



## Caracterización de las Condiciones Atmosféricas en la Captación de Agua de Niebla. En el tillandsial del cerro Oyarbide en la Cordillera de la Costa, Desierto de Atacama Región de Tarapacá

Francisco Andrés Abarca Paredes<sup>1</sup>

Recibido: 15 de noviembre del 2023 / Enviado a evaluar: 1 de diciembre del 2023 / Aceptado: 19 de julio del 2024

**Resumen.** Este estudio se proyecta como una investigación experimental basada en la integración de un método de registros de presencia de niebla, el sistema de monitoreo óptico llamado GOFOS y datos meteorológicos de dos estaciones climáticas que incluyen la colección de agua de niebla a través de neblinómetros (SFC). Se caracterizaron eventos de niebla ocurridos entre los meses de agosto a octubre de 2019. Se identificó para el área de estudio que la niebla tiene mayor presencia nocturna y matinal y que la mayor frecuencia ocurrió en el mes de octubre durante la primavera. Se observaron divergencias entre los registros de presencia de niebla GOFOS y la colección de agua a través de los SFC para todos los meses del estudio, reconociendo que el registro de observaciones ópticas posee una mayor presencia de niebla por sobre el registro de colecta de agua, estableciendo con ello que en ocasiones la presencia de niebla no representa colecta de agua de niebla.

**Palabras clave:** Niebla advectiva; nube de estratocúmulos; presencia de niebla; captura de agua de niebla; GOFOS; Cerro Oyarbide.

[en] Characterization of the Atmospheric Conditions in the Mist Water Catchment. In the tillandsial of the Oyarbide hill in the Cordillera de la Costa, Atacama Desert, Tarapacá Region

**Abstract.** This study is projected as an experimental investigation based on the integration of a method of recording the presence of fog, the optical monitoring system called GOFOS and meteorological data from two weather stations that include the collection of fog water through neblinometers (SFC). 24 and 22 fog events occurred between the months of August to October 2019 were characterized. It was identified for the study area that the fog has a night and morning cycle, and that the highest frequency is in the month of October during the spring. Divergences were observed between the records of the presence of GOFOS and SFC fog for all the months of the study, recognizing that the record of

---

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile).  
E-mail: faabarca1@uc.cl

observations has a greater presence of fog than the record of water collection, thus establishing that presence does not represent collection of fog water.

**Keywords:** Advection fog; stratocumulus cloud; fog presence and absence; fog capture; GOFOS; Cerro Oyarbide.

## [fr] Caractérisation des conditions atmosphériques dans le captage des eaux de brouillard. Dans le tillandsial de la colline Oyarbide dans la Cordillère de la Costa, désert d'Atacama, région de Tarapacá

**Résumé.** Cette étude est projetée comme une enquête expérimentale basée sur l'intégration d'une méthode d'enregistrement de la présence de brouillard, du système de surveillance optique appelé GOFOS et des données météorologiques de deux stations météorologiques qui incluent la collecte d'eau de brouillard grâce à des néblinomètres (SFC). On a caractérisé les événements de brouillard qui se sont produits entre les mois d'août à octobre 2019. Il a été identifié pour la zone d'étude que le brouillard a une plus grande présence la nuit et le matin et que la plus grande fréquence s'est produite au mois d'octobre au printemps. Des divergences ont été observées entre les enregistrements de présence de brouillard GOFOS et la collecte d'eau à travers les SFC pour tous les mois de l'étude, reconnaissant que l'enregistrement d'observations optiques a une plus grande présence de brouillard que l'enregistrement de collecte d'eau, établissant ainsi que parfois la présence de brouillard ne représente pas la collecte d'eau de brouillard.

**Mots-clés:** Brouillard advection; nuage stratocumulus; présence de brouillard; capture d'eau de brouillard; GOFOS; Cerro Oyarbide.

**Cómo citar.** Abarca Paredes, F. (2024). Caracterización de las Condiciones Atmosféricas en la Captación de Agua de Niebla. En el tillandsial del cerro Oyarbide en la Cordillera de la Costa, Desierto de Atacama Región de Tarapacá. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 44(2), 307-341.

**Sumario.** 1. Introducción. 2. Descripción del área de estudio. 2.1. Tillandsial del cerro Oyarbide. 3. Metodología. 3.1. Sistema de monitoreo GOFOS. 3.2. Métodos de análisis de los resultados. 4. Resultados. 4.1.1. Eventos de niebla registrados por GOFOS. 4.1.2. Frecuencia mensual de niebla registrada por GOFOS. 4.1.3. Estimación de presencia de niebla en base a registros de agua de niebla por SFC. 4.1.4. Porcentajes de presencia comparadas GOFOS y SFC. 4.1.5. Distribución semanal de presencia de niebla. 4.1.6. Presencia diaria de niebla detectada por GOFOS. 4.2. Caracterizar las variables atmosféricas: temperatura del aire, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento presentes en el Tillandsial de Oyarbide. 4.2.1. Condiciones meteorológicas del periodo de estudio. 4.2.2. Condiciones meteorológicas en presencia de niebla. 4.2.2.1. Temperatura en periodos con presencia de niebla. 4.2.2.2. Humedad relativa en periodos con presencia de niebla. 4.2.2.3. Velocidad y dirección del viento en periodos con presencia de niebla. 4.3. Determinar la relación entre presencia de niebla y captación de agua niebla en el Tillandsial de Oyarbide. 4.3.1. Comparación de las series de datos de GOFOS. 5. Análisis de Resultados. 5.1. Condiciones atmosféricas presentes durante los eventos de niebla. 5.2. Diferencias mensuales de presencia de niebla. 5.3. Presencia diaria de niebla. 6. Conclusiones. 7. Referencias. .

## 1. Introducción

El desierto costero de la Región de Tarapacá en la zona norte de Chile se caracteriza por su particular condición climática basada en el dominio de un sistema de nubes

estratocúmulos que se originan en el mar, a cientos de kilómetros de la costa con una presencia prácticamente constante, pero variable en altitud; aproximadamente entre los 500 y 1.200 m.s.n.m. (Latorre et al., 2011 & Cereceda et al., 2014; Koch et al., 2019). Esta nube es desplazada por el viento desde el mar hacia el litoral y la cordillera de la Costa. Allí, es interceptada por las laderas y cimas de los farellones y cerros, transformándose en niebla (Farías et al., 2005; Cereceda et al., 2014).

Esta niebla clasificada como marina advectiva es una característica importante del clima del desierto costero de Atacama (Cereceda et al., 1992; Cereceda 2008) y constituye una fuente clave de agua dulce para la vida natural local (Cereceda & Schemenauer, 1992; Klemm et al., 2012; Cereceda et al., 2014). En este contexto desértico las precipitaciones y escurrimientos superficiales, sólo se materializan en el altiplano y en la precordillera; alcanzando la zonas intermedias y litorales de forma ocasional (1mm anual) (Dirección meteorológica de Chile, 2021); convirtiéndose en un recurso escaso y vital para el desarrollo de la población de la región (Lictevout, 2013).

Este complejo panorama hídrico y la presencia de niebla constante en la zona, ha llevado a que diferentes investigadores visualicen a la niebla como un recurso hídrico alternativo (Schemenauer & Cereceda, 1991; Osses et al., 2018; Klemm et al., 2012; Del Río et al., 2021). Experiencias como en la localidad costera de Chungungo en la Región de Coquimbo en Chile donde los 91 atrapanieblas instalados a una altura de 780 m.s.n.m. en el Cerro El Tofo abastecieron a la comunidad durante 10 años con aproximadamente 14.000 litros de agua diaria otorgando 420 metros cúbicos de agua mensuales; equivalentes al viaje de 42 camiones aljibe de 10.000 litros de capacidad cada uno (Cereceda, 2000; Cereceda et al., 2014).

Diversas investigaciones han caracterizado y analizado la configuración climática de esta zona. El vínculo entre cubierta de nubes estratocúmulos (Sc), la temperatura superficial del mar (TSM), la intensidad y posición del Anticiclón del Pacífico Sur y la niebla de Atacama, y su contenido de agua es conocida Garreaud et al., 2008; Muñoz et al 2016; Del Río et al., 2018). Más aun, no se comprende la intensidad de esta relación, generando inverdidumbre sobre la real dinámica geoespacial y temporal de la niebla en el desierto costero de Atacama y el potencial hídrico de la nube, para el uso humano en los diferentes territorios (Farías et al., 2005; Garreaud et al., 2008; Del Río et al., 2018) dada la ausencia de datos atmosféricos en gran parte de la costa del norte (Lobos et al., 2018; Schween et al., 2020; Del Río, 2020).

La mayor parte de los estudios sobre la niebla y las nubes bajas (NNB) se concentran en las regiones de Coquimbo y Tarapacá. Creando una realidad caracterizada por la baja densidad de datos a lo largo de la costa norte de Chile. Los trabajos desarrollados por Farías et al., (2005); Cereceda et al., (2008); Garreaud et al., (2008) Del Río et al., (2018; 2021); Lobos et al., (2018); Osses et al., (2017), Schween et al., (2021) y García et al., (2021) han caracterizado a través de diferentes proxies la variabilidad espacio tiempo de las NNB en parte del territorio costero desértico. Reconociendo frecuencias de presencia de niebla, rendimientos de colecta de agua de niebla, alcances de penetración longitudinal de la NNB y las

características físicas de la nube Sc. Dichos estudios poseen diferentes resoluciones temporales (meses, días o estaciones del año) y desarrollan en áreas particulares.

Algunos de ellos han analizado los ciclos diarios y estacionales de la NNB en la región de Tarapacá. Plantean que la mayor presencia de niebla se produce durante en la tarde, noche y mañana (Farias et al., 2005; Osses et al., 2017; Del Río et al., 2021). Por otro lado, las variaciones estacionales de las NNB indican frecuencias de presencias entre los meses de mayo y diciembre, presentando mayores porcentajes de frecuencia entre agosto y octubre (Del Río et al., 2021), además, la mayor acumulación de agua de niebla coincide con el mismo periodo (Schemenauer y Cereceda, 1991; Osses et al., 2018). Así mismo, se comprende la importancia de la niebla para los ecosistemas vegetativos de la costa árida (Latorre et al., 2011; Pliscoff et al., 2017; Koch et al., 2019).

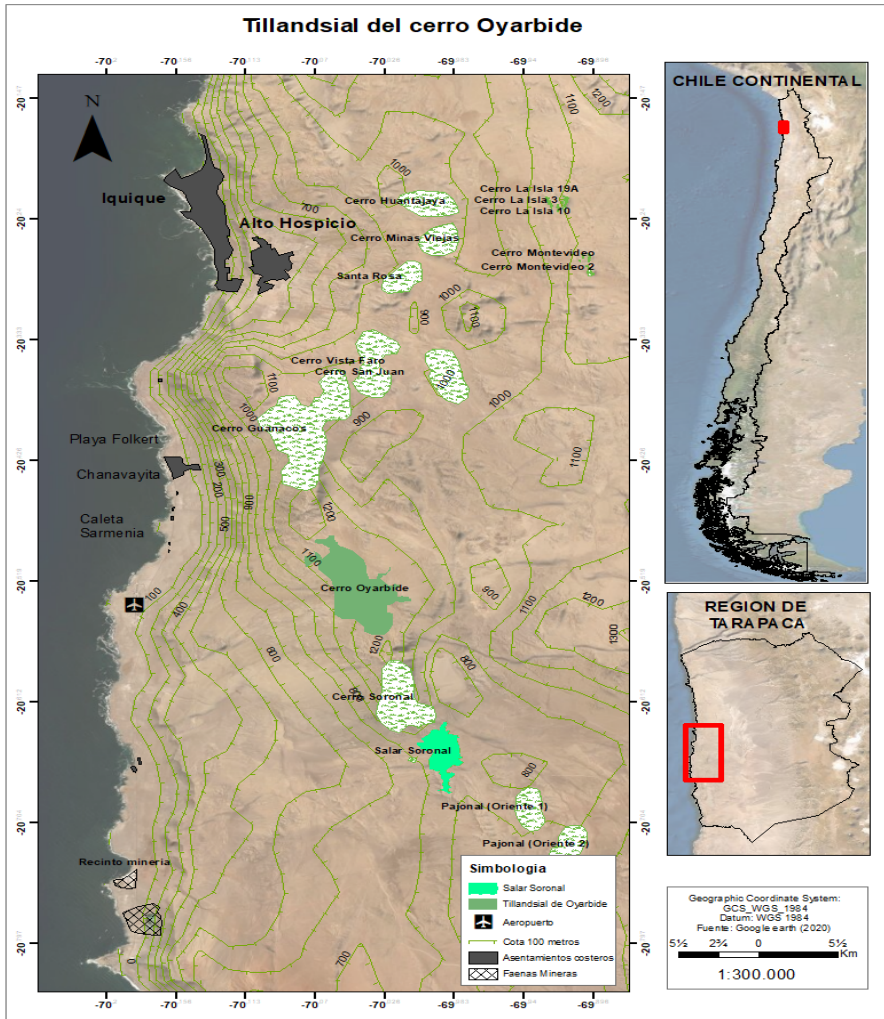
Las preguntas que guían la presente investigación son: 1) ¿Cuáles son las condiciones atmosféricas que determinan la presencia de niebla?, 2) ¿Cómo varían los volúmenes de agua de niebla en la escala local?, 3) ¿la presencia de niebla es un indicador de captación de agua de niebla? En base a estas disyuntivas, este trabajo pretende aportar en el estudio de la niebla en el desierto costero de Atacama, teniendo como objetivo caracterizar la meteorología de los eventos de niebla con la finalidad de comprender las condiciones atmosféricas bajo las cuales se produce captación de agua de niebla y sus variaciones a escala local. Preguntas que intentan corroborar la hipótesis: La presencia de niebla en la costa del Desierto de Atacama, producto de las complejas interacciones océano-atmósfera-tierra, si bien presenta ciclos estacionales y diarios bien establecidos, tiene una alta variabilidad espaciotemporal. Por su parte, la captación de agua de niebla requiere de condiciones atmosféricas específicas para la colecta y cuyos volúmenes están fuertemente determinados por su localización. De ser correcto, se espera que en el área del Tillandsial del cerro Oyarbide, el sector más cercano a la costa, donde es esperable mayor presencia de niebla advectiva no necesariamente tenga mayor captación de agua de niebla, sino más bien, la mayor colección de agua de niebla ocurra en el sector más alejado de la costa, de mayor altitud, y donde hay menor presencia de niebla, ya que presenta mayores velocidades de viento, que incrementa los volúmenes de captación de agua.

La investigación se proyecta como una investigación experimental basada en la integración de dos métodos de registros de niebla. Un sistema de monitoreo óptico denominado GOFOS (Ground Optical Fog Observation System) (del Río et al., 2021), y dos estaciones meteorológicas que incluyen un neblinómetro (SFC), instrumento utilizado para la medición de volúmenes de agua de niebla colectable (Schechenauer, 1991). Las estaciones meteorológicas poseen mediciones de temperatura del aire, humedad relativa del aire, dirección y velocidad del viento. Los instrumentos están ubicados en el Tillandsial del cerro Oyarbide, Cordillera de la Costa de la región de Tarapacá. El periodo de estudio comprende los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2019.

## 2. Descripción del área de estudio

El Desierto de Atacama es el más árido del mundo. Está formado por un espacio continuo de más de 3.500 km a lo largo de la zona occidental de los Andes desde el norte del Perú hasta el extremo norte de Chile (Rundel et al., 1991). Se caracteriza por la ausencia de escorrentías superficiales permanentes y solo se pueden observar escorrentías durante eventos de precipitación esporádicos de corta duración sobre todo en el altiplano donde se presenta el mayor porcentaje de lluvias de la región. Las precipitaciones alcanzan entre 250 y 300 mm anuales (CIREN, 2013).

Figura 1. Mapa área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

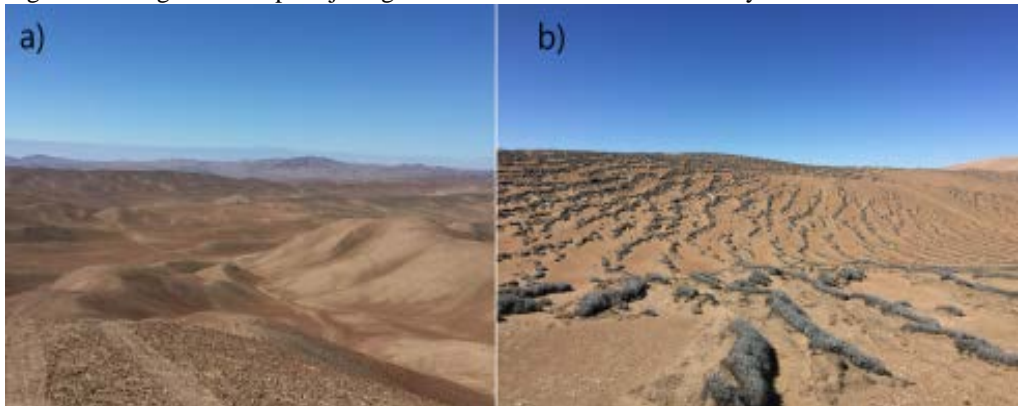
Su condición climática es producto de la interacción de diferentes factores meteorológicos que configuran condiciones de extrema aridez, entre ellos destacan la presencia del Anticiclón del Pacífico Sur; la inversión térmica de subsidencia; la temperatura superficial del mar (TSM) y la corriente de Chile-Perú o Humboldt (CIREN, 2013). Las condiciones meteorológicas varían más en sentido longitudinal que latitudinal y las temperaturas presentan una marcada disminución altitudinal y latitudinal (CIREN, 2013). La franja costera, donde se localiza el área de estudio según la clasificación de Köppen posee un clima desértico costero nuboso presentando abundantes nieblas matinales y ausencia de precipitaciones regulares. La temperatura media anual es de 18.1°C. (CIREN, 2013). En este contexto, en el norte de Chile, entre los 18°56' hasta los 21°38' de latitud sur se localiza la Región de Tarapacá. Su configuración territorial se basa la presencia de tres unidades de relieve: Cordillera de los Andes o altiplano, meseta o pampa y la Cordillera de la Costa que se presenta en este sector con grandes acantilados (BNC, 2020). Administrativamente está compuesta por 7 comunas, Iquique (ciudad capital) Pozo Almonte, Alto Hospicio, Pica, Huara, Colchane y Camiña; su población total según los datos del censo 2017 es de 330.558 habitantes, ubicándose la mayor cantidad de ellos en las comunas de Iquique y Alto Hospicio (BCN, 2020; Vargas, 2019).

La figura 1 presenta la localización del área de estudio, donde se observan los principales hitos que caracterizan la zona, de los que destacan los poblados costeros y territorios donde se observa presencia de vegetación. El cerro Oyarbide posee un color verde compacto que lo diferencia de las otras zonas que presentan tillandsias.

## 2.1. Tillandsial del cerro Oyarbide

El tillandsial del cerro Oyarbide se localiza aproximadamente a 8 km de la línea litoral en el interior de la Cordillera de la Costa, a 33 km al sur de la capital regional Iquique y a 26 km del Alto Hospicio.

Figura 2. Fotografías del paisaje vegetativo del tillandsial del cerro Oyarbide



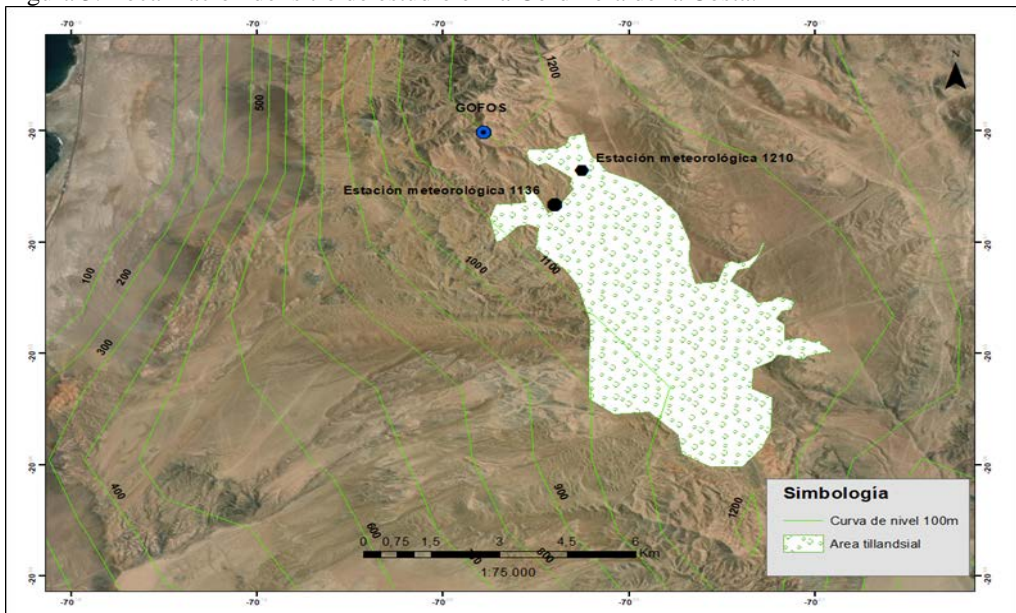
Fuente: Elaboración propia.

El sitio se caracteriza por su geomorfología montañosa; en promedio las alturas de los cerros que rodean al tillandsial es de 1.200 m.s.n.m. La presencia de colonias de *Tillandsias lamdbecki* o "claveles de aire" (Fig. 2a-b) (Cereceda, 1999) es característico del paisaje. Esta especie tiene la particularidad de capturar agua y nutrientes directamente de la niebla a través de hojas especializadas que crecen entre 30 y 60 cm (Cereceda, 1999). La figura 2. a) presenta una vista panorámica del área de estudio, revelando los rasgos distintivos y características del sistema geográfico del lugar, siendo un relieve sinuoso, con picos ondulantes debido a la acción de viento y amplios barrancos que actúan como corredores frontales; b) muestra hileras de tillandsias dispuestas en formación de bandas perpendiculares a la dirección predominante del viento (SO). Entre las cumbres de los cerros Oyarbide y Soronal (ver figura 1) se forma un corredor de niebla (Farias et al., 2005) que genera un portezuelo, produciendo un encajonamiento de la nube estratocúmulo, que permiten ocasionalmente la presencia de niebla (Vives, 2018).

### 3. Metodología

La investigación se llevó a cabo durante el período de agosto- octubre de 2019, siendo estos los meses con la mayor colección de agua niebla en la estación UC de Alto Patache, distante a 31km del área de estudio (Larraín et al., 2002; Cereceda et al., 2008; del Río et al., 2018).

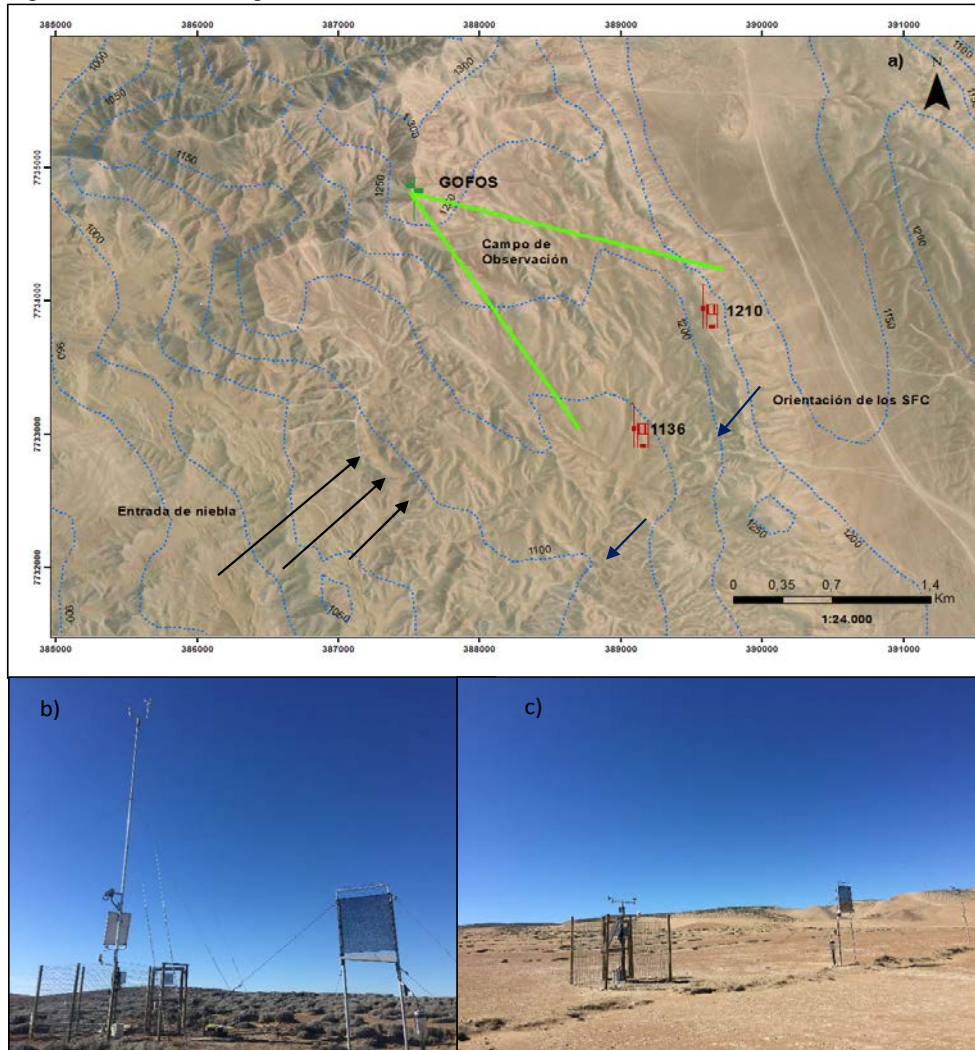
Figura 3. Localización del sitio de estudio en la Cordillera de la Costa.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron 3 fuentes de datos; un sistema de monitoreo óptico de niebla llamado GOFOS (del Río et al., 2021), dos estaciones meteorológicas marca Thies Clima y dos Standard Fog Collector (SFC) o neblinómetros; instalados a altitudes de 1.136 m.s.n.m., ( $20^{\circ} 29'57.37''S/ 70^{\circ} 3'51.10''O$ ) y 1.210 m.s.n.m., ( $20^{\circ} 29'28.77''S/ 70^{\circ} 3'32.04''O$ ).

Figura 4. Modelo de organización de las estaciones CLI en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

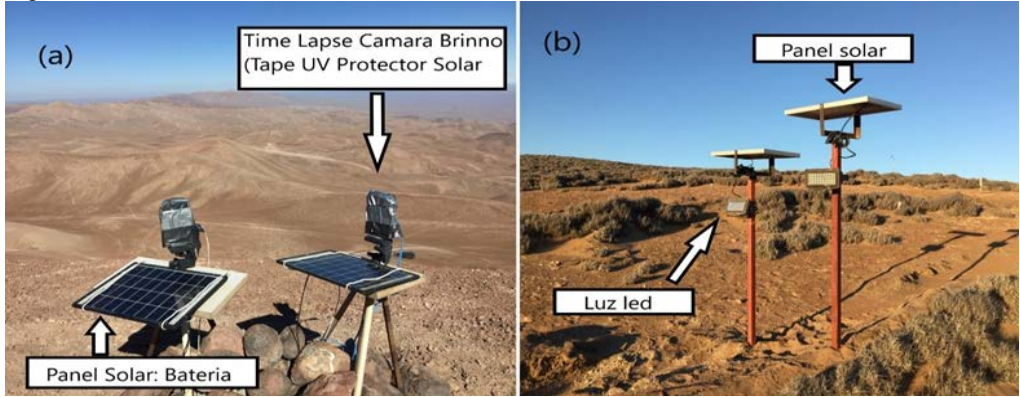


La caracterización de las condiciones atmosféricas consta de la integración de estas tres fuentes de información. GOFOS en su campo de observación óptico, registra el dato empírico de presencia o ausencia de niebla en la localización de las estaciones meteorológicas. Luego las estaciones meteorológicas miden las variables atmosféricas de viento (velocidad y dirección), humedad atmosférica y temperatura del aire. Finalmente, los 2 SFC, que se encuentran localizados junto a las estaciones meteorológicas, colectan el agua de niebla. La fig.3 presenta la ubicación de los instrumentos en el tillandsial. Al observar la figura 3 se identifica la localización de los instrumentos en la zona noroeste del tillandsial. GOFOS se encuentra a una altura de 1.350 m.s.n.m. permitiendo las estaciones que se encuentran a una menor altura (1136 y 1210 m.s.n.m.) el área del tillandsial. Este trabajo metodológico permitió la creación de dos bases de datos, una para cada estación. Cada serie de dato tendrá la observación de GOFOS, el dato del SFC y los datos de las variables atmosféricas (ver figura 4). La figura 4 a) presenta el esquema de obtención de los registros de presencia y ausencia de niebla, la que da a conocer la forma en como están distribuidos los instrumentos en el tillandsial del cerro Oyarbide; evidenciando su disposición en relación con la llegada de la niebla desde el Océano Pacífico. En el sector norte del tillandsial se localiza GOFOS sistema que observa ambas estaciones meteorológicas y SFC (Líneas verdes que muestran el campo de observación de la cámara). Las flechas de color azul indican la orientación de los SFC en relación con la dirección de dónde proviene la niebla. Las flechas de color negro indican la dirección de donde proviene la niebla. Las figuras 4 b) y c) presentan las estaciones meteorológicas. (b) fotografía de la estación 1136; c) fotografía de la estación 1210, instaladas con todos sus instrumentos incluyendo los SFC.

### 3.1. Sistema de monitoreo GOFOS

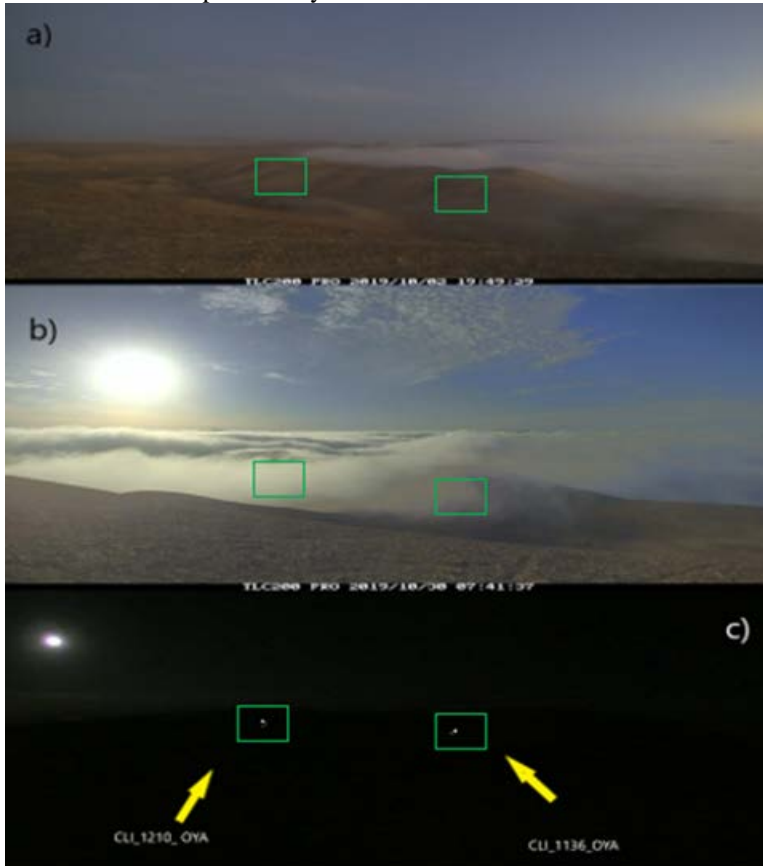
GOFOS es un sistema óptico de observación que está localizado en las coordenadas UTM 20 °28'56.92"S/ 70° 4'42.08"O, a una altura de 1350 m.s.n.m. Este mecanismo fue desarrollado por el Centro Desierto de Atacama (CDA) y RGeo (Grupo de Investigación del Departamento de Geografía para la Observación de la Tierra) de la Universidad de Educación de Heidelberg, Alemania (Del Río, 2019; Del Río et al., 2021). Es un sistema compuesto por una cámara óptica time lapse que captura imágenes y dos luces autónomas alimentadas con energía solar, que se activan automáticamente cuando se pone el sol gracias a un sensor de oscuridad localizado junto a ambas estaciones meteorológicas (ver figura 8b). El sistema tiene su sustento en la dinámica temporal de la niebla advectiva, ya que existe una mayor presencia durante la noche, por consecuencia, se hizo necesaria esta tecnología para visualizar la presencia de niebla (Cereceda et al., 2008; del Río, 2019). En el día se conoce la posición de las luces en las estaciones meteorológicas, por lo que también es posible identificar y caracterizar la niebla (ver fig. 5a). La cámara marca Brinno, modelo proTLC (ver fig.5a), está instalada en un trípode de plástico y conectada a un panel solar de 10 watts, para un suministro continuo de energía; las luces están unidas a un fierro galvanizado y están formadas por 44 LED (ver fig.5 b) (del Río, 2019).

Figura 5. Instrumentos del sistema GOFOS



Fuente: Elaboración propia basada en del Río (2019).

Figura 6. Visualización de la presencia y ausencia de niebla



Fuente: Elaboración propia.

La figura 5. a) presenta las cámaras instaladas con un trípode empotrado entre rocas, a una altura de 1.350 m.s.n.m.; b) perfil de metal que tiene adosado un sistema de luces led, que está conectado a un panel solar y a un sensor de oscuridad. De este modo, el sistema permite identificar presencia y ausencia de niebla durante las noches, cuando la luz es captada por la cámara, es evidencia de ausencia de niebla (ver figura 6a-c), por el contrario, la no visualización de la luz representa presencia de niebla (ver figura 6b).

Las estaciones meteorológicas cuentan con diferentes sensores que registran las condiciones atmosféricas presentes en el lugar de estudio. Cada una de ellas posee: un neblinómetro (SFC), anemómetro, termómetro y un higrómetro. Además de poseer alimentación solar que permite el registro en periodos prolongados de tiempo. La estación meteorológica 1136 está a una distancia de 10,66 km de la línea litoral y la orientación de su SFC es de 205° SO. Por su parte, la estación meteorológica 1210 está a una distancia de 11,22 km de la línea litoral y la orientación de su SFC es de 246° SO. La tabla n 1 muestra las mediciones que se obtienen por medio de los sensores antes nombrados.

Tabla 1. Variables atmosféricas y unidades de medición

<b>Sensores instalados</b>	<b>Unidades de Medida</b>
Temperatura	Grados Celsius (°C)
Humedad relativa	Porcentaje (%)
Velocidad del viento	Metros/segundos (m/s)
Dirección del viento	Grados Sexagesimales (m/s)
SFC (Standard Fog Collector)	Agua de niebla (ml)

Fuente: Elaboración propia.

Los SFC (standard fog collector) es un sistema compuesto por un atrapanieblas y un mecanismo pluviométrico que registra datos de agua caída. Con ello, se obtiene información sobre volúmenes de agua niebla. La malla raschell (de medidas 1x1 metro) obstruye el paso de la niebla almacenando en su superficie el agua de niebla, la que desciende hacia un sistema de canaletas que deja caer el agua hacia un pluviómetro que contiene un balancín. Al acumularse 2 ml de agua este genera un registro captación. Posteriormente, el agua es almacenada en un contenedor que sirve de corroboración de los datos del registro de agua colectada (Schemenauer y Cereceda, 1994).

Para comparar los datos entre ambos métodos de recolección los valores de obtenidos a través de la colecta de agua fueron convertidos a valores 1 para los periodos donde se colecta agua de niebla y 0 para los periodos donde no se colecta agua de niebla.

### 3.2. Métodos de análisis de los resultados

Las 3 fuentes están configuradas para obtener datos cada 10 minutos. Además, se estableció un criterio temporal para diferenciar entre eventos de niebla. Se determinó que un evento de niebla corresponde a periodos en donde existe una presencia de niebla mayor o igual a 60 minutos y un tiempo de 30 minutos para diferenciar entre eventos sucesivos. Los eventos se registran en base a observaciones GOFOS.

Para el análisis de los resultados se elaboraron gráficos y tablas donde se comparan las frecuencias de presencia de niebla obtenidas con el sistema GOFOS y SFC. Con el número de registros de GOFOS se obtuvieron las horas de presencia de niebla. Por su parte, la frecuencia de presencia se midió a través de porcentajes en periodos de tiempo determinado (Morales, 2008). Medición que se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Registros } X 100}{\text{Total de los registros (mensuales- semanales-diarios)}}$$

Las frecuencias de presencia de niebla se analizaron en base a su ciclo mensual, semanal y diario. Cada serie de datos de presencia de niebla se multiplicó por 100 y se dividió por el valor total de los registros (mensuales 4464; semanales 1008; diarios 144 registros, tanto de ausencia como de presencia de niebla).

Para la caracterización de las condiciones atmosféricas de días con y sin presencia de niebla se obtuvieron los descriptivos frecuencia, promedio, mediana, moda, máximas y mínimas de las variables de humedad relativa, temperatura del aire, velocidad y dirección del viento. Estos registros se integraron a las columnas de presencia y ausencia de niebla de GOFOS.

Finalmente, con el objetivo de comprender las condiciones atmosféricas bajo las cuales se producen los eventos y captación de niebla se han relacionado los tres métodos de registros de datos, GOFOS que registra presencia y ausencia de agua de niebla; el sistema SFC que registra captación de agua de niebla y las mediciones de las estaciones meteorológicas Thies Clima.

## 4. Resultados

### 4.1.1. Eventos de niebla registrados por GOFOS

El periodo del estudio comprende 92 días consecutivos de recolección de información de presencia y ausencia de niebla, con un total 13.248 registros para cada estación meteorológica durante el periodo de estudio. De acuerdo con GOFOS, se identificaron 22 y 24 eventos de niebla para las estaciones 1210 y 1136 respectivamente. Todos los eventos con una duración de más de 60 minutos.

Tabla 2. Registro mensual de eventos de niebla captados por GOFOS

Mes	1136	1210
Agosto	1	1
Septiembre	8	6
Octubre	15	15

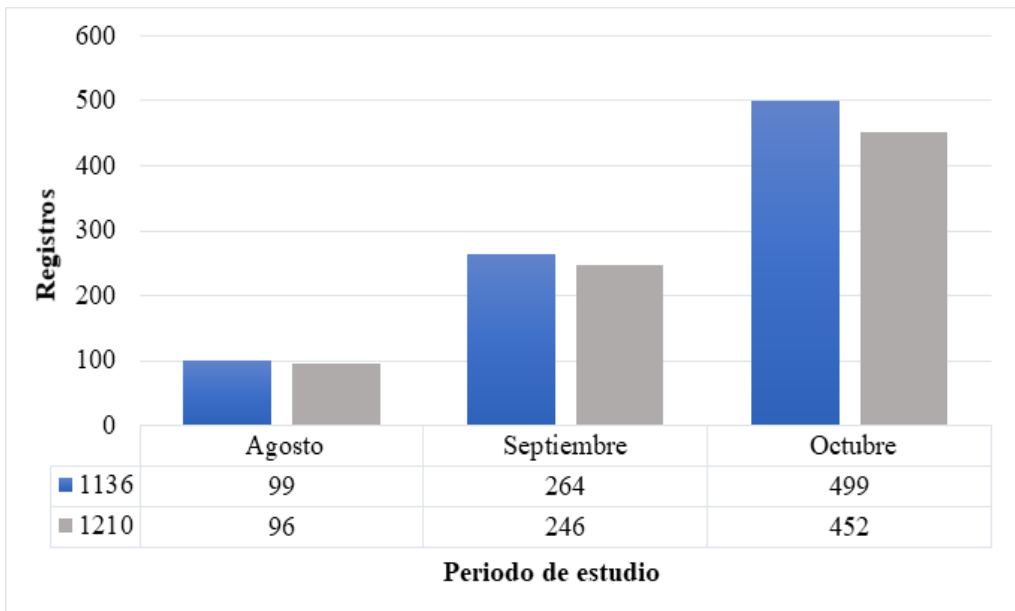
Fuente: Elaboración propia.

Estos eventos corresponden a los valores 1 del registro, representando la presencia de niebla. La tabla 2 presenta en detalle la cantidad de eventos por mes para cada estación.

#### 4.1.2. Frecuencia mensual de niebla registrada por GOFOS

La Figura 7. presenta los registros de presencia resultante de todos los eventos de medidos por GOFOS (ambas estaciones). A su vez la Tabla 3. presenta la cantidad de horas de presencia mensual de niebla resultante para cada estación.

Figura 7. Serie de datos de presencia de niebla mensual GOFOS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Horas de presencia mensual GOFOS

	Agosto	Septiembre	Octubre
1136	16 horas	41 horas	75,3 horas
1210	16,5 horas	44 horas	83,2 horas

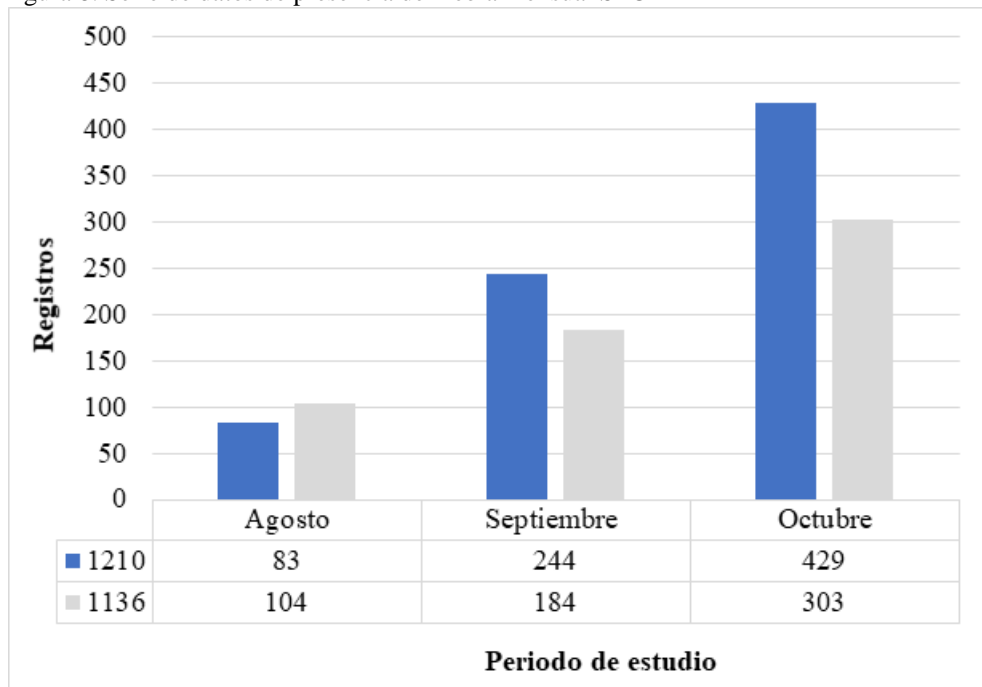
Fuente: Elaboración propia.

En agosto se observa una diferencia de 3 registros equivalentes a 30 minutos de presencia de niebla. En septiembre, la diferencia de 18 registros equivalentes a 3 horas. Por último, para el mes de octubre la diferencia es de 47 registros equivalentes 7 horas 40 minutos aproximados.

#### 4.1.3. Estimación de presencia de niebla en base a registros de agua de niebla por SFC

Las series de datos de registros SFC se obtuvieron a través del registro de agua captada por los neblinómetros instalados en la estación 1210 y 1136. Los volúmenes de agua registrados por los pluviómetros fueron reemplazados por valores 0 cuando no hay captación y 1 para los registros donde existe volúmenes de agua de niebla. La tabla 4. presenta lo anteriormente planteado.

Figura 8. Serie de datos de presencia de niebla mensual SFC



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Horas de presencia mensual SFC

	Agosto	Septiembre	Octubre
1210	13,8 horas	40,7 horas	71,5 horas
1136	17,3 horas	30,7 horas	50,5 horas

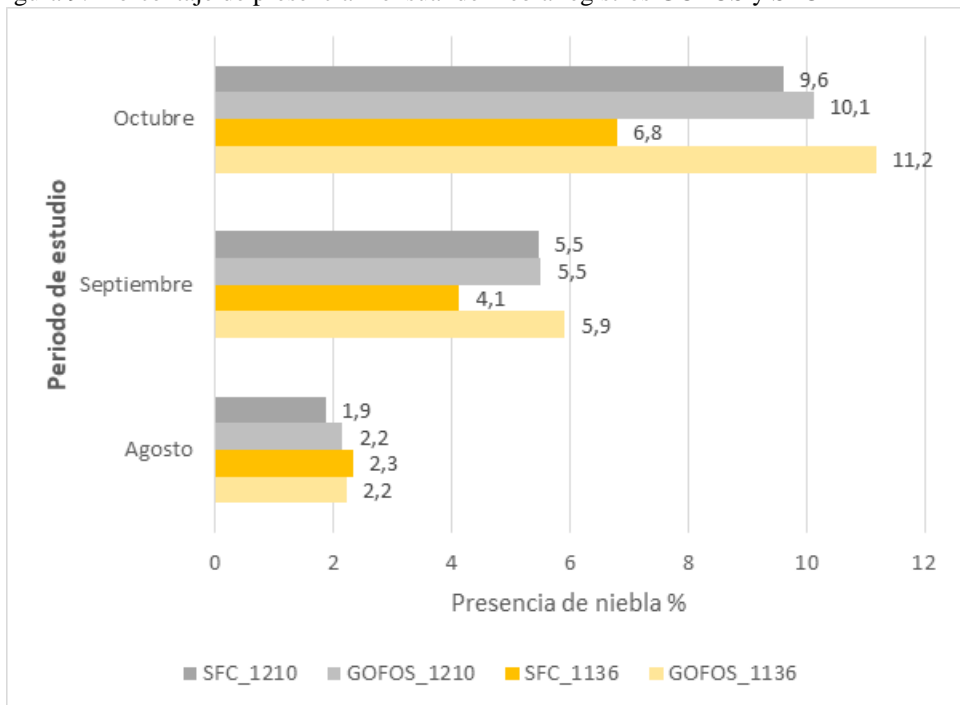
Fuente: Elaboración propia.

En mes de agosto se observa una diferencia de 21 registros equivalentes a 3 horas 30 minutos de presencia de niebla. En septiembre, la diferencia de 60 registros equivalentes a 10 horas. Por último, para el mes de octubre la diferencia es de 126 registros equivalentes 21 horas.

#### 4.1.4. Porcentajes de presencia comparadas GOFOS y SFC

La Figura 9. presenta los porcentajes de frecuencia mensual obtenidas de ambos métodos de registros de presencia

Figura 9. Porcentaje de presencia mensual de niebla registros GOFOS y SFC



Fuente: Elaboración propia

En el mes de octubre se presentan las mayores diferencias porcentuales de presencia de niebla entre ambos métodos en el periodo de estudio. Las diferencias son de 0,5% y 4,4% para la estación es 1210 y 1136 respectivamente. Para el mes de septiembre las diferencias son de 0,05% (1210) y 1,8% (1136). Por último, las diferencias porcentuales para el mes de agosto son de 0,3% (1210) y 0,5% (1136).

Las series de datos comparadas muestran que los registros obtenidos a través de ambos métodos en la estación 1210 poseen mayor similitud que los registros de la estación 1136. El promedio de diferencia de los meses del estudio es de 0,85% para los registros de la estación meteorológica 1210 y de 2,1% para los registros de la estación meteorológica 1136.

#### 4.1.5. Distribución semanal de presencia de niebla

Los registros de presencia de niebla se agruparon en 13 semanas. La tabla 5. presenta los registros resultantes para cada semana de estudio obtenidos a través de GOFOS y SFC.

Tabla 5. Frecuencia semanal de presencia de niebla GOFOS y SFC

Mes	Agosto				Septiembre				Octubre				
Días	1- 07	08- 14	15 -21	22 - 28	29 - 04	05 -11	12- 18	19 -25	26 - 02	03- 09	10 - 16	17- 23	24- 31
Nº Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
GOFOS 1136	0	99	0	0	0	205	6	53	40	103	43	106	207
SFC 1136	0	91	0	0	13	134	0	50	26	119	22	51	85
GOFOS 1210	0	96	0	0	0	199	0	47	36	87	22	99	208
SFC 1210	0	83	0	0	0	188	7	49	27	89	27	85	201

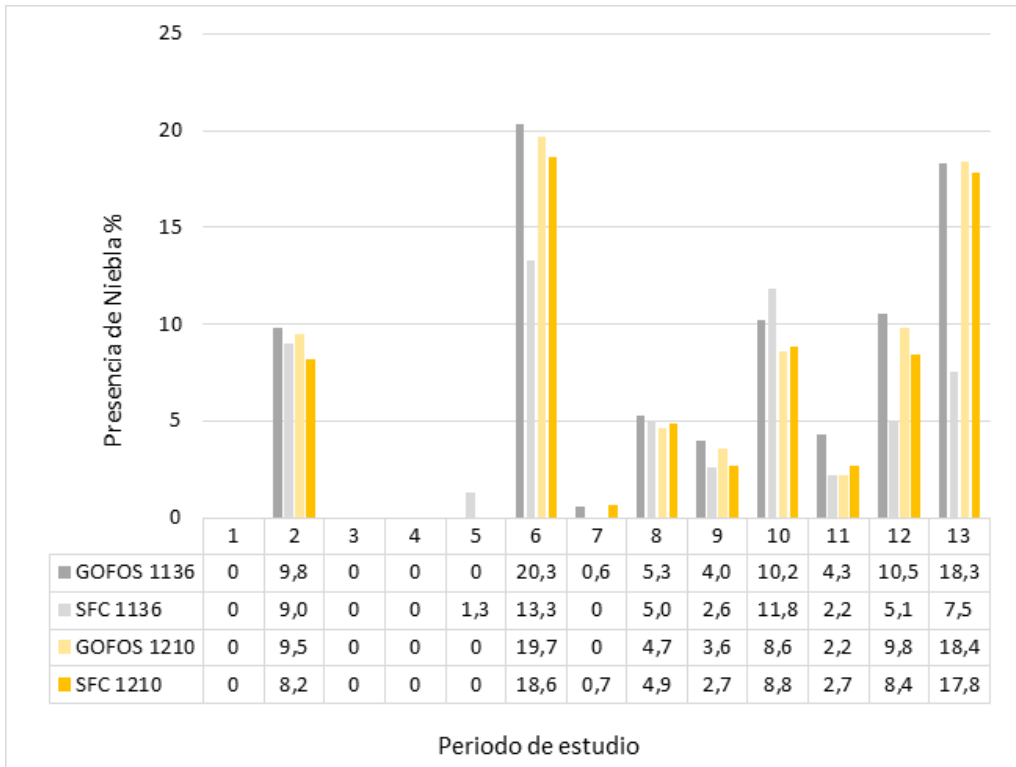
Fuente: Elaboración propia.

En el mes de agosto se presenta una baja presencia de niebla, donde las semanas (1-3-4) no registran eventos de niebla. Solo la semana 3 registra eventos de niebla. La semana 6 (mes septiembre) contiene la mayor cantidad de registros de presencia de niebla, siendo el periodo en el que se registraron eventos con duración en promedio de más de 12 horas. Se destaca que durante esta semana no se presentó el mayor número de eventos, sino que fueron los de mayor duración (ver figura 10). Las semanas 5 y 7 presentan registros donde ambos métodos recogieron datos de forma dispar. Es decir, en la semana 5 solo el SFC 1136 detectó presencia de niebla. Mientras que, por otro lado, para la semana 7, GOFOS 1210 y SFC 1136 detectaron presencia de niebla.

La figura 10. presenta de forma gráfica los porcentajes de presencia semanal. Los eventos con mayor duración ocurrieron durante las semanas 6 y 13 correspondientes al mes de septiembre y octubre respectivamente.



Figura 10. Porcentajes de presencia semanal de niebla GOFOS y SFC



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las series de datos en base a su altitud, se logra identificar que los registros 1210, poseen una mayor similitud en los valores porcentuales de presencia de niebla. La diferencia promedio de los registros 1210 es de 0,5%. En cambio, para los registros 1136 el porcentaje promedio es de 2,6%. Las mayores diferencias en los registros 1136 se presentan en las semanas 6 y 13, con porcentajes 7% y 10,8% respectivamente. Estas semanas también son las de mayor cantidad de registros.

Los resultados de presencia obtenidos del registro SFC presentan mayores diferencias entre ellas. Esto se evidencia en las semanas 6, 10, 12 y 13 según lo representado en la figura 16. Así mismo, el registro SFC contiene menor cantidad de registros de presencia de niebla. Las series de datos de ambos sistemas de monitoreo presentan mayor similitud al ser comparadas en el mismo rango altitudinal.

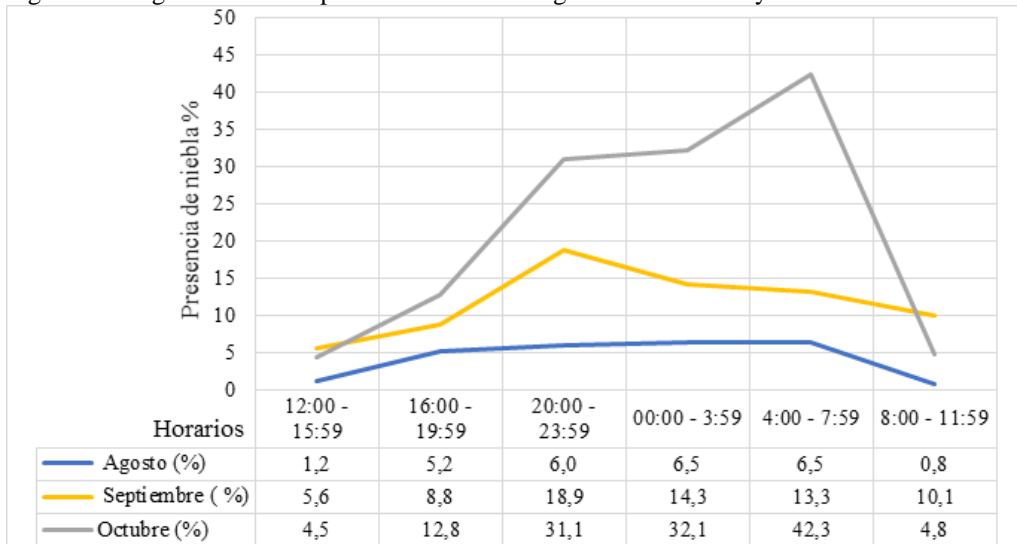
El sistema GOFOS presenta una mayor frecuencia de presencias en ambas localizaciones. Particularmente, es interesante visualizar que para la semana 5 solo el SFC 1136 registro colecta de agua de niebla, situación que no fue detectada visualmente por el sistema GOFOS. A su vez, la semana 7 muestra una situación

interesante de presentar dado que el GOFOS 1136 y SFC 1210 registran presencia y colecta de agua de niebla respectivamente; donde los registros comparables no presentan mediciones de agua de niebla colectada ni datos de presencia de niebla.

#### 4.1.6. Presencia diaria de niebla detectada por GOFOS

La Figura 11. presenta la tendencia diaria resultante de la presencia de niebla. El mayor porcentaje de ocurrencia de eventos de niebla se da durante el transcurso de la noche y el alba entre las 20:00-08:00 horas.

Figura 11. Registro diario de presencia de niebla según GOFOS 1136 y 1210



Fuente: Elaboración propia.

El periodo comprendido entre las 8:00- 15:59 (ambos extremos de la gráfica de la figura 15) se destaca por ser el periodo del día donde se presenta la menor cantidad de eventos de niebla. El mes de agosto contiene solo un evento de niebla, ocurre entre las 7:59 y las 16:00. Por otra parte, la presencia de niebla de los meses de septiembre y octubre posee una similitud de presencia horaria que se acentúa en el segundo mes, ya que el número de eventos es mayor.

El mes de septiembre posee 8 (1136) y 6 (1210) eventos de niebla cuyo mayor número de registros se presentan entre 20:00-23:59 valores que aumentan de forma constante en el transcurso de la noche, disipándose a la llegada del medio día. Del mismo modo, los registros pertenecientes al mes de octubre muestran la mayor cantidad de niebla durante el periodo comprendido entre las 20:00 y las 07:00 horas.

## 4.2. Caracterizar las variables atmosféricas: temperatura del aire, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento presentes en el Tillandsial de Oyarbide.

### 4.2.1. Condiciones meteorológicas del periodo de estudio

Durante los meses de agosto a octubre se midieron de forma continua las variables de temperatura del aire, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento, a través de las dos estaciones meteorológicas 1136 y 1210. La tabla 6 presenta los resultados estadísticos de forma mensual de las variables descritas anteriormente, presentando las mínimas, máximas, moda, mediana, media y promedio; incluyendo días con y sin presencia de niebla.

Tabla 6. Valores estadísticos de las condiciones atmosféricas detectados por las estaciones meteorológicas para el periodo en general.

	Velocidad viento m/s		Dirección viento (Grados)		Humedad relativa (%)		Temperatura del aire (°C.)	
<b>Agosto</b>								
Estación	1210	1136	1210	1136	1210	1136	1210	1136
Máxima	10,8	8,9	-	-	100	100	29,9	30,1
Mínima	0,1	0,3	x	x	0,7	0,7	3,4	3,4
Moda	2,9	2,39	232	218	100	100	17,6	14,3
Mediana	3,2	2,37	152	73	14,8	16,6	17,7	16,3
Media	2,4	1,6	47,2	38,7	11	13,5	16,4	14,8
Promedio	3,4	2,5	x	x	22,0	25,6	18,1	17,1
<b>Septiembre</b>								
Estación	1210	1136	1210	1136	1210	1136	1210	1136
Máxima	9,3	8,29	x	x	100	100	27,2	28,7
Mínima	0,3	0,3	x	x	0,7	1	2,3	2,1
Moda	2,4	3,2	233	216	100	100	16,8	14,6
Mediana	3,3	2,5	216	135	31,8	36	16,1	15,2
Media	2,5	1,7	48,6	50	14,7	20,6	14,2	13,4
Promedio	3,4	2,4	x	x	38,9	41,4	16,1	15,4
<b>Octubre</b>								
Estación	1210	1136	1210	1136	1210	1136	1210	1136
Máxima	9,8	7,3	x	x	100	100	28,7	28,4
Mínima	0,2	0,3	x	x	1,5	3,3	4,2	4,1
Moda	1,7	3,2	234	219	100	100	15,6	14,4
Mediana	3,59	2,7	200	181	45,5	49,4	15,6	14,9
Media	2,7	1,7	44,5	47,6	24,5	28	13,7	13,4
Promedio	3,8	2,6	x	x	48,4	50	15,5	15

Fuente: Elaboración propia.

La velocidad del viento evidencia rangos que oscilan entre los 0,1- 10,8 m/s. Por otra parte, la dirección del viento es constante oscilando entre S y SO, y con modas de entre los 219° y 234°. La temperatura promedio varía entre 15°C y 17°C presentando

una moda de 14°C y las máximas y mínimas son de 2,1° y 30,1°. Por último, humedad relativa presenta una amplitud que va desde los 0,7% a 100%

#### 4.2.2. Condiciones meteorológicas en presencia de niebla

Los valores de las mediciones en periodos en presencia de niebla presentan amplitudes menores (mínimas y máximas) a diferencia de la tabla anterior que incluye las series de datos con ausencia de presencia de niebla.

Tabla 7. Estadísticos de las condiciones atmosféricas en presencia de niebla.

	Velocidad viento m/h		Dirección viento (Grados)		Humedad relativa (%)		Temperatura del aire (°C.)	
<b>Agosto</b>								
<b>Estación</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>
Máxima	7,7	7,4	x	x	100	100	9,4	9,0
Mínima	0,6	0,4	x	x	84,6	82,7	3,4	4,0
Moda	2,1	2,7	229	355	100	100	5,2	7,7
Mediana	3,23	1,9	122,5	178	100	99	4,8	5,4
Media	2,5	1,5	53,1	53,3	97,4	96,9	4,9	5,6
Promedio	3,4	2,2	x	x	97,6	97,1	5,2	5,8
<b>Septiembre</b>								
<b>Estación</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>
Máxima	8,1	7,8	x	x	100	100	13	11,3
Mínima	0,6	0,3	x	x	72,4	77,3	3,0	2,5
Moda	3,5	1,4	246	294	100	100	7,9	8,4
Mediana	3,5	2,1	246	195	100	99	7,9	8,2
Media	2,8	1,5	24,7	34,7	98,6	97,6	7,0	7,2
Promedio	3,5	2,3	x	x	98,7	97,8	7,4	7,7
<b>Octubre</b>								
<b>Estación</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>	<b>1210</b>	<b>1136</b>
Máxima	9,5	6,0	x	x	100	100	15,7	17,5
Mínima	0,5	0,3	x	x	53,2	43,2	4,3	4,4
Moda	4,7	2,0	235	359	100	99,9	8,3	8,7
Mediana	4,2	2,3	34,4	43,6	99,3	98,1	7,9	8,4
Media	3,1	1,5	32,9	31,8	97,0	93,9	7,8	8,2
Promedio	4,3	2,4	x	x	97,4	95,2	8,0	8,5

Fuente: Elaboración propia.

El cruce entre las variables atmosféricas y la presencia de niebla se realizó en base a las observaciones del sistema GOFOS. La Tabla 7 presenta las estadísticas resultantes del periodo de presencia de niebla.

##### 4.2.2.1. Temperatura en periodos con presencia de niebla

La temperatura medida por ambas estaciones tiene una baja amplitud (entre extremos). Esto se debe a que se están midiendo solo los días con presencia de niebla;

condiciones en las cuales la temperatura máxima desciende. El mes de septiembre presenta las temperaturas más bajas entre los 2,5° y 3°. Por otra parte, el mes de agosto presenta las temperaturas máximas más bajas del periodo entre 9° y 9,4°. Octubre por su parte contiene las temperaturas máximas más altas entre 15,7° y 17,5°. De este modo, las temperaturas poseen una amplitud entre los 2,5°C. y 17,5°C. La Tabla 8 da a conocer los rangos de temperatura en tres cohortes porcentuales que son los que concentran la mayor cantidad de registros de presencia de niebla.

Tabla 8. Temperatura y presencia de niebla

Rangos de temperatura (°C)	Presencia de niebla (%)
2,5-7	25,4%
7,1-13	73,3%
13,1-17,5	1,2%

Fuente: Elaboración propia

El rango entre los 7,1°-13 °C presenta las temperaturas que más se repiten durante periodos de presencia de niebla con un porcentaje de frecuencia de 73,3%. Por debajo de esos valores con un porcentaje de frecuencia de 25,4% se localizan periodos donde las temperaturas están entre 2,5-7°C. Por último, con un porcentaje de frecuencia de 1,2% se localizan los periodos de niebla que contienen valores de temperatura superior a los 13°C. El valor 17,5° marca el límite de temperatura. Por sobre esta cifra no hay eventos de niebla para el periodo de estudio.

#### 4.2.2.2. Humedad relativa en periodos con presencia de niebla

Las mediciones de humedad relativa características de los periodos de presencia de niebla están presentes en la Tabla 9. El 94% de registros de presencia de niebla presentan humedades mayores al 90%.

Tabla 9. Humedad relativa en periodos de presencia de niebla

Rangos de humedad relativa (%)	Presencia de niebla (%)
40-60	0,7
61-80	4,8
90-100	94

Fuente: Elaboración propia

Una alta humedad relativa es una condición común en periodos donde hay presencia de niebla. Por otra parte, los valores bajo el 60% solo representan al 0,78%.

### 4.2.2.3. Velocidad y dirección del viento en periodos con presencia de niebla

Los resultados de la variable velocidad del viento presentan una amplitud entre las medidas 0,3 a 9,5 m/h. La moda promedio es de 2,8 m/h. La Tabla 12. presenta los rangos de presencia de niebla de acuerdo con las velocidades del viento presentes durante periodos de presencia de niebla.

Tabla 10. Velocidad del viento y presencia de niebla. Promedio estaciones 1136 y 1210

Rangos de velocidad del viento (m/h)	Presencia de niebla (%)
0,3-3	53
3,1-6	39,6
6,1- 9,6	7,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Dirección del viento durante los eventos de niebla. Promedio estaciones 1136 y 1210

Dirección del viento	Presencia de niebla
N	21,6%
NO	39,9%
NE	5,2%
O	5%
S	2,5%
SO	2,4%
SE	14,2%
E	9,8%

Fuente: Elaboración propia

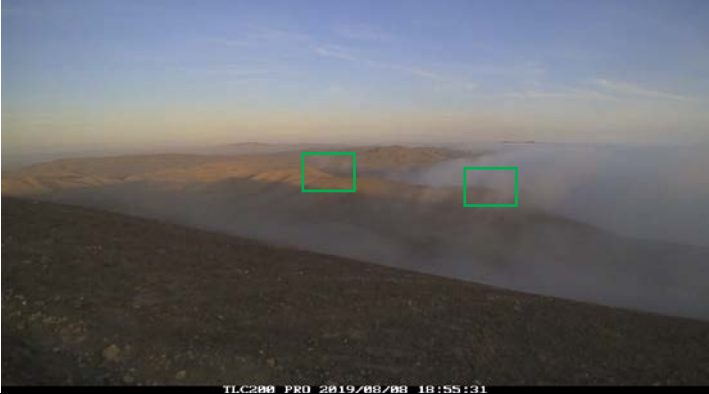
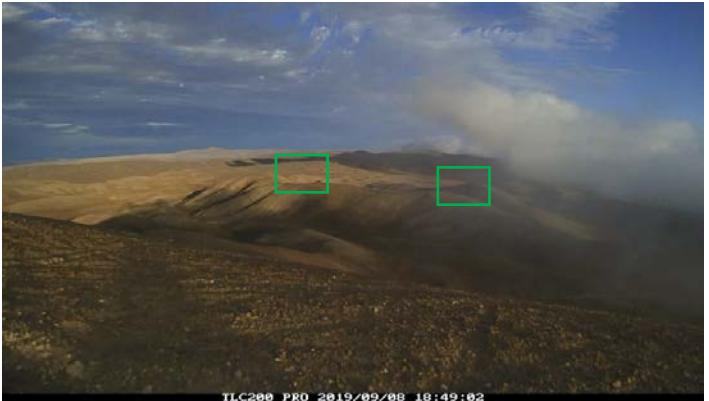

La dirección del viento se clasifica en 8 categorías basadas en la combinación cardinal de las direcciones del viento. La mayor parte del tiempo en periodos de presencia de niebla la dirección del viento es N y NO con porcentajes de presencia de 21,6% y 39,9% respectivamente. En lo relativo a estas direcciones se contempla que un 61,5% de los periodos de presencia de niebla presentan esta característica N-NO. El resto de las direcciones es más variable (ver Tabla 10).

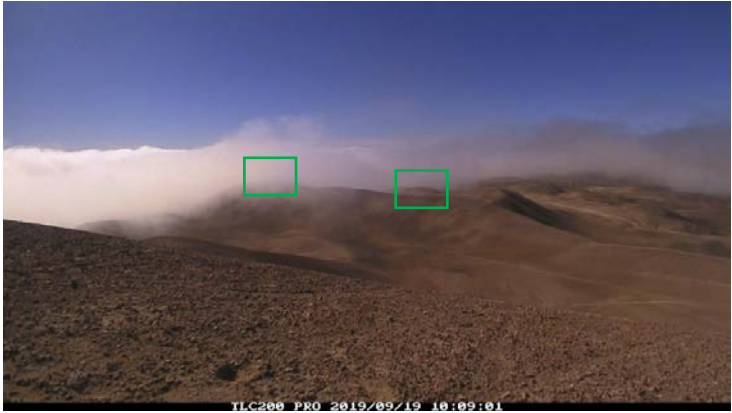
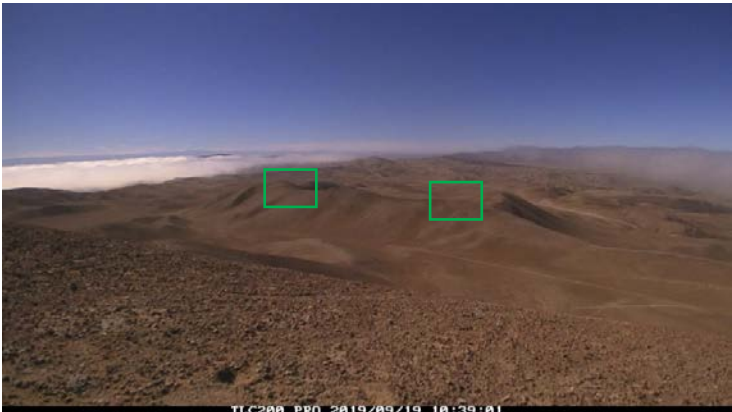
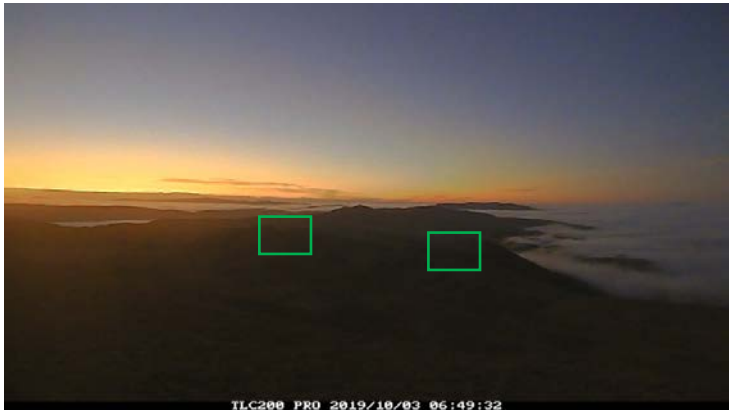
## 4.3. Determinar la relación entre presencia de niebla y captación de agua niebla en el Tillandsial de Oyarbide.

### 4.3.1. Comparación de las series de datos de GOFOS

Al analizar las secuencias resultantes de las series de datos GOFOS se logra identificar diferencias en la suma de los registros que determinan la presencia o ausencia de niebla. Dicho resultado, es clave para comprender la dinámica entre la presencia de niebla y el proceso de captación; el que, según la hipótesis del trabajo realizado, está supeditado a las condiciones atmosféricas presentes durante la presencia de niebla.

Figura 12. Desplazamiento de la niebla en el tillandsial de Oyarbide.

	<p>(a). Fecha del registro 08 de agosto de 2019- 18:55 horas. La nube a ras de suelo se desplaza hacia el tillandsial de Oyarbide, donde solo cubre la estación meteorológica 1136, 10 minutos después cubre ambas estaciones.</p>
	<p>(b). Fecha del registro 08 de septiembre de 2019- 18:49 horas. La nube se desplaza proveniente del océano alcanzando sólo a cubrir la estación 1136.</p>
	<p>(c). Fecha del registro 09 de septiembre de 2019- 19:39 horas. La nube se desplaza proveniente del océano alcanzando sólo a cubrir la estación 1136.</p>

	<p>(d). Fecha del registro 09 de septiembre de 2019- 10:09 horas. La nube se desplaza sobrepasando el área de estudio, siendo totalmente distinto a los resultados obtenidos en la fotografía anterior, en la estación 1210.</p>
	<p>(e). Fecha del registro 09 de septiembre de 2019- 10:39 horas. La nube se desplaza sobrepasando el área de estudio.</p>
	<p>(f). Fecha del registro 03 de octubre de 2019- 06:49 horas. La nube se retira en dirección al océano (oeste) generando una diferencia en los registros de las estaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia.



La dinámica atmosférica en la zona de estudio es variable durante todo el año. Su condición atmosférica varía según estación del año. La primavera es el periodo donde mayor cantidad de colecta de agua se genera (Farias et al., 2005; Osses et al., 2017). En el estudio esta relación se corroboró, ya que los meses de septiembre y octubre reunieron el mayor número de eventos de niebla y con ello por más altos porcentajes frecuencia de presencia de niebla.

En contraste, el mes de agosto presentó solo 1 evento de niebla. El mayor número de eventos se presentó durante el mes de octubre. No obstante, el evento de niebla de mayor duración se presentó en septiembre con una duración mayor a 24 horas en la semana 6 del estudio. Al comparar los registros de 1136 y 1210 se reconoce la existencia de una diferencia en la cantidad de registros, ya que la serie de datos obtenida de la estación meteorológica 1136, posee una mayor cantidad de registros en comparación con la serie de datos 1210 ubicada en la parte superior del tillandsial. Al analizar el registro fotográfico con el que se realiza el registro de presencia de niebla se evidencia la importancia de la dinámica de desplazamiento de la nube a ras de suelo. La que explica el desfase o ausencia de niebla en una estación o viceversa; generando una diferencia temporal de 68 registros; equivalente a 11 horas con 20 minutos entre los registros visuales del sistema GOFOS. Las secuencias de imágenes de la Figura 16. explica la dinámica registrada de la niebla; basándose en el ingreso, retroceso y disipación de la niebla.

Tabla 12. Medidas de agua niebla colectada

Mes	1136	1210
Agosto	3490ml	8000ml
Septiembre	13000ml	31600ml
Octubre	14000ml	43750ml

Fuente: Elaboración propia.

El desfase en los registros de datos tiene como base la dinámica de desplazamiento de la nube, visualizando que, ésta por momentos solo se posa sobre la estación meteorológica más cercana al océano. Así mismo, cuando la nube se retira, cubre diferenciadamente las estaciones generando conteos 1 y 0 respectivamente.

Frecuentemente la nube se retira en dirección “Este” retrocediendo hacia el océano. El registro visual da a conocer que en pocas ocasiones la nube avanzó más allá de la estación 1210 localizada en la parte alta del tillandsial, disipándose en la medida que avanza hacia el valle entre las cordilleras. La distancia entre las estaciones es de aproximadamente 1,3 km y la diferencia altitudinal de 74 metros; diferencias que son de gran importancia para comprender el desplazamiento de la nube y con ello, el proceso de captación de agua niebla en base a sus rendimientos, dado que la estación que se encuentra localizada a una altura mayor colecta mayores volúmenes de agua niebla. Así lo demuestra la tabla 12 que contiene las medidas mensuales de agua niebla colectada durante el periodo de estudio.

Sin ir más lejos, la mayor cantidad de registros pertenece a la estación 1136. No obstante, la mayor captación de agua de niebla está contenida en la estación 1210.

Con ello, se comprende que el proceso de colecta presenta mayor eficiencia en la parte alta del tillandsial; zona que presenta una cobertura vegetal densa en comparación con la parte baja, que exhibe ausencia de vegetación. Resultado que deja de manifiesto que la morfología del relieve y la diferencia altitudinal son un factor esencial. Demostrando que la presencia de niebla no proporciona necesariamente mayores cantidades de agua niebla colectada, lo que se explicaría en base a las características propia de la nube basadas en su altura y densidad.

Del mismo modo, al analizar la variable de velocidad del viento, se observa una diferencia entre ambas estaciones, registrando mediciones de mayor velocidad en la zona alta del tillandsial. Como ejemplo de ello, se analizaron los eventos de presencia de niebla ocurridos el 19 de septiembre y 31 de octubre de 2019, donde ambos eventos registraron velocidades de viento mayores en la estación 1210 con velocidades de 1,4 - 7 m/s, y para la estación 1136, se registraron velocidades entre 0,3- 3,7 m/s. Por otra parte, el segundo evento de niebla en la estación 1210 presenta velocidades de 1,6 - 9,2 m/s y de 0,6- 5,4 m/s en la estación 1136 con lo que se establece una diferencia de velocidad de 3,8 m/s entre los registros de ambas estaciones durante el mismo evento de niebla.

Junto con lo anterior, se analizaron las velocidades de viento de forma mensual, realizando una comparación entre las mediciones registradas por ambas estaciones. Se evidencio que las mediciones de la velocidad del viento presentaron mayor velocidad en la estación 1210 en los tres meses del estudio, con una diferencia promedio de 2 m/s. Situación que, según los volúmenes de aguas colectados de forma mensual estaría permitiendo coleccionar mayores volúmenes de agua de niebla en la estación 1210 a pesar de que la estación 1136 posee mayores registros SFC. La dinámica de registros SFC presenta una lógica contraria a los registros obtenidos con GOFOS, ya que la estación que se encuentra a mayor altura contiene el mayor número de registros, con una diferencia de 165 equivalentes a 27 horas con 30 minutos.

Por su parte, al analizar la humedad relativa mensual registrada por los sensores de ambas estaciones se evidencia un alto porcentaje de humedad en el ambiente, posterior a los eventos de niebla; estado que se mantiene en esa condición a lo menos por 5 horas promedio (para el mes de octubre) no descendiendo de 60% de humedad relativa (en ausencia de niebla); representando un 30% de presencia de humedad significando así, una alta representatividad de porcentajes del rango 60-100% de humedad relativa en momentos en donde no hay niebla.

Esta dinámica es muy diferente para el mes de agosto, siendo el que contiene el menor número de eventos, y, por consiguiente, la menor cantidad de presencia de niebla, lo que conlleva a una menor humedad relativa en el ambiente en periodos de ausencia de niebla con un porcentaje de 3% para rangos de humedad de entre 60-90%. Lo que representa, además, un menor desfase entre las secuencias de registros de presencia de niebla, en comparación con los meses de septiembre y octubre. Esto se presenta como la base de los registros en desfase de SFC en comparación con GOFOS, ya que existen momentos en que las estaciones presentan colecta de agua sin la presencia de niebla en el ambiente.

Figura 13. Humedad ambiental



(a). Fecha del registro 02 de octubre de 2019, 06:49 horas. Presencia de rocío matinal que empañó el lente de la cámara GOFOS. No se visualiza presencia de niebla, el último registro de niebla fue a las 5:30 del mismo día.



(b). Fecha del registro 02 de octubre de 2019, 07:29 horas. Presencia de rocío matinal que empañó el lente de la cámara GOFOS. No se visualiza presencia de niebla, el último registro de niebla fue a las 5:30 del mismo día, (secuencia continua a la anterior).

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar las imágenes obtenidas con GOFOS se observa que varias de ellas presentan evidencia de rocío generado por la condensación del vapor de agua contenido en el aire. Los lentes de las cámaras están mojados sin existir presencia de niebla en el registro. La Figura 13 da cuenta de lo expuesto.

## 5. Análisis de Resultados

### 5.1. Condiciones atmosféricas presentes durante los eventos de niebla

Los resultados del análisis estadístico de las condiciones atmosféricas que se desarrollan en presencia de niebla son de tipo cuantitativo y no cualitativo, dado que

no analiza cada evento de niebla, sino que el promedio medible de los 22 y 24 eventos registrados por el sistema GOFOS. La tabla 13 muestra el resumen de los valores más representativos de los periodos en presencia de niebla.

Tabla 13. Características de episodios de eventos de niebla

<b>Variables</b>	<b>Rangos</b>	<b>Porcentaje de presencia de rangos durante eventos de niebla</b>
<b>Temperatura del aire</b>	7,1-13°C.	73,3%
<b>Humedad relativa</b>	90-100%	94%
<b>Velocidad del viento</b>	0,3-3m/s	53%
<b>Dirección del viento</b>	NO-N	39,9 % y 21,6% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Las temperaturas de los eventos registrados oscilan entre 7,1 -13°C, ya que el 73,3% de los registros de las series de datos presentan esos valores, siendo estos característicos de la presencia de niebla. El 94 % de los registros de presencia de niebla contienen valores entre los 90 -100% de humedad relativa ambiental y solo el 6% restante está por debajo de ese umbral.

El 50% de los registros de velocidad del viento están entre los 0,3 -3 m/s, condición particular y esencial para la captación de niebla instrumental. Por otra parte, a diferencia de lo establecido por Cereceda et al., (1999) que establece que los vientos predominantemente en la Región de Tarapacá poseen direcciones S, O, y SO; para este estudio los vientos presentan una marca dirección NO-N, muy por sobre los valores de repetencia de las direcciones establecidas por la autora. En esta investigación, las direcciones S, O y SO solo poseen aproximadamente un 5% de representatividad en los registros de las series de datos de presencia de niebla en el área de estudio.

La temperatura y la humedad relativa del ambiente han sido determinantes para el análisis. Ambas presentan menor variabilidad estadística, dado que sus valores porcentuales presentan marcadas representatividades en rangos específicos. En cambio, la dirección y velocidad del viento presentan mayor variabilidad estadística. Los porcentajes de presencia se agrupan de forma equitativa en los diferentes rangos obteniendo una menor representatividad que no permite excluir otros rangos en la caracterización.

## 5.2. Diferencias mensuales de presencia de niebla

El ciclo anual de nubes estratocúmulos en la costa del desierto de Atacama está bien documentada, con mayor presencia y extensión espacial durante el invierno austral y principios de la primavera, disminuyendo su presencia durante el verano (Farías et al., 2005; del Río, et al., 2018).

Los ciclos de la niebla, como lo plantea del Río et al., (2018) están determinados por la estacionalidad del hundimiento del aire a gran escala y la temperatura superficial del mar. Condición que da lugar durante el invierno y primavera a

temperaturas superficiales del mar (TSM) más frías y temperaturas del aire más cálidas, por encima de la capa de inversión térmica; produciendo una inversión de temperatura, que resulta en mejores condiciones para el desarrollo de la nube (Farías, 2005; del Río, 2018).

Por el contrario, durante las temporadas de verano y otoño, la capa de inversión térmica adquiere mayor altura, debilitando de este modo, la interacción entre la CLM y el aire seco; generando condiciones que reducen la producción de nubes, y por consecuencia, de niebla (Cereceda et al., 2008; del Río, 2018).

Los resultados de frecuencia muestran que la mayor presencia de niebla se produce en los meses de primavera, la ocurrencia de eventos en septiembre y octubre es muy alta, en comparación con el mes de agosto. Esta diferencia es explicada por el estudio realizado por Farías et al., (2005) quien plantea que la distribución de las nubes bajas en el mes de agosto (su estudio compara un mes de invierno y otro de verano) se da en la zona costera, no así, hacía el interior de los corredores de penetración dada la ausencia de vientos fuertes que permitan el desplazamiento de la masa nubosa; además, las temperaturas más frías del aire no permiten que la nube alcance una altura que le permita sobrepasar el farellón costero, por el contrario, en primavera los cambios en la presión atmosférica por el aumento de la temperatura permiten el ascenso de la nube baja y por ende, su desplazamiento hacia el interior de los corredores (Farías, et al., 2005).

La menor presencia de niebla en el interior de la Cordillera de la Costa y su mayor presencia en la zona litoral sería la explicación de la casi ausencia de niebla en Oyarbide durante el mes de agosto de 2019, dado que la ausencia de vientos no permitiría el ingreso de la nube baja por los corredores de penetración. Por el contrario, los meses primaverales presentan frecuencias regulares corroborando el ciclo resultante del estudio desarrollado por del Río et al., (2021) en Oyarbide el que presenta mayores frecuencias durante los meses de primavera disminuyendo su presencia durante el verano e invierno.

Los cambios de temperatura generan un dinamismo en la frecuencia de presencia y ausencia de nubes bajas y niebla, usualmente con bajas presiones y menor temperatura la nube adquiere mayor densidad y menor altura. A su vez, el efecto regulador del océano modera la temperatura en invierno, condición que produce menor intensidad en los vientos locales, dado que las diferencias de temperaturas son menores entre la atmosfera y el océano.

Por otra parte, durante la primavera aumentan las diferencias en la presión atmosférica debido al ascenso de la temperatura, produciendo diferencias de presión que intensifican la presencia de vientos locales y con ello, el ingreso de la nube hacia el interior del litoral. A su vez, la nube adquiere mayor altura debido al aumento de temperatura en el sistema, generando que las partículas de agua se separen adquiriendo menor densidad y peso. Dicho lo anterior, se comprende que la dinámica de desplazamiento de la nube para los meses de estudio se basa específicamente en la estacionalidad, es decir, la diferencia de frecuencia de la presencia de niebla en los meses de estudio se basa en las condiciones atmosféricas y su particularidad física,

que da lugar a diferencias en la altura de la nube que regula y restringe el paso de esta hacia el Tillandsial de Oyarbide.

Los registros de presencia de niebla semanales determinan que los eventos de niebla más recurrentes se observan en plena primavera, siendo el periodo de octubre (semanas 10-13) representativo de esto (según calendario del hemisferio sur), corroborando lo planteado por Farías et al., (2005), del Río et al., (2018), del Río., (2020).

Junto con lo anterior, a escala local las características topográficas: pendiente, laderas, altitud y la morfología del suelo controlan la distribución, presencia y contenido de agua de la niebla al interior de la Cordillera de la Costa (del Río et al., 2018). Tal es la incidencia de esta dimensión que, Del Río et al., (2018) plantea en su estudio una diferencia del 70% en los rendimientos de agua de niebla en menos de 150 metros en el perfil vertical, estableciendo con ello que la morfología de los corredores de niebla es esencial en el proceso de captación de niebla, ya que el desplazamiento de la nube dependerá de la topografía para penetrar hacia el interior.

Este planteamiento es preponderante para la comprensión de las diferencias en los registros de las series de datos de ambos métodos de recolección de información, condición que se confirma en los volúmenes de agua de niebla colectados. Si bien se ha establecido un rango altitudinal específico para la instalación de los atrapanieblas entre los 800 y 1.100 m.s.n.m. (Espejo, 1993; Cereceda et al., 1999) se destaca que, a mayor altura, mayor es el volumen de agua colectada, así lo demuestra la tabla 14, presentando diferencia promedio de 17,6 litros para todo el periodo de estudio.

En consonancia con lo anterior, esto plantea una problemática, ya que existe una mayor presencia de registros de datos de frecuencia de presencia en la estación localizada a una altitud de 1136 m.s.n.m. pero presentando un menor rendimiento de captación, ya que la estación localizada a una altura de 1210 m.s.n.m. presenta mayor volumen de agua colectada, lo que conlleva a analizar la propia estructura de la nube baja y del contenido de agua que contiene la masa nubosa en su perfil vertical abriendo la posibilidad de generar otro estudio que determine la cantidad de agua presente en las diferentes alturas del grosor de la nube baja la que según Garreaud et al., (2008) se mantiene constante en las diferentes latitudes con un grosor promedio de ~200 metros. No obstante, en este estudio adquiere importancia la altura de la nube, dado que como lo ha planteado el autor la altitud de la base de la inversión térmica (techo de la nube) aumenta continuamente de sur a norte debido al también continuo aumento de la TSM a lo largo de la costa, y a la ubicación y desplazamiento del anticiclón. Situación, que da a entender que la estación meteorológica localizada a una altura de 1210 m.s.n.m. está al límite de ese rango exponiéndose al paso de la nube baja cuando esta penetra con el corredor (1200 m.s.n.m. en la Región de Tarapacá). A diferencia, la estación meteorológica 1136 está por debajo de dicho rango presentando presencia de niebla óptica visualizada por GOFOS, pero no colectando agua de niebla dado su nivel topográfico más bajo.

Esta situación hipotética requiere de comprobación dado que la variabilidad vertical de la nube baja forma parte de un campo de estudio no bien comprendido, por lo que aseverar que se cumple dicha condición es errónea, pero que a priori representa

una posibilidad para entender la diferencia en altitudinal en cuanto a la presencia y rendimientos de colecta de agua de niebla en el Tillandsial de Oyarbide.

### **5.3 Presencia diaria de niebla**

Los ciclos diarios de la nube estratocúmulos están influenciados fuertemente por el intercambio de aire local terrestre y del aire en altamar. Esta condición permite que la nubosidad alcance su punto máximo de presencia durante la noche, el atardecer y el amanecer debido a las bajas temperaturas atmosféricas que se presentan. Por el contrario, la menor presencia de niebla se da durante el mediodía producto de la intensa radiación que actúa disipando el banco de niebla (Farías et al., 2005; del Río, et al., 2021; Osses et al., 2017).

Esta condición temporal horaria de la presencia de la nube es corroborada en esta investigación; el perfil horario resultante de la presencia de niebla determina que los eventos registrados ocurrieron durante la noche y el alba (20:00-08:00), confirmando lo establecido por otras investigaciones realizadas en las costas del Desierto de Atacama (Farías et al., 2005; del Río et al., 2021; Osses et al., 2018).

No obstante, durante el estudio se registró la ocurrencia de eventos de niebla entre 08:00 y las 20:00 horas, sobre todo, durante los meses de septiembre y octubre, los que se caracterizaron por su alta intermitencia, siendo la mayor parte resabios de eventos de niebla ocurridos. Estos eventos son indicativos del aumento de niebla estacional, que sin duda no forman parte de la tendencia horaria determinada, si son parte de la dinámica estacional de la niebla.

## **6. Conclusiones**

El presente estudio caracteriza las condiciones atmosféricas bajo las cuales se produce el proceso de captación de agua de niebla en el tillandsial del cerro Oyarbide. Si bien, el tiempo del estudio es acotado, permite caracterizar ciertos patrones atmosféricos específicos en periodos con presencia de niebla. Se debe comprender que los resultados del estudio representan las condiciones atmosféricas de un sitio en particular. Condiciones que no son homologables a otros territorios, dada que el comportamiento geoespacial de la niebla según lo planteado en el estudio responde a factores geográficos locales. Más aún, las condiciones meteorológicas también responden al contexto local.

El proxi aplicado en este estudio es el primero en su tipo. Este trata de develar la relación existente entre captación y colecta de agua de niebla comparando dos sistemas de recolección de información. GOFOS presenta un diseño que mide la frecuencia y distribución de la niebla; y los SFC presentan un sistema de colecta agua de niebla. Para poder hacer comparable las mediciones de ambos sistemas se debió estandarizar los datos estableciendo valores 0 y 1 para determinar la presencia visual y colecta de agua de niebla.

Al comparar los registros de presencia de niebla (observada) y colecta (volumen) de agua niebla se evidencian diferencias significativas.; 1) la estación meteorológica 1210 localizada en la zona alta del tillandsial posee mayor volumen de agua de niebla colectada por los SFC. 2) la estación meteorológica 1136 posee mayor registro de presencia de niebla medible a través del sistema GOFOS. En esta situación la diferencia de altitud y a la distancia de la costa entre ambas estaciones representa una condicionante. La diferencia altitudinal es de 74 metros y la diferencia de la costa es de 956 metros. Lo que expone que la condición local de la niebla es un factor de importancia. Relación que explicaría de cierto modo la divergencia entre presencia y captación.

La investigación desarrollada es experimental y el periodo comprendido en el estudio es acotado. Por ende, solo representa un panorama de la realidad espacial y temporal de la niebla en la zona de estudio. Para comprender de mejor forma la variabilidad de la niebla es necesario ampliar el rango temporal de las mediciones a los menos 5 años (Del Río et al.,2021) con la finalidad de entender su comportamiento anual, interanual y posibles cambios producto del impacto del cambio climático en las costas del desierto.

En la investigación el sistema de monitoreo GOFOS se presenta como un nuevo mecanismo para visualizar la presencia de frecuencia de NNB. Permite evidenciar de forma directa la presencia de niebla. Además, permite caracterizar de forma in situ el comportamiento geoespacial de la NNB en la particular geografía de la costa desértica.

De este modo, el presente estudio abre paso a una serie de interrogantes. Sobre todo, en el área que tiene como objeto investigar sobre la variabilidad a escala local de la niebla. Las mediciones indican que a mayor altitud mayor es la captación de agua de niebla, no así la presencia niebla. Ya que, la estación ubicada a una altitud de 1210 presenta menores frecuencias de presencia. No obstante, la mayor presencia de frecuencia de niebla en la estación 1136 localizada en la parte baja del cerro no es indicativo de que SFC instalado este colectando mayores volúmenes de agua de niebla. Por el contrario, según el registro de captación posee menores volúmenes de colecta de agua, pero una mayor presencia de niebla según GOFOS. Esto demuestra que, para el periodo de estudio, la presencia de niebla no necesariamente implica una colecta de agua de niebla por la tecnología de un SFC.

## 7. Referencias bibliográficas

- Cereceda, P. & Gerston, R. (1989). La distribución de la niebla en Chile. *Geografía Norte Grande*, 49, 43–49.
- Cereceda, P., Schemenauer, R.S. (1991). The occurrence of fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology* 30 (8), 1097–1105.
- Cereceda, P., Schemenauer, R.S. (1992). The occurrence of fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology* 30 (8), 1097–1105.



- Cereceda, P. & Schemenauer, R. (1997). Agua en el Aire. In: *Revista Universitaria PUC Chile* 56: 45-49.
- Cereceda, P., Larrain, H., Lázaro, P., Osses, P., Schemenauer, R.S. and Fuentes, L. (1999). Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Tarapacá. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 26: 3–13.
- Cereceda, P., Egaña, I., Pinto, R., Larrain, H., Osses, P., Farías, M., (2004). Estudio biogeográfico de la comunidad arbustiva del farellón costero de Punta Patache, Iquique, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 31, 99–113.
- Cereceda, P., Larrain, H., Lázaro, P., Osses P. y Schemenauer R. (2000). La niebla, agua potable para zonas rurales. *Terra Australis*, 45, pp. 143-160.
- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Farías, M., Del Río, C., Egaña, I. (2008). The climate of the coast and fog zone in the Tarapacá Region, Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87(3–4), 301–311.
- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Farías, M., & Egaña, I. (2008). The spatial and temporal variability of fog and its relation to fog oases in the Atacama Desert, Chile. *Atmospheric Research*, 87(3–4), 312–323.
- Cereceda, P., Leiva, J., Rivera, J., y Hernández, P. (2014). Agua de Niebla: nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas. Proyecto CORFO.
- CIREN, 2013. Caracterización de Humedales Altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país. Antecedentes climáticos I región de Tarapacá.
- Cuadrat, J. y Pita, F. (1997). *Climatología*. Ediciones Catedra. Madrid, España.
- Del Río, C., García, J., Osses, P., Zanetta, N., Lambert, F., Rivera, D., Lobos, F. (2018). ENSO Influence on Coastal Fog-Water Yield in the Atacama Desert, Chile. 127–144.
- Del Río (2019). Spatiotemporal characteristics of coastal fog in the Atacama Desert: A remote sensing based analysis of the past, present and future distribution and variability of low clouds under climate change in a hyper-arid region of northern Chile.
- Del Río, C., Lobos, F., Latorre, C., Koch, M., García, J., Osses, P., Lambert, F., Alfaro, F. y Siegmund, A. (2021). Spatial distribution and interannual variability of coastal fog and low clouds cover in the hyperarid Atacama Desert and implications for past and present *Tillandsia landbeckii* ecosystems
- Espejo R., C. Burgos, R. Zuleta, L. Martínez, H. Correa y A. Gioda (1993), “Balance teórico y experimental de captación de agua de los estratocúmulos costeros”, III Encuentro de Física, Chile, pp. 237-246.
- Fariás, M., Cereceda, P., Osses, P. O., & Núñez, R. (2005). Comportamiento espacio-temporal de la nube estratocúmulo, productora de niebla en la costa del desierto de Atacama (21° lat. S., 70° long. W.), durante un mes de invierno y otro de verano. *Investigaciones Geográficas*, 56, 43–61.
- García, J. L., & Osses, P. (2017). Investigaciones en el desierto de Atacama Centro UC Desierto de Atacama – Estación Atacama UC, Oasis de Niebla Alto Patache. *Revista de Geografía Norte Grande*, 10(68), 5–10.
- Garreaud, R., Rutllant, J. (2006). Variabilidad atmosférica de alta frecuencia en el borde oriental del anticiclón del pacífico sureste. *Ciencia y Tecnología del Mar*, vol. 29, núm. 1, marzo, 2006, pp. 5-13

- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D. Fessehaye, G. M. (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio*, 41(3), 221–234.
- Hesse, R. (2012). Spatial distribution of and topographic controls on Tillandsia fog vegetation in coastal southern Peru: Remote sensing and modelling. *J. of Arid Environments*, 78: 33–40.
- Koch, M. A., Kleinpeter, D., Auer, E., Siegmund, A., Rio, C., Osses, P., ... Kiefer, C. (2019). Living at the dry limits : ecological genetics of Tillandsia landbeckii lomas in the Chilean Atacama Desert. *Plant Systematics and Evolution*, (0123456789).
- Koepen, W. (1948). *Climatología*. Fondo de Cultura Económica, Mexico.
- Larraín, H., Velásquez, F., Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Osses P. & Schemenauer R.S. (2002). Fog measurements at the site "Falda Verde" north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *J. Atmos. Res.* 64: 273–284.
- Latorre, C., González, A.L., Quade, J., Fariña, J.M., Pinto, R. and Marquet, P.A. (2011). Establishment and formation of fog-dependent Tillandsia landbeckii dunes in the Atacama Desert: Evidence from radiocarbon and stable isotopes. *J. Geophys. Res.* 116: G03033.
- Lictevout, E. (2013). Recursos hídricos Región de Tarapacá. *CIDERH*, 1(978 956 302 081-6), 110.
- Luebert, F. (2011). Hacia una Fitogeografía histórica del desierto de Atacama. *Revista del norte Grande*. 50: 105-133
- Marquet (1998) Los ecosistemas del desierto de Atacama y área andina adyacente en el norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71:593-617.
- Morales, P. (2008). *Estadísticas aplicadas a las ciencias sociales*. Biblioteca Comillas. Madrid, España.
- Osses, P., Cereceda, P., Larraín, H. & Schemenauer, R.S. (1998). Influence of relief on the origin and behaviour of fog at Tarapaca, Chile, 1st International Conference of Fog and Fog Collection Proc., Vancouver, Canada, 1998, pp. 245–247.
- Osses, P., del Río, C., Vargas, C., García, J. L., Siegmund, A., & Marzol, M. V. (2018). FOG Water Yields In The Hyper Arid Atacama Coastal Desert – A Spatiotemporal Analysis Of Natural Water Resources In The Tarapacá Region, CHILE. 57.
- Osses, P., Escobar, R., del Río, C., García, R., & Vargas, C. (2017). El clima desértico costero con nublados abundantes del desierto de atacama y su relación con los recursos naturales energía solar y agua de niebla. Caso de estudio alto patache (20,5°S), región de tarapacá, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48(68), 33–48. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022017000300033>
- Oyarzun, J.; Oyarzun, R. (2011). Sustainable Development Threats, Inter-Sector Conflicts and Environmental Policy Requirements in the Arid, Mining Rich, Northern Chile Territory. 274(December 2009), 263–274.
- Schemenauer, R. y P. Cereceda. (1988) The collection of fog water in Chile for use in coastal villages. Proc. VI IWRA World Congress on Water Resources, 23 May-3 Jun. Ottawa, Canada.
- Schemenauer, R. S. & Cereceda, P. (1994). A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. In: *Journal of Applied Meteorology*, Vol 33, No. 11: 1113-1322.
- Schemenauer, R. S. and P. Cereceda (1997), "Fog Collection", *Tiempo (UK)*, pp. 17-21.

- Schulz, N., Boisier, J. P., & Aceituno, P. (2012). Climate change along the arid coast of northern Chile. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1803–1814.
- Rundel, P., Dillon, M., Mooney, H., Ehleringer, J. (1991). The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Deserts. *ALISO* 13(1). 1-49.
- Pezoa, M. (2018). Análisis sobre la influencia de elementos meteorológicos, en la captación de agua niebla, en Alto Patache, Región de Tarapacá. Tesis para optar al grado de Geografo Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Pinche, C. (1996) Captacion de agua de niebla en lomas de la costa peruana. *Ingenieria hidraulica en Mexico*. 2:49-54.
- Pinto, R., Barria, I. and Marquet, P. A. (2006). Geographical distribution of *Tillandsia lomas* in the Atacama Desert, northern Chile. *J. Arid Environ.* 65: 543–552.
- Vargas, C. (2019). Relación espacio-temporal entre temperatura superficial del mar (TSM) y presencia de niebla, en la costa de la región de Tarapacá, Chile.
- Vives, R. (2018). Caracterización meteorológica de los eventos de niebla en los Tillandsiales del cerro Oyarbide, Desierto de Atacama. Tesis para optar al grado de Geografo Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Westbeld, A., Klemm, O., Griebaum, F., Sträter, E., Larrain, H., Osses, P. & Cereceda, P. (2009). Fog deposition to a *Tillandsia carpet* in the Atacama Desert. *Ann. Geophys.* 27: 3571–3576.