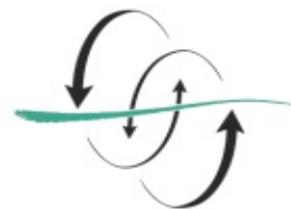


FACULTAD
DE CIENCIAS
DEL MAR



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

**Análisis de la
influencia del océano
en la generación de
precipitación
horizontal en Gran
Canaria, Islas
Canarias, España**

Autora: Paola Alejandra
Echeverría Garcés

Curso 2019/2020

Tutor: Dr. Francisco Jose Machín
Jiménez

Trabajo Fin de Título para la
obtención de título Máster en
Oceanografía
Especialidad en Procesos en Océano
Abierto

Análisis de la influencia del océano en la generación de precipitación horizontal en Gran Canaria, Islas Canarias, España

Autora: Paola Alejandra Echeverría Garcés.
Becaria de la Fundación Carolina.
Facultad: Ciencias del Mar.
Campus Universitario de Tafira.
Titulación: Máster en Oceanografía.

Tutor: Dr. Francisco José Machín Jiménez.
Profesor Titular de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
Facultad: Ciencias del Mar.
Campus Universitario de Tafira.
Departamento: Física.

Las Palmas de Gran Canaria, 14 de julio de 2020.

Ing. Paola Echeverría Garcés

Dr. Francisco José Machín Jiménez

Índice

1. Introducción	1
1.1. Condiciones climáticas	2
1.2. Oscilación del Atlántico Norte	3
1.3. Objetivo	4
2. Metodología	5
2.1. Zona de estudio	5
2.2. Análisis climatológico	5
2.3. Procesamiento de datos climatológicos	7
2.4. Análisis de la precipitación horizontal y precipitación sinóptica	7
2.5. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	8
3. Resultados	8
3.1. Condiciones climáticas	8
3.2. Análisis de la precipitación horizontal y variables climatológicas	9
3.3. Precipitación en las estaciones meteorológicas	14
3.4. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	16
4. Discusión	17
4.1. Condiciones climáticas	17
4.2. Análisis de la precipitación horizontal y variables climatológicas	18
4.3. Precipitación en las estaciones meteorológicas	19
4.4. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	20
5. Conclusiones	20

Índice de figuras

1.	Isla Gran Canaria y estaciones meteorológicas.	6
2.	Distribución media diaria de la temperatura superficial del océano y la velocidad del viento.	9
3.	Precipitación media semanal de las estaciones meteorológicas en un año promedio.	10
4.	Temperatura media diaria de las estaciones meteorológicas en un año promedio.	11
5.	Climograma de precipitación media anual y horizontal en Valleseco. Relación en porcentaje de la precipitación horizontal con respecto a la precipitación media anual a lo largo del año.	12
6.	Relación entre la velocidad del viento sobre el océano y la precipitación horizontal en Valleseco.	13
7.	Relación entre la temperatura superficial sobre el océano y la precipitación horizontal en Valleseco.	13
8.	Variabilidad anual de la precipitación total acumulada en las estaciones meteorológicas.	15
9.	Oscilación del Atlántico Norte anual y estacional en el período de estudio.	17

Índice de tablas

1.	Resumen de las principales características de las estaciones meteorológicas.	6
2.	Coefficiente de correlación de la precipitación horizontal con la velocidad del viento, la temperatura superficial del océano y la temperatura del aire en Valleseco.	14
3.	Coefficiente de correlación de la precipitación de estaciones meteorológicas.	15
4.	Coefficiente de correlación de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) con la precipitación en las estaciones meteorológicas.	16
5.	Coefficiente de correlación de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) con la velocidad del viento y la temperatura superficial del océano. . .	17

Resumen

Las Islas Canarias se localizan al este de la costa africana y sus condiciones climáticas singulares se deben a la posición geográfica en la que se encuentran, a la influencia del océano circundante y factores atmosféricos, como los vientos alisios del noreste, los cuales inciden sobre el perfil de las islas. El archipiélago se encuentra rodeado por una capa de nubes a lo largo del año, que es más notoria en las islas de mayor elevación. Este es el caso de Gran Canaria, que gracias a la incidencia de los vientos alisios y a su orografía, el norte de la isla se encuentra cubierta por esta capa nubosa, principalmente en verano, que es considerado un período seco por la escasez de precipitaciones, mientras que la parte sur es una zona seca. En esta investigación se examinó la capacidad de generación de este recurso hídrico para constatar su aporte a la precipitación total en temporada seca, por medio de un análisis de las principales variables climatológicas que son la precipitación y temperatura del aire en cuatro puntos distribuidos en la parte norte (Valleseco y San Cristóbal), este (Gando) y sur (Mogán) de Gran Canaria, y la velocidad del viento y la temperatura superficial del mar en una región delimitada en el océano de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ al norte de la isla. Se obtuvo que la precipitación horizontal producida en un año promedio es de 180.55 mm, y representa el 74 % de la precipitación total en verano.

1. Introducción

Las Islas Canarias, se localizan a 100 km al oeste de la costa sahariana africana, en la zona sureste del Atlántico Norte, en un área comprendida entre los 27°N y 29°N de latitud y 14°W a 18°W de longitud (Luque et al., 2013; Custodio and Cabrera, 2002). Este archipiélago es de origen volcánico, se desarrolló sobre una litósfera oceánica en el Jurásico debido al desplazamiento de la placa africana hacia el este sobre un hotspot (Carracedo et al., 1998); las islas occidentales se encuentran en formación mientras que las orientales son las más viejas y, por tanto, las más desarrolladas (20Ma). Estas últimas han sufrido erosión por un período de tiempo más prolongado, lo que permite que se formen depósitos de sedimentos y barrancos (Custodio and Cabrera, 2002).

En este archipiélago la precipitación a nivel del mar es escasa, variando entre 50 y 100 mm/año, e incrementa ligeramente conforme aumenta la elevación. En las islas altas, como es el caso de Gran Canaria, se produce un efecto orográfico sobre las masas de aire que son transportadas por los vientos alisios, derivando en precipitaciones cuantiosas en las pendientes del noreste, y dando lugar a zonas áridas en el lado del sotavento (Custodio and Cabrera, 2002; Rodriguez-Gonzalez et al., 2009). Este proceso está ligado al efecto termodinámico Foehn, en el que las masas de aire que impactan en el barlovento se enfrían conforme ascienden por la pendiente de la isla, lo que da lugar a la condensación, formación de nubosidad, y generalmente, precipitación, con lo que hay una descarga de humedad en el ambiente y una liberación irreversible de calor latente (Elvidge and Renfrew, 2016). Sin embargo, los suelos permeables de las islas impiden que esta precipitación se convierta en escorrentía superficial (Custodio and Cabrera, 2002). Como consecuencia de estos procesos, las masas de aire que se desplazan hacia el sotavento son más cálidas y secas (Elvidge and Renfrew, 2016).

En Gran Canaria la disponibilidad de agua dulce superficial es limitada. Las principales fuentes de este recurso para suministro son la explotación de agua subterránea, generalmente salobre, desalación de agua de mar y cursos permanentes de agua, pero dado que en la mitad del norte de la isla no todos los afloramientos son importantes, este recurso es descargado hacia el mar, por lo que existen zonas extensas en las que el agua dulce es escasa (Custodio and Cabrera, 2002; Zapata and Navarro, 2004).

En Canarias existe una estructura vertical anómala de la atmósfera, que hace que exista una capa de inversión térmica a los 1000 m de altura, aproximadamente. Por debajo de esta capa se encuentran los vientos alisios que traen consigo masas de aire cargadas de humedad, y por encima de esta se encuentran vientos con dirección oeste y suroeste. Esto confiere al archipiélago un clima tropical en las zonas bajas y

templado en las zonas de mayor elevación (Marzol Jaén and Máyer Suárez, 2012). Esta capa de inversión varía desde los 600 m en verano hasta los 1700 m en invierno (Antequera, 1996). Este proceso limita la formación de nubosidad por desarrollo vertical convectivo y, por ende, eventos de precipitación productiva. No obstante, genera una capa nubosa permanente en el norte de las islas de mayor elevación (Marzol Jaén and Máyer Suárez, 2012). Esta capa representa un recurso hídrico importante para las zonas secas, especialmente en el verano. El agua proveniente de la niebla puede ser captada por medio de la vegetación o por colectores artificiales (Giambelluca et al., 2011; Ritter et al., 2015; García-Santos and Bruijnzeel, 2011). Recientemente, en Gran Canaria, se ha puesto en marcha el proyecto LIFE NIEBLAS para investigar el potencial de este recurso, con el objetivo de mitigar los impactos del cambio climático en el sur de Europa y zonas ultraperiféricas de la Unión Europea (Instituto Tecnológico de Canarias, 2020).

1.1. Condiciones climáticas

Gran Canaria se caracteriza por presentar diferencias en las condiciones climáticas entre el lado norte y sur de la isla. En el primero, el clima es temperado y húmedo, en donde las condiciones húmedas y la nubosidad son predominantes, mientras que en el sur el clima es más cálido y seco. Esto ocurre el 90 % del tiempo durante el verano y el 70 % en invierno (Sancho et al., 1992), y se debe a la influencia de los vientos alisios con dirección hacia el noroeste, y también a la orografía de la isla, que marca un gradiente altitudinal, dando lugar a variaciones en las condiciones climáticas. En la zonas costeras, la precipitación es menor a 250 mm por año, por lo que se consideran áreas áridas y semiáridas. Las regiones de elevación moderada, se caracterizan por ser temperadas, con valores de precipitación entre 250 mm y 800 mm por año, y en las zonas de mayor altitud hasta la cima, las condiciones climáticas son más húmedas y frías, con valores de precipitación que superan los 800 mm por año (Marzol, 1988).

La precipitación no es abundante en el archipiélago de Canarias, aunque es frecuente la presencia de una capa de estratocúmulos conocida como “mar de nubes”. Este último se genera por la orografía de las islas y por factores como el Anticiclón subtropical del Atlántico, situado generalmente sobre las Islas Azores, por la presencia de una capa de inversión de subsidencia presente bajo los 2000 m de elevación (Sancho et al., 1992), y una corriente oceánica fría (Marzol, 1988, 2002). Esta zona se caracteriza por tener baja visibilidad debido a la neblina y por alta humedad atmosférica (Roach, 1995).

La influencia directa de los vientos alisios sobre las islas Canarias contribuye a su estabilidad climática a lo largo del año. El centro de altas presiones de Azores actúa

como un escudo contra el centro de bajas presiones del Atlántico por debajo de los 30°N. Estas islas están rodeadas por la corriente fría de Canarias, que viene del norte e interactúa con la corriente del Golfo. Los vientos alisios chocan en el frente norte de las islas, trayendo consigo por advección masas de aire cargadas de humedad que se chocan con las pendientes de las islas y se desplazan por las mismas, provocando condensación y una capa nubosa obstruida por la estructura vertical estratificada típica (Font Tullot, 1956).

Debido a este proceso, es posible diferenciar tres capas en los perfiles de las islas. En las zonas bajas se encuentra el aire fresco y húmedo debido a la superficie fría del mar atribuida a la corriente de Canarias. Entre los 700 m y 1500 m de elevación, se encuentra una capa de inversión en donde la temperatura incrementa hasta 6°C e impide procesos convectivos, incluso los que son influenciados por la superficie del terreno. Por debajo de esta capa el vapor de agua condensa y origina capas de nubes, y por encima de esta se encuentran masas de aire seco (Herrera et al., 2001). Esta configuración hace que el clima en el archipiélago sea estable y seco.

Las precipitaciones se producen principalmente cuando existen perturbaciones en la capa de inversión, ya sea en la superficie o en niveles superiores de la atmósfera (Herrera et al., 2001). La precipitación en Gran Canaria está determinada principalmente por su relieve, haciendo que el norte sea más húmedo, con 500 mm al año aproximadamente, con frecuencias de 65 días, y que la parte sur sea más seca, con 200 mm de precipitación al año y frecuencias de 20 días (Herrera et al., 2001). En el archipiélago es posible observar una distribución temporal estacional de la precipitación, con precipitaciones más fuertes en invierno y otoño, y escasas entre abril y septiembre (Herrera et al., 2001).

Las zonas altas presentan menor temperatura que las zonas costeras y que la superficie del océano. La diferencia que existe entre la temperatura del aire y en el océano es un factor determinante en el intercambio de calor y humedad, por lo que es imprescindible para el estudio y entendimiento del ciclo hidrológico (Borges et al., 2004).

1.2. Oscilación del Atlántico Norte

El índice climático de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés) corresponde a una oscilación meridional de masas atmosféricas entre su extremo norte, en el sistema de bajas presiones subpolar de Islandia, conocido como “baja de Islandia”, y su extremo sur cerca de Azores o “alta de Azores”, según lo describen varios autores (Jones et al., 1997; Cook, 2003; Van Loon and Rogers, 1978). A este índice se lo considera una medida de los vientos alisios del noreste sobre la cuenca este del Atlántico (Slonosky and Yiou, 2002), y está relacionado con

los patrones de variabilidad climática durante el invierno en la zona extropical del hemisferio norte, lo que incide sobre la temperatura, precipitación y la circulación atmosférica en un área extensa (Cook, 2003).

La manifestación más fuerte en términos climatológicos de este índice ocurre en invierno (Diciembre a Marzo), cuando el gradiente de presión de norte a sur es mayor entre sus quasi centros de acción (Jones et al., 1997), por lo que su variabilidad temporal se analiza por medio de la diferencia de la presión a nivel del mar normalizada entre la alta de Azores y la baja de Islandia para el invierno. Varios estudios establecen que la NAO tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en el continente europeo, de modo que en su fase positiva, las precipitaciones son más bajas que el promedio en el sur de Europa, mientras que en la fase negativa las condiciones son más húmedas y existe mayor inestabilidad atmosférica (Trigo et al., 2004; Queralt et al., 2009).

1.3. Objetivo

El objetivo principal de este estudio fue determinar si la temperatura superficial del océano, así como la velocidad del viento que viaja sobre el océano, inciden sobre la cantidad de precipitación horizontal que se genera en las pendientes del norte de Gran Canaria, expuestas a los vientos alisios, ya que esta podría ser considerada una fuente potencial de agua en períodos secos. Esto se llevó a cabo mediante el análisis de las condiciones de precipitación y temperatura de cuatro estaciones meteorológicas que son Valleseco, San Cristóbal, Gando y Mogán, con el fin de determinar las diferencias que existen de estas variables entre el barlovento y el sotavento de Gran Canaria, así como también la temperatura superficial del océano y la velocidad del viento en una región próxima al norte de la isla, y de esta manera establecer la relación que existe entre estas variables y la precipitación horizontal. Para el análisis de esta última, definida por Hildebrandt and Eltahir (2008) como gotas de agua de las nubes, que representan una entrada adicional a la precipitación, se puso énfasis en la zona de Valleseco, ya que es una zona de incidencia de los vientos alisios que cuenta con precipitaciones considerables, y además posee un suelo permeable óptimo para la filtración de agua que aflora en manantiales y cursos de agua caudalosos, y que son utilizados para el aprovechamiento y abastecimiento de agua para la población de la ciudad de Las Palmas (Galván González, 1995; Cerezal and Moreno, 2013). Adicionalmente, se pretendió observar la relación que existe entre la NAO, precipitación, temperatura superficial del mar y velocidad del viento.

En este trabajo se describe brevemente la zona de estudio, se detallan los datos, métodos y procedimientos que se aplicaron para tratar cada variable oceánica y climatológica, y posteriormente, se pretende presentar los resultados y su respectiva

conclusión, con la misma secuencia de la metodología. Finalmente, se muestran las conclusiones que se han obtenido luego del desarrollo del presente estudio.

2. Metodología

2.1. Zona de estudio

La isla de Gran Canaria se localiza en el centro del archipiélago, con un área de 1560 km². Esta isla tiene una forma circular y un diámetro de 45 km, aproximadamente (Menéndez et al., 2007). El punto más alto es el Morro de la Agujereada, está ubicado al sureste y alcanza los 1957.3 m de elevación¹ debido a la orografía y a la incidencia de los vientos alisios, el perfil norte de la isla es húmedo mientras que la zona sur es árida. En este estudio, se analizó la variabilidad temporal de las variables climáticas en cuatro estaciones meteorológicas localizadas a diferente altitud, tanto en el norte como en el sur de Gran Canaria. Las estaciones del norte analizadas corresponden a Valleseco, ubicada a 980 m de elevación, y San Cristóbal ubicada en la zona costera, a 55 m de elevación². También se tomó en cuenta a la estación meteorológica de Gando, localizada a 24 m de elevación, al este de la isla, y por último, la estación de Mogán, que se encuentra en el extremo suroeste de Gran Canaria a una elevación de 10 m (figura 1).

2.2. Análisis climatológico

Con el fin de determinar la relación que existe entre la temperatura superficial del océano (SST), la velocidad del viento (WS), y la precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de Valleseco, San Cristóbal, Gando y Mogán, se obtuvieron datos de cada una de estas variables desde el 1 de enero de 2003 hasta el 31 de diciembre de 2019 (Tabla 1). Se escogió este período de estudio debido a que el registro de precipitación disponible en Valleseco inicia en el año 2003. Se delimitó una zona en el océano que sea representativa para analizar los efectos que tiene la SST y la WS sobre las demás variables climatológicas, en especial, la precipitación horizontal. Este cuadrante abarca un área entre los 28.5°N a 29.5°N de latitud y 16°W a 15°W de longitud (Figura 1). Los datos diarios de SST son parte de los productos de OSTIA *global foundation Sea Surface Temperature*^{3,4} y tienen una resolución espacial horizontal de 0.05°x0.05°, mientras que los datos de velocidad del viento con intervalos de tiempo de seis horas son parte de IFREMER

¹<https://visor.grafcan.es>

²<http://www.aemet.es>

³<http://ghrsst-pp.metoffice.com/ostia/>

⁴Stark et al. (2007); Donlon et al. (2012)

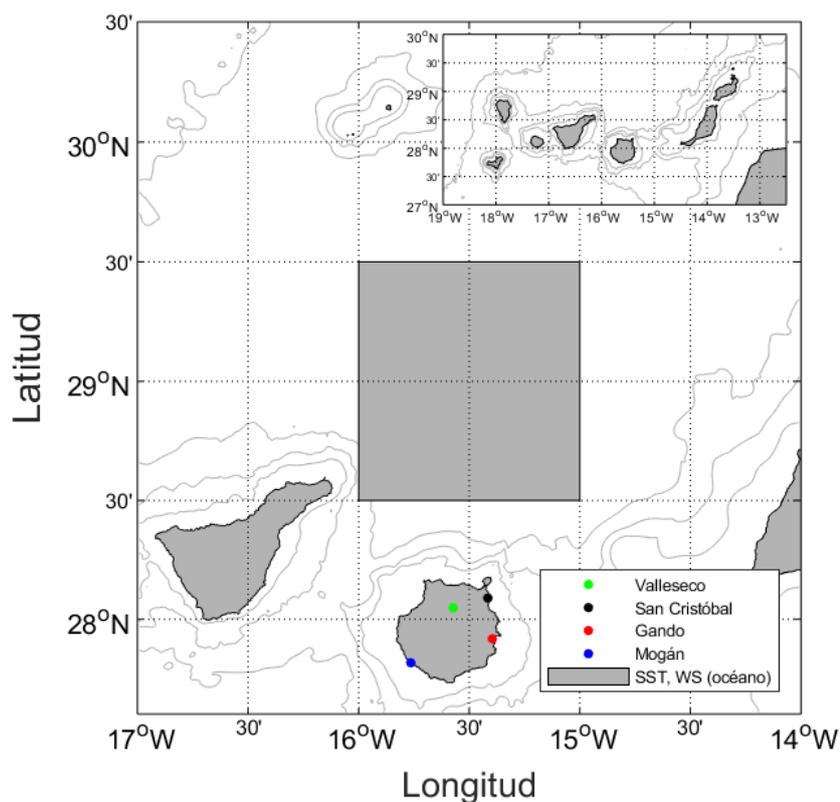


Figura 1: Isla Gran Canaria y estaciones meteorológicas.

Tabla 1: Resumen de las principales características de las estaciones meteorológicas.

Estación	Valleseco	San Cristóbal	Gando	Mogán
Longitud	15° 34' 22" O	15° 24' 58" O	15° 23' 43" O	15° 45' 51" O
Latitud	28° 2' 54" N	28° 5' 23" N	27° 55' 4" N	27° 48' 59" N
Altitud (m)	980	55	24	10
Temperatura media diaria (°C)	15.93	21.3	21.34	22.12
Precipitación media diaria (mm)	1.79	2.62	0.36	0.98
Precipitación media anual (mm)	654.38	136.44	129.83	55.1

CERSAT *Global Blended Mean Wind Fields*⁵, y tienen un resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Estos datos se obtuvieron de la información satelital de datos oceánicos proporcionada por el Programa Copernicus⁶. Los datos diarios de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas fueron proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), a través de su servicio OpenData⁷ cuando la información se encontraba disponible y mediante formulario en caso contrario.

⁵<http://cersat.ifremer.fr>

⁶<https://marine.copernicus.eu/>

⁷<https://opendata.aemet.es>

2.3. Procesamiento de datos climatológicos

A partir de la información mencionada anteriormente, se generó un año promedio de cada variable para observar su comportamiento y poder compararlas en condiciones normales. La precipitación se calculó en escala temporal diaria y semanal para un año promedio en todas las estaciones meteorológicas, mientras que para la temperatura se estimó únicamente el valor medio diario (Figuras 2, 3 y 4).

Los datos de velocidad del viento y temperatura superficial del mar en la región en el océano fueron promediados a nivel diario, para construir un año promedio y hacer el análisis respectivo (Figura 2).

2.4. Análisis de la precipitación horizontal y precipitación sinóptica

Valleseco se considera una zona productiva en términos de agua en Gran Canaria, gracias a su posición geográfica en el norte de la isla. Por esta razón, es importante conocer la cantidad de precipitación horizontal que se genera en esta zona. En este contexto, el procedimiento que se efectuó para estimar la precipitación horizontal fue la eliminación, en Valleseco, del registro de precipitaciones de Gando y Mogán, dado que estas últimas son locaciones en donde las precipitaciones se deben únicamente a eventos sinópticos, obteniendo así las precipitaciones debidas a eventos locales en Valleseco, como es el caso de la precipitación horizontal. Con base en esta información, se procedió a crear el climograma correspondiente para Valleseco y evaluar su comportamiento estacional debido a la variabilidad en la precipitación, así como también su relación con las demás variables climatológicas.

En cuanto a la precipitación sinóptica en Valleseco, esta se calculó mediante la resta de la precipitación total y la precipitación horizontal. Posteriormente, se estimó la precipitación media estacional para todas las estaciones y en el caso de Valleseco también se determinó la estacionalidad para la precipitación sinóptica.

Al tratarse de una isla, las características físicas de la masa de agua que la rodea pueden tener influencia sobre esta y, además, dado que la estación de Valleseco está ubicada en el norte de Gran Canaria, está expuesta a los vientos alisios, por lo que su intensidad puede afectar de cierta manera a la generación de precipitación horizontal. Por esta razón, se realizó una correlación de la temperatura del aire, la temperatura superficial del océano y la velocidad del viento con la precipitación horizontal estacional en Valleseco. También se correlacionó la precipitación sinóptica estacional de todas las estaciones meteorológicas para constatar la distribución de precipitación debido al efecto Foehn.

2.5. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

Dado que el índice climático de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) condiciona los patrones de variabilidad de la temperatura, precipitación y la circulación atmosférica (Cook, 2003) es importante conocer o cuantificar su influencia sobre estas variables.

Se analizó la variabilidad temporal anual y estacional de la NAO, a partir de la información disponible en Climatic Research Unit⁸, que conforma la base de datos que contiene el índice NAO Gibraltar-Islandia estimado de los datos mensuales normalizados de la presión a nivel del mar (SLP) (Jones et al., 1997). Con el fin de determinar la relación que existe entre el índice climático de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la precipitación en las cuatro estaciones analizadas en este estudio, se correlacionó la precipitación anual con los valores tanto anuales como estaciones de la NAO.

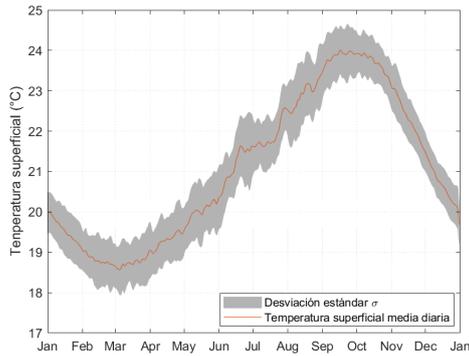
Adicionalmente, se correlacionó la anomalía de la velocidad del viento y la anomalía de la temperatura superficial del mar con la NAO tanto a nivel anual como estacional. La estimación de la anomalía de la temperatura superficial del mar y la velocidad del viento se llevó a cabo por medio de la reproducción del año promedio de cada variable para los 17 años que corresponden al período de estudio entre el año 2003 y 2019, y estos valores se restaron de los datos originales respectivos para luego ser divididos por su desviación estándar y así obtener la anomalía normalizada.

3. Resultados

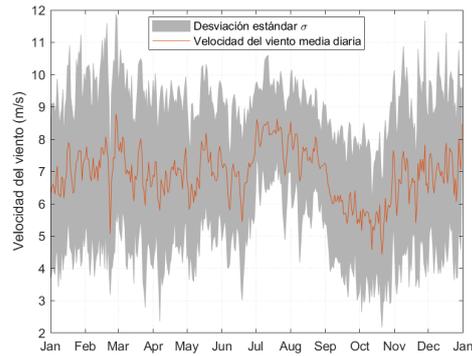
3.1. Condiciones climáticas

Luego de hacer el tratamiento de datos de temperatura superficial del mar y velocidad del viento, y de obtener un año promedio en la región delimitada en el océano, se observó que la temperatura superficial del océano incrementa desde marzo hasta septiembre, en todos los años, cuando alcanza su máximo, con un valor medio de 24°C (Figura 2). A partir de este punto, la SST empieza a disminuir y alcanza su mínimo durante el invierno, en el mes de febrero, registrando un valor medio de 18.6°C. Por otra parte, la velocidad del viento se estabiliza durante el verano y parcialmente en otoño, cuando alcanza los valores más bajos, comportamiento que se replica todos los años. La velocidad del viento entre julio y septiembre varía entre 6.7 m/s y 8.6 m/s, mientras que entre septiembre y noviembre, se encuentran velocidades del viento entre 4.4 m/s y 6.1 m/s. Es posible observar que la desviación

⁸<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>



(a) Temperatura superficial del océano.



(b) Velocidad del viento media anual sobre el océano.

Figura 2: Distribución media diaria de la temperatura superficial del océano y la velocidad del viento.

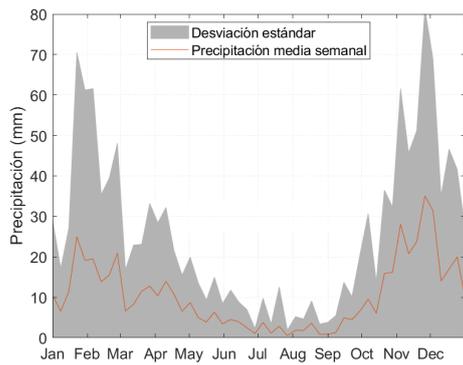
estándar se hace menor en la época de verano (Figura 2).

En condiciones sinópticas en la estación de Gando no existe precipitación en la época de verano, pero sí en la estación de Valleseco y es atribuida a la nubosidad de la zona. En el caso de San Cristóbal y Mogán se registran precipitaciones en verano, aunque son poco significativas. Como se espera, en todas las estaciones la precipitación es mayor durante invierno y otoño (Figura 3).

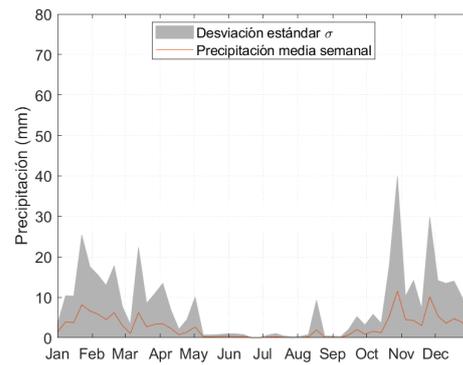
La temperatura media diaria en todas las estaciones meteorológicas se comporta de manera similar, siendo más baja entre noviembre y febrero, cuando llega a su mínimo, de 10.1°C, 17.5°C, 17.2°C y 18.2°C en Valleseco, San Cristóbal, Gando y Mogán, respectivamente; a partir del mes de marzo, la temperatura empieza a aumentar hasta llegar a su valor máximo en septiembre, con 23.8°C, 21°C, 25.7°C y 26.4°C en Valleseco, San Cirstóbal, Gando y Mogán, respectivamente. Estos resultados se muestran en la figura 4.

3.2. Análisis de la precipitación horizontal y variables climatológicas

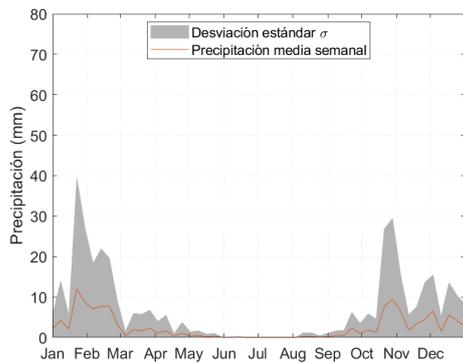
Con base en los resultados obtenidos de precipitación media anual y horizontal en la zona de Valleseco, es evidente que esta última es importante con respecto a la precipitación media anual. Se calculó que se producen 180.55 mm de precipitación horizontal y que la precipitación total es 654.38 mm, en un año promedio. La precipitación horizontal es de gran importancia entre los meses de mayo y agosto, principalmente durante el verano, cuando la precipitación media anual, debida a eventos sinópticos, es escasa. En los meses de junio, julio y agosto, la contribución de la precipitación horizontal corresponde al 74.67 %, 78.44 % y 68.87 % de la precipitación media anual, respectivamente. Estos resultados se pueden observar en la



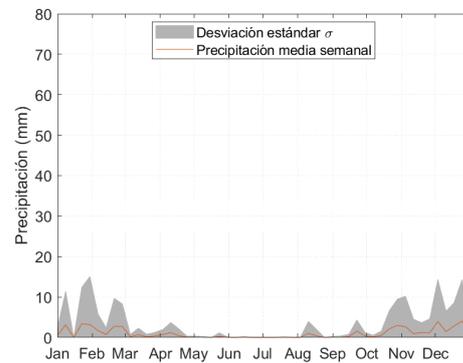
(a) Precipitación media semanal en la zona de Valleseco.



(b) Precipitación media semanal en la zona de San Cristóbal.

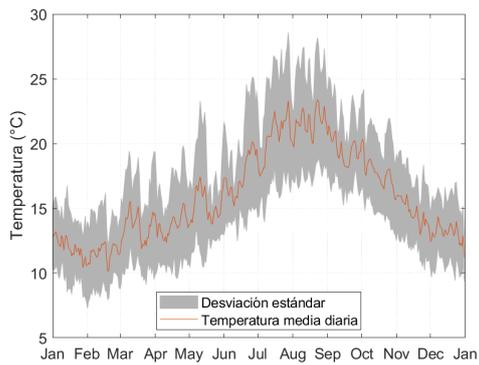


(c) Precipitación media semanal en la zona de Gando.

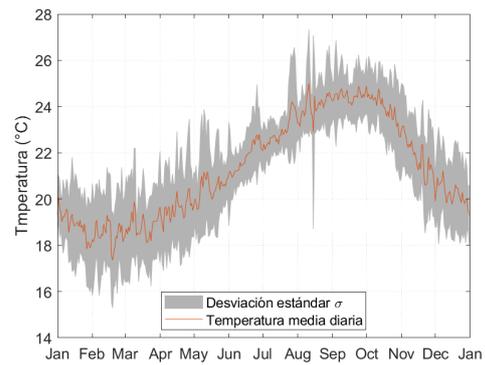


(d) Precipitación media semanal en la zona de Mogán.

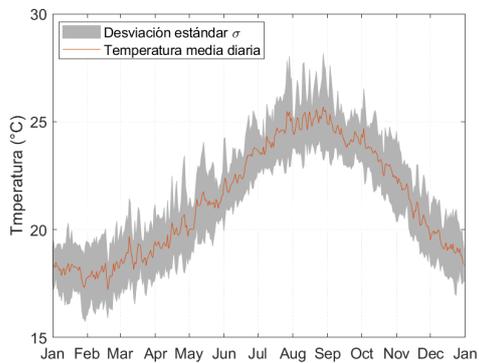
Figura 3: Precipitación media semanal de las estaciones meteorológicas en un año promedio.



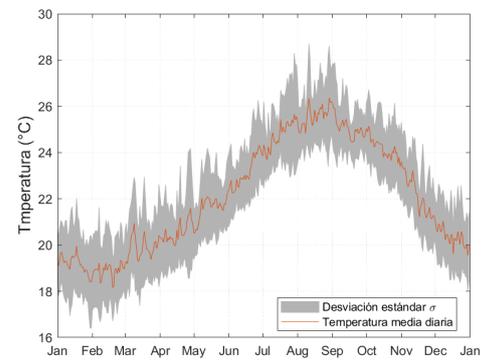
(a) Temperatura media diaria en la zona de Valleseco.



(b) Temperatura media diaria en la zona de San Cristóbal.



(c) Temperatura media diaria en la zona de Gando.



(d) Temperatura media diaria en la zona de Mogán.

Figura 4: Temperatura media diaria de las estaciones meteorológicas en un año promedio.

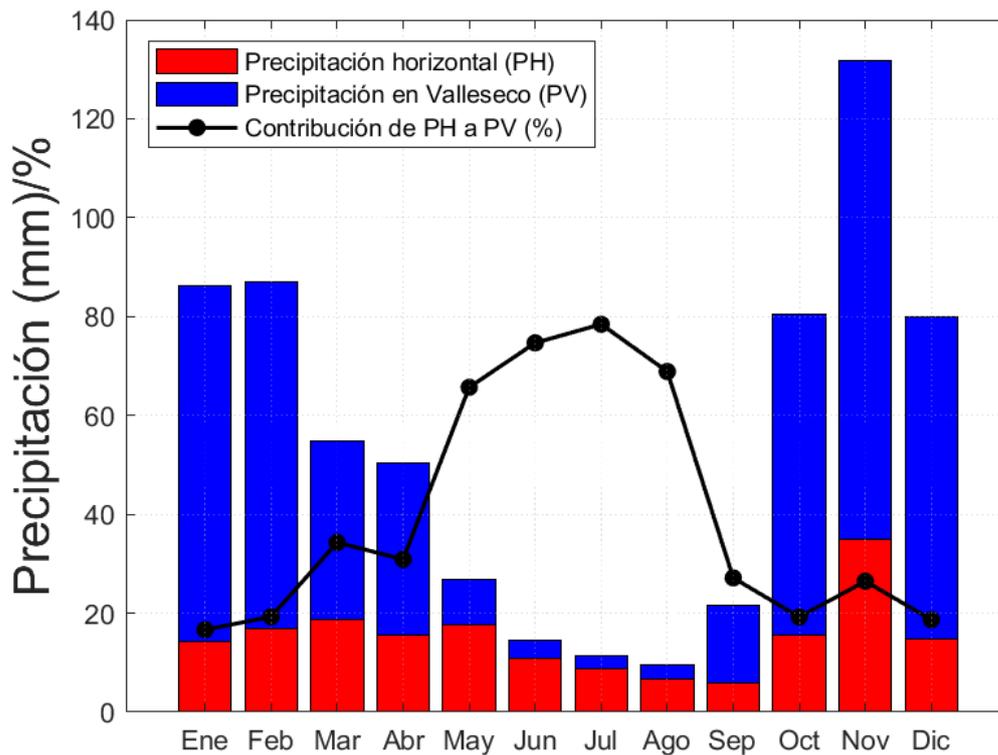


Figura 5: Climograma de precipitación media anual y horizontal en Valleseco. Relación en porcentaje de la precipitación horizontal con respecto a la precipitación media anual a lo largo del año.

figura 5.

En el contexto de generación de precipitación horizontal, se evidenció un comportamiento interesante entre esta y la velocidad del viento. Al compararlas se observó que mientras los valores de intensidad de viento sean mayores, también lo será la precipitación horizontal, esto ocurre en verano, otoño e invierno (figura 6). En primavera, la precipitación horizontal y la velocidad del viento tienen el comportamiento contrario, es decir que cuando la intensidad del viento aumenta, se registra menor cantidad de precipitación horizontal. Sin embargo, al realizar la correlación entre estas dos variables no fue posible establecer una relación ya que el valor del coeficiente de correlación no es estadísticamente significativo en ningún caso (tabla 2).

En cuanto a la temperatura superficial del océano, fue posible establecer una relación estadísticamente significativa en un intervalo de confianza de 95 % con la precipitación horizontal en escala temporal anual, y en la época de invierno y primavera (tabla 2). La influencia que tiene la temperatura superficial sobre la precipitación horizontal es baja e inversa, es decir que mientras mayor sea la temperatura, habrá menor producción de precipitación horizontal (figura 7). Lo mismo ocurre entre la temperatura del aire y la precipitación horizontal, el coeficiente de correlación entre

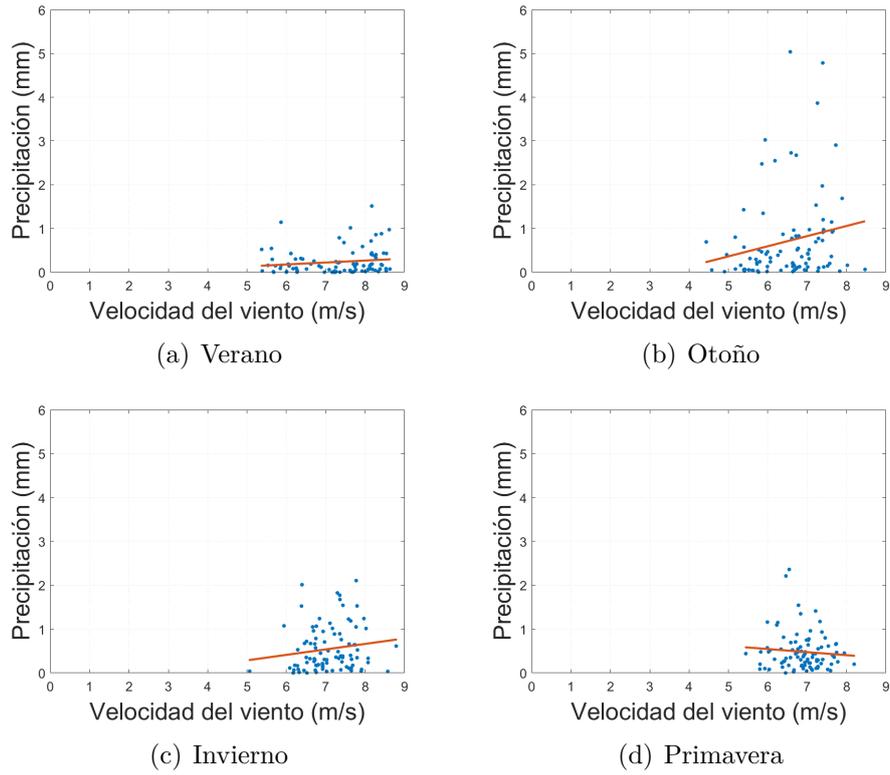


Figura 6: Relación entre la velocidad del viento sobre el océano y la precipitación horizontal en Valleseco.

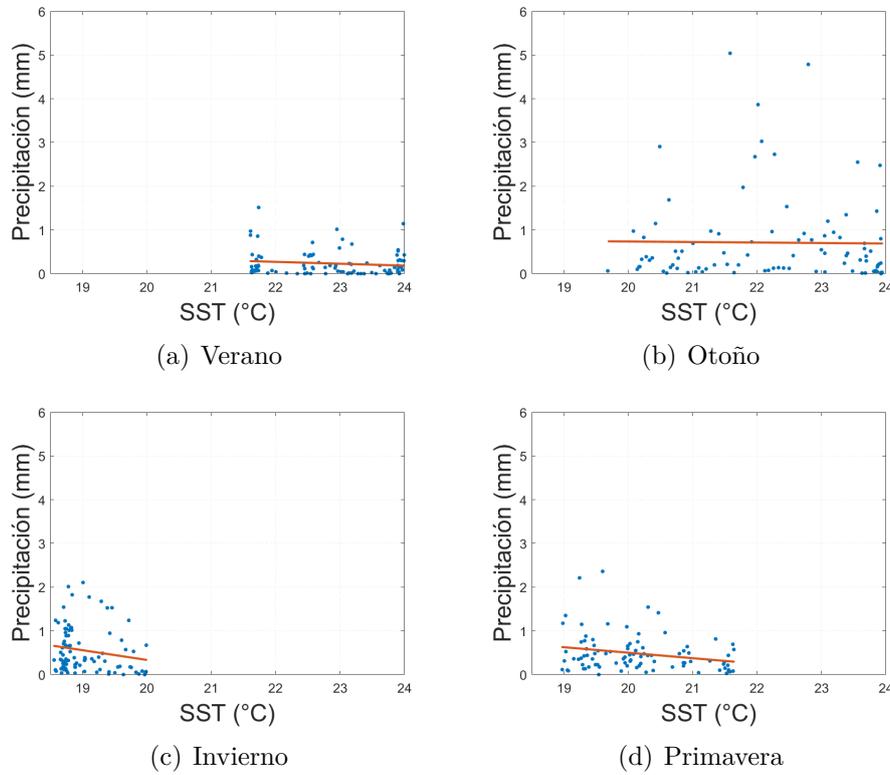


Figura 7: Relación entre la temperatura superficial sobre el océano y la precipitación horizontal en Valleseco.

Tabla 2: Coeficiente de correlación de la precipitación horizontal con la velocidad del viento, la temperatura superficial del océano y la temperatura del aire en Valleseco.

Precipitación horizontal	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Velocidad del viento	0.03	0.15	0.20	0.15	-0.09
Temperatura superficial del océano	-0.11*	-0.13	-0.02	-0.18*	-0.24*
Temperatura del aire	-0.25*	-0.14	-0.11	-0.14	-0.34*

*Valores estadísticamente significativos dentro de un intervalo de confianza de 95 %.

estas es estadísticamente significativo en un intervalo de confianza de 95 % en escala anual y en primavera, siendo negativo, lo que implica un comportamiento contrario de estas variables (tabla 2).

3.3. Precipitación en las estaciones meteorológicas

Tomando en cuenta la precipitación anual debida únicamente a eventos sinópticos en todas las estaciones meteorológicas durante el período de estudio se obtuvo que en Valleseco la variabilidad es mayor con respecto a las demás estaciones y que estas siguen relativamente la misma tendencia. La precipitación en Valleseco se mantiene sobre los 400 mm anuales, excepto entre el año 2008 y 2014, donde ocurren dos períodos secos en el año 2009 y 2013, con precipitaciones anuales de 99.2 mm y 119.2 mm, respectivamente. Los años más húmedos en esta zona corresponden al 2005, 2016 y 2018, con precipitaciones de 585.8 mm, 533.2 mm y 637 mm, respectivamente. Por otra parte, para San Cristóbal, Gando y Mogán, el año más húmedo corresponde al 2006, con 263.7 mm, 307.6 mm y 121 mm, respectivamente. Existen dos períodos secos en estas estaciones; en San Cristóbal y Gando estos se observan en el año 2013 con 38.7 mm y 72.8 mm, respectivamente, y también en el año 2017, con 84.15 mm y 58.6 mm, respectivamente. En Mogán el más seco es el 2007, con 3.5 mm, y el 2017 con 14 mm de precipitación (figura 8).

Se realizó la correlación de la precipitación en cada una de las estaciones considerando la precipitación sinóptica en Valleseco (Tabla 3). Por medio de este análisis se observó que Gando y San Cristóbal están más relacionadas entre sí en comparación al resto de estaciones, mostrando un coeficiente de correlación de 0.70 en la temporada de otoño. A su vez, Gando y San Cristóbal arrojan el mayor coeficiente de correlación en otoño frente a Mogán. Por otra parte, Valleseco se relaciona mejor con San Cristóbal y con Gando en la época de invierno.

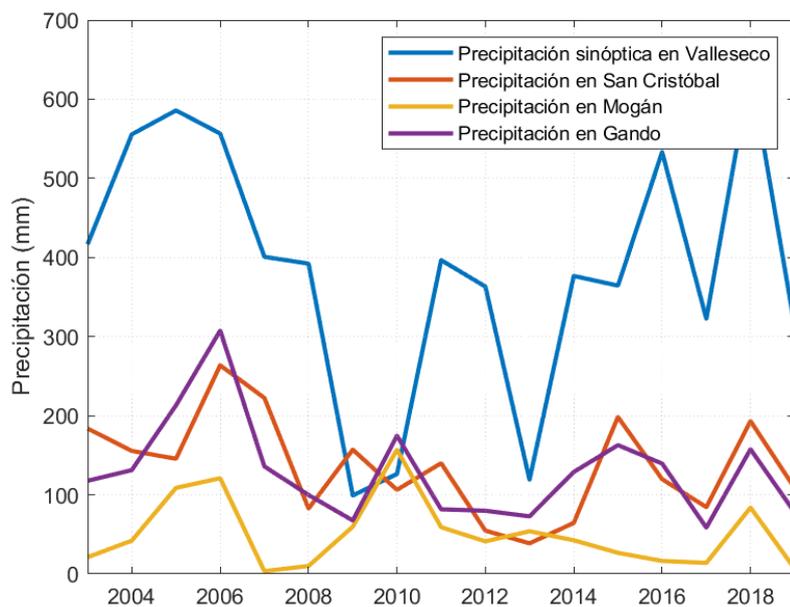


Figura 8: Variabilidad anual de la precipitación total acumulada en las estaciones meteorológicas.

Tabla 3: Coeficiente de correlación de la precipitación de estaciones meteorológicas.

Estación		San Cristóbal	Gando	Mogán
Total		0.41	0.45	0.20
Verano		0.43	0.39	0.25
Otoño	Valleseco	0.38	0.39	0.21
Invierno		0.46	0.49	0.17
Primavera		0.30	0.39	0.17
Anual			0.63	0.33
Verano			0.51	0.18
Otoño	San Cristóbal		0.51	0.18
Invierno			0.70	0.36
Primavera			0.56	0.29
Anual				0.50
Verano				0.49
Otoño	Gando			0.52
Invierno				0.48
Primavera				0.46

Todas las correlaciones son estadísticamente significativas dentro de un intervalo de confianza de 95 %.

Tabla 4: Coeficiente de correlación de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) con la precipitación en las estaciones meteorológicas.

Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Valleseco	-0.46	0.30	0.23	0.23	0.09
San Cristóbal	-0.46	-0.12	0.21	-0.06	0.28
Gando	-0.15	-0.05	0.04	-0.36	-0.02
Mogán	-0.46	-0.01	-0.30	-0.84*	-0.04

*Valores estadísticamente significativos dentro de un intervalo de confianza de 95 %.

3.4. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

Se relacionó la precipitación anual de cada una de las estaciones con el índice climático NAO, tanto anual como estacional, para los 17 años de estudio, porque al estar distribuidas en el norte (Valleseco y San Cristóbal), este (Gando), y sur (Mogán) de Gran Canaria, y localizadas a diferentes elevaciones, están sujetas a distintas condiciones atmosféricas (patrones de presión), y por ende, son susceptibles a sufrir variaciones en las condiciones sinópticas. En el caso de Valleseco se consideró la precipitación sinóptica. Se obtuvieron los coeficientes de correlación respectivos, los cuales se muestran en la tabla 4. Únicamente en el caso de Mogán, en la época de primavera, se obtuvo una correlación estadísticamente significativa en un intervalo de 95 % de confianza. No obstante, se observó que en escala temporal anual la correlación es negativa en todos los casos y que en los meses de verano, otoño e invierno, la relación que existe entre la precipitación en Valleseco y la NAO es positiva, principalmente en verano; aún así, la correlación es débil entre estas dos variables en esta temporada.

Se observó que en invierno y otoño la NAO se encuentra en su fase positiva principalmente. En cuanto a la época de primavera y verano, este índice varía más entre sus fases, siendo predominante la fase negativa desde el año 2003 hasta el 2010, y se torna positiva la mayoría del tiempo en los años posteriores. La NAO anual se encuentra en su fase negativa hasta el año 2010 y a partir de este punto se vuelve positiva hasta el 2019. Tanto en el escenario anual como estacional, este índice tiene su mínimo en el año 2010.

El índice climático NAO se correlacionó con la velocidad del viento y la temperatura superficial del océano, tanto para la escala temporal anual como estacional; sin embargo, no se identificó una correlación fuerte en ningún caso entre estas variables, ya que ningún coeficiente supera el umbral de 0.5. Dentro de un intervalo de confianza del 95 %, solo en invierno la relación entre la velocidad del viento y la NAO es estadísticamente significativa, mientras que la temperatura superficial del

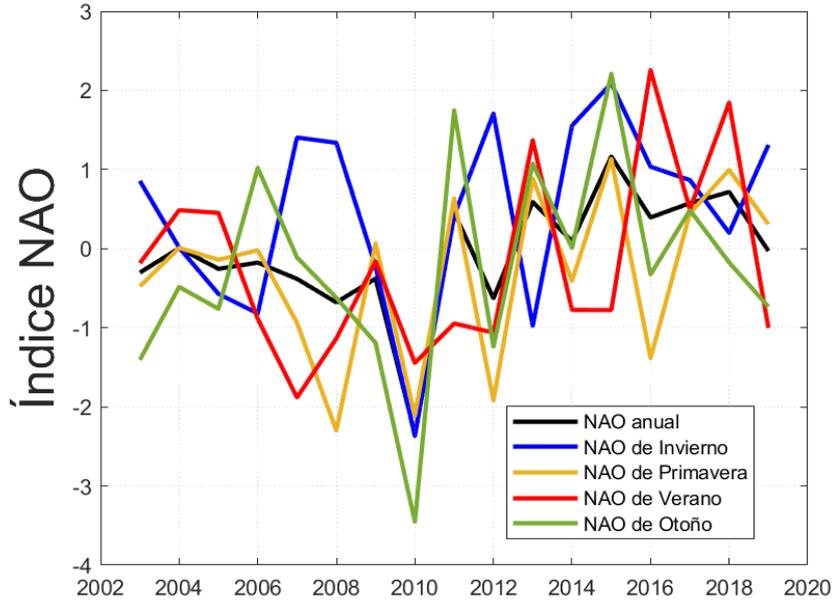


Figura 9: Oscilación del Atlántico Norte anual y estacional en el período de estudio.

Tabla 5: Coeficiente de correlación de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) con la velocidad del viento y la temperatura superficial del océano.

Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Velocidad del viento	0.02	0.01	0.01	0.03*	-0.01
Temperatura superficial del océano	-0.10*	-0.05*	-0.06*	-0.16*	0.01

*Valores estadísticamente significativos dentro de un intervalo de confianza de 95 %.

océano muestra una correlación estadísticamente significativa con la NAO a escala temporal anual, y en verano, otoño e invierno. Los resultados de las correlaciones se observan en la tabla 5.

4. Discusión

4.1. Condiciones climáticas

La temperatura superficial del océano en Gran Canaria sigue un patrón de variabilidad temporal acorde a la temperatura del aire registrada en las estaciones meteorológicas. Las menores temperaturas se registran en invierno, en el mes de febrero, y las mayores se alcanzan en el mes de septiembre, casi cuando empieza el otoño. En cuanto a la velocidad del viento, en este estudio se encontró que esta variable presenta menos variabilidad entre julio y septiembre, lo cual puede ser atribuido a que los vientos alisios entre marzo y septiembre están cubiertos por la capa

de inversión térmica que se genera entre los 400 m y 1000 m (Barton et al., 2000), lo que les confiere mayor estabilidad y hace que el barlovento de la isla sea húmedo y el sotavento permanezca despejado. Además Barton et al. (2000) encontraron que el viento que sopla en el océano alcanza los 10.1 m/s entre julio y agosto, por lo que los valores estimados en el presente estudio están en concordancia con lo que reporta este autor.

Con respecto a la precipitación media anual, se evidenció que en la temporada de verano, la única estación meteorológica en la que se ha registrado una cantidad relativamente significativa de precipitación comparada con el resto de estaciones fue Valleseco, y esto ocurre por el gradiente de precipitación, que hace que las masas de agua que vienen arrastradas por los vientos alisios se concentren en las pendientes del norte de la isla generando precipitación (Sánchez-Benítez et al., 2017). Por el contrario, cuando la estabilidad atmosférica es más frágil debido a perturbaciones climáticas, la precipitación es más abundante. Esto ocurre generalmente entre octubre y marzo, principalmente en invierno (Sánchez-Benítez et al., 2017; Herrera et al., 2001).

4.2. Análisis de la precipitación horizontal y variables climatológicas

En este estudio se ha demostrado que la cantidad de agua proveniente de la precipitación horizontal es significativa y que puede contribuir a una fuente alternativa de suministro de agua dulce en períodos secos en las islas, como el verano. En términos generales, la distribución temporal de la precipitación horizontal sigue la misma tendencia que la precipitación media anual, es decir, los períodos con mayor cantidad de precipitación son invierno y primavera, pero en términos de porcentaje, la precipitación horizontal corresponde a la mayor parte del valor registrado en la época de verano y otoño.

De acuerdo a Marzol (2002), en el verano el mar de nubes tiene lugar a elevaciones más bajas; dado que Valleseco se localiza a una altitud de 980 m, esto no interviene en su aprovechamiento.

Se observó también que cuando la magnitud de la velocidad del viento es mayor, la ocurrencia de precipitación horizontal aumenta. Este comportamiento se ve claramente en otoño e invierno, y con menos fuerza, en verano. Uno de los factores por lo que esto podría ocurrir es que hay más evaporación en el verano (Marzol, 2002) debido a la alta temperatura superficial del mar, lo cual reduce el efecto de la velocidad del viento en la generación de nubosidad. Por el contrario, en primavera, la tendencia que se observa es negativa, y podría deberse a que los vientos provenientes del Sahara son más cálidos y secos en esta época del año (Marzol, 2002). La

precipitación horizontal varía inversamente con la temperatura del aire y la temperatura superficial del mar, de acuerdo a lo reportado por otros autores (Johnstone and Dawson, 2010; Tang, 2012). No obstante, según sus estudios, estos resultados podrían modificarse si se analizan en escalas temporales diurnas.

4.3. Precipitación en las estaciones meteorológicas

De acuerdo a la investigación de Máyer et al. (2017) a partir de una serie temporal analizada desde 1970 hasta 2013, la precipitación media anual en Valleseco es 700.2 mm y en Gando es 137.5 mm. Estos valores son muy similares a los obtenidos en este estudio, que establecen valores de precipitación total de 654.36 mm y 129.83 mm en las estaciones de Valleseco y Gando, respectivamente, lo que brinda certeza a los métodos utilizados en el presente estudio. Estos valores, así como para el resto de estaciones se pueden visualizar en la tabla 1.

En cuanto a la precipitación media estacional, Máyer et al. (2017) reporta que las precipitaciones registradas en verano en Gando no son significativas. En la temporada de primavera, en Valleseco se observa que la precipitación sigue una tendencia positiva significativa, al igual que en Mogán, siendo menos considerable. De igual manera, Mogán, Gando y Valleseco, muestran una tendencia positiva en invierno, siendo la última la que tiene menor importancia en esta época. Con respecto a la precipitación anual, se han encontrado tendencias negativas en el caso de Mogán. Los resultados del presente estudio se corroboran con lo mencionado por Máyer et al. (2017). Estas tendencias se reflejan claramente en la figura 3, donde se observa que en verano las precipitaciones son escasas, excepto en Valleseco, y primavera e invierno son las épocas del año más húmedas en todos los casos.

Máyer et al. (2017) expresa que la irregularidad en las precipitaciones anuales, con años muy húmedos y otros más secos, es una característica de la precipitación en el archipiélago, lo que dificulta establecer relaciones entre las pendientes norte, sur y suroeste de las islas, tanto a nivel anual como estacional. Se puede atribuir a esto la variabilidad encontrada en la precipitación anual durante el período de estudio, mostrando años húmedos pero también años extremadamente secos (figura 8).

De las correlaciones se establece que sí existe una variabilidad de la precipitación ocasionada por la ubicación y también por la orografía de la isla; es por esto que las estaciones que se localizan al norte y noreste de Gran Canaria se encuentran mejor correlacionadas entre sí, y se diferencian con Mogán que es la única estación ubicada al sur de la isla, en donde la precipitación total es mucho más baja que en el resto de estaciones analizadas (tablas 1 y 3).

4.4. Relación de las variables climatológicas con la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

De la comparación de la precipitación y el índice climático de la NAO se obtuvo que la influencia que tiene esta última sobre la precipitación anual es relativamente fuerte en la estación de Valleseco, San Cristóbal y Mogán con un coeficiente de -0.46 pero no es estadísticamente significativa. Por otro lado, en invierno se obtuvo una correlación de -0.84 en Mogán, valor que supera el reportado por Herrera et al. (2001), quienes encontraron una correlación de -0.38 entre estas variables en la isla de Gran Canaria entre los meses de diciembre y marzo.

El índice climático NAO presenta un mínimo en el año 2010 de acuerdo a este análisis (Figura 9). Según Osborn (2011), durante el invierno del 2009/2010, la NAO alcanzó un récord negativo considerando los 187 años de registro de Jones et al. (1997), que implica que haya un comportamiento inusual en la circulación atmosférica sobre el océano Atlántico y Europa.

Las correlaciones de la NAO con la temperatura superficial y velocidad del viento, a pesar de ser estadísticamente significativas en la mayoría de los casos, no son representativas, y no es posible inferir una relación entre ellas. Esto podría deberse a que el período de tiempo es muy corto y subestima la estabilidad de los patrones asociados a la NAO (Trigo et al., 2002; Osborn, 2011). Sin embargo, en su estudio, Hurrell and Van Loon (1997) también establece que cuando la NAO se encuentra en su fase negativa, la advección reducida de las masas de aire ligeramente cálidas desde los subtropicos y el Atlántico hacia EEUU y el norte de Eurasia, respectivamente, puede generar anomalías negativas en la temperatura en estas regiones (Hurrell and Van Loon, 1997; Osborn, 2011).

5. Conclusiones

En este estudio se ha analizado el impacto que tiene la temperatura superficial del mar y la velocidad del viento sobre la precipitación horizontal en el norte de Gran Canaria. De este análisis se puede afirmar que la precipitación horizontal sí es un recurso hídrico importante en el norte de la isla y que representa un aporte importante dentro del balance hidrológico en el período seco del año, ya que corresponde al 74 % en promedio, de la precipitación total durante la época de verano. En un año promedio se generan 180.55 mm de precipitación horizontal en la zona de Valleseco. La velocidad del viento mostró ser la variable que mejor se relaciona con la generación de precipitación horizontal frente al resto de variables en términos cualitativos; sin embargo, su relación no es lo suficientemente fuerte como para realizar predicciones en cuanto a la producción de agua mediante precipitación horizontal.

A pesar de haber observado una variación inversa entre la precipitación horizontal y la temperatura superficial del océano, esta no se puede considerar lo suficientemente fuerte como para establecer una predicción de su comportamiento. Por otra parte, se evidenció que la NAO sí incide sobre la precipitación, especialmente en invierno en el sur de Gran Canaria; sin embargo, no se encontró ninguna relación significativa con la velocidad del viento ni con la temperatura superficial del mar.

Este estudio evidencia que existe una interacción entre el océano y los procesos atmosféricos, aunque estos resultados podrían ser refinados con un enfoque a escala temporal diurna y horaria.

Referencias

- Antequera, P. D. (1996). Las inversiones térmicas en Canarias. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (15):109–124.
- Barton, E. D., Basterretxea, G., Flament, P., Mitchelson-Jacob, E. G., Jones, B., Arístegui, J., and Herrera, F. (2000). Lee region of gran canaria. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 105(C7):17173–17193.
- Borges, R., Hernández-Guerra, A., and Nykjaer, L. (2004). Analysis of sea surface temperature time series of the south-eastern North Atlantic. *International Journal of Remote Sensing*, 25(5):869–891.
- Carracedo, J. C., Day, S., Guillou, H., Badiola, E. R., Canas, J., and Torrado, F. P. (1998). Hotspot volcanism close to a passive continental margin: the Canary Islands. *Geological Magazine*, 135(5):591–604.
- Cerezal, J. C. S. and Moreno, F. S. (2013). Hidráulica y conducciones de transporte de agua en las Islas Canarias. Aspectos históricos y técnicos. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, (226):26–31.
- Cook, E. R. (2003). Multi-proxy reconstructions of the North Atlantic Oscillation (NAO) index: A critical review and a new well-verified winter NAO index reconstruction back to AD 1400. *GMS*, 134:63–79.
- Custodio, E. and Cabrera, M. (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias.
- Donlon, C. J., Martin, M., Stark, J., Roberts-Jones, J., Fiedler, E., and Wimmer, W. (2012). The operational sea surface temperature and sea ice analysis (OSTIA) system. *Remote Sensing of Environment*, 116:140–158.

- Elvidge, A. D. and Renfrew, I. A. (2016). The causes of foehn warming in the lee of mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(3):455–466.
- Font Tullot, I. (1956). El tiempo atmosférico en las Islas Canarias.
- Galván González, E. (1995). El servicio de abastecimiento de agua potable a Las Palmas de Gran Canaria: Implicaciones políticas derivadas de su concesión a una compañía inglesa. *Boletín Millares Carló*, 14:119–133.
- García-Santos, G. and Bruijnzeel, L. (2011). Rainfall, fog and throughfall dynamics in a subtropical ridge top cloud forest, National Park of Garajonay (La Gomera, Canary Islands, Spain). *Hydrological Processes*, 25(3):411–417.
- Giambelluca, T. W., DeLay, J. K., Nullet, M. A., Scholl, M. A., and Gingerich, S. B. (2011). Canopy water balance of windward and leeward Hawaiian cloud forests on Haleakalā, Maui, Hawai'i. *Hydrological Processes*, 25(3):438–447.
- Herrera, R. G., Puyol, D. G., Martín, E. H., Presa, L. G., and Rodríguez, P. R. (2001). Influence of the North Atlantic oscillation on the Canary Islands precipitation. *Journal of Climate*, 14(19):3889–3903.
- Hildebrandt, A. and Eltahir, E. A. (2008). Using a horizontal precipitation model to investigate the role of turbulent cloud deposition in survival of a seasonal cloud forest in Dhofar. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G4).
- Hurrell, J. W. and Van Loon, H. (1997). Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. In *Climatic change at high elevation sites*, pages 69–94. Springer.
- Instituto Tecnológico de Canarias (2020). www.itccanarias.org/web/es/actividad/proyectos/life-nieblas, 7 de Julio de 2020.
- Johnstone, J. A. and Dawson, T. E. (2010). Climatic context and ecological implications of summer fog decline in the coast redwood region. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10):4533–4538.
- Jones, P. D., Jónsson, T., and Wheeler, D. (1997). Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 17(13):1433–1450.
- Luque, A., Martín, J. L., Dorta, P., and Mayer, P. (2013). Temperature trends on gran canaria (canary islands). an example of global warming over the subtropical northeastern atlantic. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014.

- Marzol, M. (1988). La lluvia, un recurso natural para Canarias.
- Marzol, M. (2002). Fog water collection in a rural park in the Canary Islands (Spain). *Atmospheric Research*, 64(1-4):239–250.
- Marzol Jaén, M. V. and Máyer Suárez, P. (2012). Algunas reflexiones acerca del clima de las Islas Canarias. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*.
- Máyer, P., Marzol, M. V., and Parreño, J. (2017). Precipitation trends and a daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43(1):255–268.
- Menéndez, I., Diaz-Hernandez, J., Mangas, J., Alonso, I., and Sánchez-Soto, P. (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments*, 71(1):57–81.
- Osborn, T. (2011). Winter 2009/2010 temperatures and a record-breaking North Atlantic Oscillation index. *Weather*, 66(1):19–21.
- Queralt, S., Hernández, E., Barriopedro, D., Gallego, D., Ribera, P., and Casanova, C. (2009). North Atlantic Oscillation influence and weather types associated with winter total and extreme precipitation events in Spain. *Atmospheric Research*, 94(4):675–683.
- Ritter, A., Regalado, C. M., and Guerra, J. C. (2015). Quantification of fog water collection in three locations of Tenerife (Canary Islands). *Water*, 7(7):3306–3319.
- Roach, W. (1995). Back to basics: Fog: Part 3-The formation and dissipation of sea fog. *Weather*, 50(3):80–84.
- Rodriguez-Gonzalez, A., Fernandez-Turiel, J. L., Perez-Torrado, F. J., Hansen, A., Aulinas, M., Carracedo, J. C., Gimeno, D., Guillou, H., Paris, R., and Paterne, M. (2009). The Holocene volcanic history of Gran Canaria island: implications for volcanic hazards. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 24(7):697–709.
- Sánchez-Benítez, A., García-Herrera, R., and Vicente-Serrano, S. M. (2017). Revisiting precipitation variability, trends and drivers in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, 37(9):3565–3576.
- Sancho, P., De La Cruz, J., Diaz, A., Martin, F., Hernandez, E., Valero, F., and Albarran, B. (1992). A five-year climatology of back-trajectories from the Izaña baseline station, Tenerife, Canary Islands. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(6):1081–1096.

- Slonosky, V. and Yiou, P. (2002). Does the NAO index represent zonal flow? The influence of the NAO on North Atlantic surface temperature. *Climate Dynamics*, 19(1):17–30.
- Stark, J. D., Donlon, C. J., Martin, M. J., and McCulloch, M. E. (2007). OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. In *Oceans 2007-Europe*, pages 1–4. IEEE.
- Tang, Y. (2012). The effect of variable sea surface temperature on forecasting sea fog and sea breezes: a case study. *Journal of applied meteorology and climatology*, 51(5):986–990.
- Trigo, R. M., Osborn, T. J., and Corte-Real, J. M. (2002). The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate research*, 20(1):9–17.
- Trigo, R. M., Pozo-Vázquez, D., Osborn, T. J., Castro-Díez, Y., Gámiz-Fortis, S., and Esteban-Parra, M. J. (2004). North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(8):925–944.
- Van Loon, H. and Rogers, J. C. (1978). The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description. *Monthly Weather Review*, 106(3):296–310.
- Zapata, J. M. C. and Navarro, M. A. M. (2004). Las técnicas de desalación y sus costes. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (866):746–755.