vientos del Sur, SW y NE, este último con perturbaciones de tormentas tropicales en la región oriental de Cuba, generando condiciones de inestabilidad y alto contenido de humedad.



**Figura 11.** Frecuencia de los Subtipos de Situaciones Sinópticas, en los días con niebla, julio 2022 - junio 2023 de la Estación meteorológica Gran Piedra

En sentido general, todos los patrones sinópticos representados condicionaron la formación de niebla en la zona de estudio y, en combinación con las otras variables analizadas, contribuyeron a la ocurrencia de lluvia horizontal en la región.

Todo lo anterior es importante debido a que las montañas se consideran “puntos críticos” climáticos donde el cambio puede anticipar o amplificar lo que está ocurriendo en otros lugares (Pepin y col., 2022).

Por esta razón, la cuantificación de la lluvia horizontal, brinda una información agroclimático valiosa. La misma permite un acercamiento al balance hídrico de la montaña y manifiesta la necesidad de la reforestación en dicha zona. Su aporte tendrá más significación en la medida que estén reforestadas todas las áreas posibles. Esto permitirá un mejor desempeño en la proliferación de las asociaciones de líquenes y otras especies, así como un alza en las asociaciones simbióticas entre los diferentes estratos del bosque con una mayor conservación de la humedad.

### CONCLUSIONES

1. La región montañosa de la Sierra de la Gran Piedra es propicia para la ocurrencia de lluvia horizontal en todas las épocas de año por sus características geográficas.
2. Los vientos predominantes del S, SW y SSW, con velocidades superiores a 6 km/h favorecen el registro de lluvia horizontal en la región.
3. Los patrones sinópticos de mayor frecuencia durante el período de estudio que provocan mayor cantidad de lluvia horizontal son los subtipos 4 y 3.
4. El análisis integrado de los factores del clima y patrones sinópticos permite una mejor explicación de la ocurrencia de la lluvia horizontal en la región.
5. La determinación de la lluvia horizontal en el ecosistema montañoso de la Gran Piedra debe conside-

rarse como un parámetro importante en los planes de reforestación y manejo de la región.

### REFERENCIAS

- Agudelo, N., Mora, J. M., Pérard, S., Solórzano, J. C. J. 2012. Extensión del Bosque Nublado y su Contribución de la Lluvia Horizontal a la Precipitación Total en la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. *Ceiba*, 53 (2), 109-123.
- Altamirano-León, S., Ramírez-Martínez, J. C., Díaz-Porras, D. F., Balam-Narváez, R., Luna-Vega, I., Contreras-Medina, R. 2022. Climate change and impact on distribution of tree species in the cloud forest of Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 28 (2).
- Álvarez Balanqué, M. T., Martínez Mustelier, M., Zapata Despaigne, L. 2017. Comportamiento de los parámetros climatológicos en las estaciones meteorológicas Universidad de Oriente y Gran Piedra en el periodo 1981\_2014.
- Arellano-Escudero, N. 2017. El desierto de atacama como laboratorio: Experimentos y tecnologías de la energía solar (1872-1981). *Aldea Mundo*, 22 (44), 81-89.
- Avila, D. M. P., Rodríguez, A. R., Torres, E. S. 2023. EMA del pronóstico a corto plazo de la rapidez del viento para el parque eólico Gibara I según el TSS influyente. *Revista Cubana de Meteorología*, 29 (3).
- Borrero, L. D., Balanqué, M. T. Á., López, D. M., Ferrer, L. M., Moreno, A. L. B., Moracén, U. M. 2022. Caracterización de las variables climáticas en la zona montañosa Gran Piedra. *Revista Cubana de Meteorología*, 28 (3).
- Bruijnzeel, L. A., Hamilton, L. S. 2000. Decision time for cloud forests.
- Cárdenas-Vargas, M. C., García-Valbuena, C. A. 2019. Medición de la condensación de lluvia

- horizontal con tres estructuras. *Producción+ Limpia*, 14 (1), 94-109.
- Cerezal, J., Bayon, J. 2010. Fundamentos y tecnologías para la captación y uso del agua procedente de la lluvia horizontal en los montes canarios. *Revista Montes*, 100 (1), 15-20.
- Chang Bermúdez, E., Cepena Almaguer, M. 2019. Caracterización bioclimática de pinares de Mayarí para su explotación como turismo sostenible y sustentable.
- Harb, O., Salem, M. S., Abd EL-Hay, G., Makled, K. M. 2016. Fog water harvesting providing stability for small Bedwe communities lives in North cost of Egypt. *Annals of Agricultural Sciences*, 61 (1), 105-110.
- Lee, R. L., Saavedra, F. H. 2014. Acidificación de las precipitaciones: causas, efectos, condiciones meteorológicas, políticas de gestión y estado actual en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 20 (2), 98-108.
- Montecinos, S., Carvajal, D., Cereceda, P., Concha, M. 2018. Collection efficiency of fog events. *Atmospheric Research*, 209, 163-169.
- Moratiel Yungueros, R., Martínez-Cob, A., Tarquis, A., Snyder, R. 2016. Soil water balance correction due to light rainfall, dew and fog in Ebro river basin (Spain).
- Olivares, B. O., Parra, R. M., Cortez, A. 2017. Caracterización de los patrones de precipitación en el estado Anzoátegui, Venezuela. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, 37 (3), 353-365.
- Palacios, S. V. B., Reyes, A. L. D., Hoy, S. M. M. 2018. Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia. *INVENTUM*, 13 (25), 53-60.
- Pepin, N., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., y col. 2022. Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. *Reviews of Geophysics*, 60 (1), e2020RG000730.
- Reyes, O. J., Pelicié, O., Vinent, C., Labrada, L. M., Semanat, E., Fornaris, E. 2005. Estudio fisionómico y funcional de las pluvisilvas montanas de la Gran Piedra, Cuba. *Foresta veracruzana*, 7 (2), 7-14.
- Ruiz, J. J. B. 2022. El submodelo matemático de simulación de la lluvia horizontal en la isla de Tenerife. *Cimbra: Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas*, (422), 27-35.
- Sánchez-Velásquez, L. R. 2014. Bosque mesófilo de montaña: Un sistema con problemáticas que exigen un enfoque complejo.
- Sardiñas, S. B., Sainz, C. R. 2019. Las nieblas en la provincia Cienfuegos, patrones sinópticos asociados. *Revista Cubana de Meteorología*, 25.
- Schunk, C., Trautwein, P., Hruschka, H., Frost, E., Dodson, L., Derhem, A., y col. 2018. Testing water yield, efficiency of different meshes and water quality with a novel fog collector for high wind speeds. *Aerosol and Air Quality Research*, 18 (1), 240-253.
- Stadtmüller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo: una revisión bibliográfica.
- Torres, E. S., Estela, L. B. L., Suárez, L. M. S., Naranjo, Y. V. 2020. Catálogo de los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba