



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACION DE LA RELACION EXISTENTE ENTRE LA VELOCIDAD Y LA
DIRECCION DEL VIENTO CON LA TEMPERATURA CON LA INFORMACION
GENERADA EN LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD
POLITECNICA SALESIANA EN EL PERIODO 2014-2019

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: OMAR FERNANDO AUCAPIÑA ARÉVALO
JOSÉ ADRIÁN GARCÍA BERMEO
TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD

Cuenca - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Omar Fernando Aucapiña Arévalo con documento de identificación N° 0106485923 y José Adrián García Bermeo con documento de identificación N° 0302426259; manifestamos que:

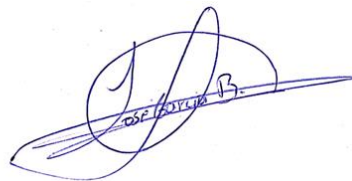
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de marzo del 2022

Atentamente,



Omar Fernando Aucapiña Arévalo
0106485923



José Adrián García Bermeo
0302426259

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Omar Fernando Aucapiña Arévalo con documento de identificación N° 0106485923 y José Adrián García Bermeo con documento de identificación N° 0302426259, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Determinación de la relación existente entre la velocidad y la dirección del viento con la temperatura con la información generada en las estaciones meteorológicas de la Universidad Politécnica Salesiana en el periodo 2014-2019”, el cual que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


Cuenca, 25 de marzo del 2022

Atentamente,



Omar Fernando Aucapiña Arévalo

0106485923



José Adrián García Bermeo

0302426259

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N° 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACION DE LA RELACION EXISTENTE ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DIRECCION DEL VIENTO CON LA TEMPERATURA CON LA INFORMACION GENERADA EN LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA EN EL PERIODO 2014-2019, realizado por Omar Fernando Aucapiña Arévalo con documento de identificación N° 0106485923 y por José Adrián García Bermeo con documento de identificación N° 0302426259, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción el Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de marzo del 2022

Atentamente,



Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, Ph.D.

0102156957

DEDICATORIA

A Dios por ser mi luz y guiarme por el camino correcto. A mi madre Piedad por ser mi fortaleza, por brindarme su amor y apoyo incondicional. A mi padre José por creer en mí, porque gracias a su ejemplo de superación y entrega sembró en mi motivación y el significado de sacrificio y constancia para hoy alcanzar la meta.

A mis hermanos, Caty, Felipe y Paul, que estuvieron a mi lado compartiendo momentos de sacrificio y esfuerzo, gracias por ser parte de este logro.

A ti Ezequiel, el ser que alegra mis días y a mi compañera de aventuras, gracias por tu apoyo incondicional.

...y a esas personas que, aunque no estén físicamente por circunstancias inexplicables, nos motivan a seguir adelante; y las que están a nuestro lado brindándonos apoyo en cada paso que damos; puedo decir que he tenido el privilegio de conocer a estas personas: Diana, Pamela, Adrián, MaCristina, Kevin, Stalin, Juan y Santiago, es a ellos a quienes dedico este trabajo.

Omar F. Aucapiña

DEDICATORIA

Adrián,

El presente trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios por haberme dado la paciencia ,el empeño y las fuerzas para culminar mi carrera universitaria.

A mis padres Marco García y Yolanda Bermeo, por todo el esfuerzo y sacrificio que han realizado para llegar a cumplir esta meta que a pesar de todas las adversidades y tropiezos nunca dejaron de estar a mi lado apoyándome, de la misma manera a mi hijo Alejandro que ha sido una motivación.

Además de mis padres esta investigación va dedicada para mi familia y amigos Cristina, Pamela, Omar y Carolina que de una u otra manera han sido una parte fundamental en este proceso con el cual cierro e inicio una nueva etapa de mi vida, que sin duda siempre será mi fortaleza y estarán allí para alentarme en los nuevos retos y desafíos que la vida me presenta.

Así mismo, agradezco infinitamente a mis Hermanos Viviana y Sebastián García que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy, y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en se fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

AGRADECIMIENTOS

A mis familiares y amigos, por estar siempre ahí con su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi compañero y amigo Chelito, porque sin el excelente equipo que formamos no hubiéramos logrado nuestros objetivos.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Omar F. Aucapiña

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la ayuda, que muchas personas me han presentado durante el proceso de investigación y experimentación de este trabajo.

A mi familia, hermanos e hijo que estuvieron presentes durante todo el proceso ayudándome en lo que fuera necesario para cumplir con los objetivos propuestos.

Un agradecimiento especial a la Universidad Politécnica Salesiana por la formación que recibí durante todo el trayecto.

A los docentes de esta institución principalmente al Ing. Saúl Ortiz por su incondicional apoyo e importantes aportes durante la carrera universitaria.

Finalmente, quiero agradecer a nuestro director de tesis, Dr. Pablo Arévalo por las enseñanzas, la paciencia y la sabiduría que compartió con nosotros para poder culminar este proceso.

Adrián

RESUMEN

En este trabajo de investigación se realizó la determinación de la relación existente entre la temperatura, la dirección del viento y la velocidad a partir de la información generada en las estaciones meteorológicas de la universidad politécnica salesiana en el periodo 2014-2019, el trabajo tiene un nivel de investigación de tipo descriptivo debido de que se pretende analizar la relación existente entre las variables meteorológicas de estudio (temperatura, velocidad y dirección de los vientos). Se realiza un análisis correlacional ya que la finalidad del trabajo es determinar el grado de relación o asociación existente entre las variables de estudio dentro del cantón Cuenca.

Mediante la aplicación del análisis multivariable, se analizó el comportamiento conjunto de más de una variable aleatoria, también se utilizó el método de análisis de componentes principales consiste en un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de menor variables no correlacionadas llamadas componentes principales, utilizando el software estadístico RStudio, se evidencio que existe dos componentes principales correlacionados entre sí, a través de los cuales se podría describir el comportamiento de la temperatura de la zona con combinaciones lineales de las variables dependientes, los círculos de correlación de estos componentes nos mostraron que existe una correlación fuerte y positiva entre las variables climatológicas. En el caso de la temperatura, se observó que solamente la estación Chaucha no presenta correlación respecto al resto a las demás estaciones meteorológicas. Por su parte, los círculos de correlaciones obtenidos para la velocidad del viento presentaron correlaciones fuertes y positivas entre las estaciones las que se congregaron en tres grupos principales, debido, entre otros factores, a su cercanía geográfica y características de la zona donde se encuentran localizadas.

Finalmente, para determinar la relación existente entre las variables caso de estudio a partir del Análisis de Componentes Principales se utilizo el método de regresión lineal *Partial Least Squares (PLS)*, obteniéndose un modelo lineal compuesto por la suma de dos componentes principales que se ajusta a los datos en un 95.24% y por lo tanto el modelo no es adecuado, ya que presenta un MSE de 19.97°C

Palabras Clave: Estaciones meteorológicas, Rstudio, predictivo, variables Climatológicas, Multivariable, círculos de correlación

ABSTRACT

In this research work, the determination of the relationship between temperature, wind direction and speed was carried out from the information generated in the weather stations of the Salesian Polytechnic University in the period 2014-2019, the work has a descriptive level of research because it is intended to analyze the relationship between the meteorological variables of study (temperature, speed and direction of the winds). A correlational analysis is carried out since the purpose of the work is to determine the degree of relationship or association between the study variables within the Cuenca canton.

Through the application of multivariate analysis, the joint behavior of more than one random variable was analyzed, the principal component analysis method was also used, which consists of a mathematical procedure that transforms a set of possibly correlated variables into a set of less uncorrelated variables. called principal components, using the statistical software RStudio, It was evidenced that there are two main components correlated with each other, through which the behavior of the temperature of the area could be described with linear combinations of the dependent variables, the correlation circles of these components showed us that there is a strong correlation and positive between the variables climatological. In the case of temperature, it was observed that only the Chaucha station does not present a correlation with respect to the rest of the other meteorological stations. On the other hand, the circles of correlations obtained for the wind speed presented strong and positive correlations between the stations, which were grouped into three main groups, due, among other factors, to their geographical proximity and characteristics of the area where they are located.

Finally, to determine the relationship between the case study variables from the Principal Components Analysis, the Partial Least Squares (PLS) linear regression method was used, obtaining a linear model composed of the sum of two principal components that fits the data. in 95.24% and therefore the model is not adequate, since it presents an MSE of 19.97°C

Keywords: Meteorological Stations, Rstudio, Predictive, Climatological Variables, Multivariable, Correlation Circles

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento de la problemática de la investigación	2
1.2. Formulación de la pregunta de investigación	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	3
1.5. Hipótesis	3

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO	2
2.1. Estado del arte	2
2.2. Marco Conceptual	4
2.2.1. Meteorología	4
2.2.2. Aspectos meteorológicos del viento	5
2.2.3. Variabilidad de la velocidad del viento a corto plazo	5
2.2.4. Variaciones diurnas del viento	5
2.2.5. Velocidad del viento con altura	5
2.2.6. Velocidad del viento con rugosidad	6
2.2.7. Medición de la velocidad del viento	7
2.3. Análisis del viento en Ecuador	7
2.4. Análisis de la temperatura en Ecuador	9
2.5. Estaciones meteorológicas del Ecuador	9
2.6. Bases teóricas	10
2.6.1. Meteorología y Climatología	10
2.6.2. Manejo de recursos naturales	14
2.6.3. Estadística aplicada	15
2.6.4. Contaminación del aire	20
2.6.5. Sistema de información geográfica	21

CAPÍTULO 3

3.1.	Nivel de investigación.....	22
3.2.	Diseño de investigación.....	22
3.2.1.	<i>Variables</i>	23
3.2.1.1.	<i>Dimensiones e Indicadores</i>	23
3.3.	Población y muestreo	24
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.5.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	25
3.6.	<i>Protocolo aplicado</i>	25
3.6.1.	<i>Delimitación del área de estudio</i>	25
3.6.2.	<i>Recopilación y depuración de datos</i>	25
CAPÍTULO 4		
4.1.	Datos topográficos y de superficie.	27
4.2.	Mapas de Temperatura Mínima.....	84
4.3.	Análisis estadístico	86
CONCLUSIONES		114
BIBLIOGRAFÍA		117

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Debido a las actividades de origen antropogénico, que generan emisiones de gases de efecto invernadero, se ha empezado a notar los efectos del cambio climático, contribuyendo a la alteración de un proceso natural dentro de nuestro planeta, conocido como el efecto invernadero. (BBC, 2013)

Este fenómeno es producto de las diversas actividades humanas que conllevan a la generación de gases de efecto invernadero, cuya influencia se observa de manera directa con los varios informes presentados por el Panel intergubernamental del cambio climático (IPCC) que muestran el incremento exponencial de dichos gases desde años posteriores a la revolución industrial. De manera concreta, se puede afirmar que las emisiones mundiales de gases de efecto de invernadero (GEI) por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre el año 1970 y 2004. (IPCC, 2007)

El IPCC¹ publica distintos modelos de proyección, conocidos como modelos de circulación general que son expresiones matemáticas de cómo funciona el sistema climático global. Para cada modelo climático se definen distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, que contemplan diferentes supuestos respecto a la futura evolución de la población, del crecimiento mundial y del uso de los recursos fósiles (Borges, Hastings, Rizzo, Garcia, & Jones, 2020).

Con las proyecciones climáticas que surgen de estos modelos y escenarios, se construye a partir de la interpretación de cómo funciona el sistema global no necesariamente contemplan las condiciones regionales y tampoco consideran la información recogida de las estaciones meteorológicas locales.

En septiembre de 2008, 20 grupos de modelación del clima alrededor del mundo, conjunto con el World Climate Research Programme (WCRP), el Working Group on Coupled Modelling (WGCM) y la colaboración del International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP) y el proyecto Analysis, Integration and Modeling of the Earth System (AIMES), se reunieron con el fin de promover un nuevo conjunto de experimentos de modelos climáticos coordinados. Estos experimentos comprenden a la quinta fase del proyecto de Intercomparación de modelos acoplados (Coupled Model Intercomparison Project - CMIP5-). Los cuatro escenarios de este proyecto proveen una gama de futuras simulaciones climáticas (caracterización de las próximas décadas a siglos), abordando las prioridades, ideas y sugerencias de muchas personas de diversas comunidades científicas como la modelización del clima,

¹ Panel intergubernamental del cambio climático

modelización biogeoquímica, modelos de evaluación integrada, impactos del cambio climático, análisis de clima, los procesos climáticos y las observaciones del clima (Armenta, Villa, & Jácome, 2016).

En el Ecuador el organismo responsable de proveer datos relaciones con el tiempo, clima y los recursos hídricos es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). A pesar de la importante gestión realizada por el INAMHI² existen zonas en el país donde no se cuenta con una suficiente cobertura de datos meteorológicos debido principalmente a la falta de equipamiento disponible. Esto ha causado que los estudios y modelaciones hidrológicas tengan limitación en su calidad de acuerdo a lo señalado por (Escobar, Lima, Purkey, & yates, 2013)

Se han utilizado modelos en las diferentes regiones del país, tales como el sistema regional Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS), el modelo japonés TL959 y el Modelo Atmosférico Regional (ETA), para describir los diferentes escenarios de cambio climático (Muñoz, 2010).

En la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca en diciembre del 2011 se firmó el convenio para la instalación y operación de una red de medición para hacer seguimiento de la precipitación con alta resolución temporal y espacial, mismo que servirá como una fuente importante de datos que permitirá contribuir al campo de la climatología de la zona tropical que todavía tiene un déficit considerable en esta región. (GAD Provincial Loja, 2013).

En la Universidad Politécnica Salesiana se está levantando información, pero lamentablemente en estos últimos años no se ha hecho un adecuado análisis de este tipo información

1.1. Planteamiento de la problemática de la investigación

La base de datos que se genera en las estaciones meteorológicas, la misma que la Universidad Politécnica Salesiana (sede Cuenca) es la encargada del manejo y manipulación desde el año 2014 hasta la actualidad, solo ha servido de uso exclusivo para brindar información al INAMHI³ para la predicción del clima y del tiempo.

1.2. Formulación de la pregunta de investigación

¿Conocer la relación existente entre las variables meteorológicas a través del análisis de la información obtenida en las estaciones meteorológicas monitoreadas por la Universidad Politécnica Salesiana?

³ Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

1.3. Justificación

La meteorología es una rama científica que satisface distintas necesidades del ser humano, e influye de forma vital en su toma de decisiones, generando una creciente demanda de información a escalas espacio temporal, local, regional y sinóptico.

La Universidad Politécnica Salesiana, a través de la de la carrera de Ingeniería Ambiental, ha desplegado sus esfuerzos durante los últimos años, a fin de proporcionar a tiempo y en forma continua, la información hidrometeorológica de las cuencas hidrográficas, que rodean a la ciudad de Cuenca. La finalidad de esta generación de información es contribuir con una mejor cuantificación y comprensión de los procesos hidrometeorológicos, para obtener una base de datos en acciones de manejo y planificación, con respecto a los recursos naturales de la cuenca y especialmente el recurso estratégico del agua, los cuales aportan al desarrollo económico, social y ambiental de la zona.

1.4. Objetivos

General

Determinar la relación existente entre la temperatura y la dirección del viento con la velocidad, con la información generada en las estaciones meteorológicas de la Universidad Politécnica Salesiana en el periodo 2014-2019.

Específicos

- Recopilar la información de las estaciones meteorológicas estableciendo un modelo estadístico a través de software especializado.
- Elaborar la rosa de los vientos, manipulando la dirección y la velocidad de los mismos, a través de herramientas estadísticas.
- Generar mapas temáticos de la dirección y velocidad del viento con la temperatura analizando el comportamiento de las variables a través de sistemas de información geográfica.
- Determinar la relación existente entre las variables de la temperatura y dirección del viento con la velocidad, obteniendo un modelo a través de un modelo estadístico realizando proyecciones

1.5. Hipótesis

Si existe la relación entre la temperatura y dirección del viento con la velocidad, se podría desarrollar modelos estadísticos para realizar proyecciones de velocidad y analizar el comportamiento del viento dentro del cantón Cuenca.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

En los últimos años los investigadores han aprovechado la información que se levanta en las estaciones meteorológicas, para emprender proyectos como por ejemplo la energía eólica. Los datos que registra el anemómetro y la veleta permiten a los investigadores conocer la velocidad del viento y su dirección, con estos datos sitúan zonas estratégicas para ejecutar sus proyectos.

Acosta *et al.* (2018) en su estudio de “*Análisis Estadístico Descriptivo e Inferencial de la Velocidad y Dirección del viento en la Costa Caribe Colombiana*” se realizó una caracterización de la velocidad y dirección del viento para la implementación de parques eólicos, para esto se realizó un análisis estadístico inferencial de los datos, permitiendo caracterizar la conducta del viento. Este estudio evidenció patrones de comportamiento local y variaciones, confirmando un fenómeno estacional.

Medina *et al.* (2017) en su estudio de “*Comparación de la temperatura, precipitación, velocidad media y dirección del viento medidas por dos estaciones meteorológicas, ubicadas en Punta de Piedras, isla de Margarita*” realizaron este estudio a partir de la comparación estadística de los datos tomados de la estación meteorológica clásica y automática en el periodo de 2006-2008, las diferencias significativas de los datos pueden deberse a las distintas tecnologías aplicadas, la edad y la falta de mantenimiento de los equipos o también a la ubicaciones de las estaciones .

Vincenti *et al.* (2012), en el “*Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito*”, que busca demostrar cambios progresivos, a partir de los datos mensuales de las variables climáticas; utilizando una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados más una prueba F para determinar su significancia estadística. Además, de analizar el comportamiento de los eventos extremos, sobre datos diarios en las variables de temperaturas máximas, mínimas y de precipitación, a través del paquete computacional RClimDex para el cálculo de índices de cambio climático recomendados por el ECTCCDI⁴. Lo que resulto en incrementos en las tendencias además de comportamientos anormales que podrían ser a causa del cambio climático.

Vergara *et al* (2014) en el artículo con tema “*Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia*” se obtuvo parámetros característicos para evaluar el recurso energético de la zona, para lo cual se consideró las

⁴ Expert Team on Climate Change Detection and Indices

siguientes variables radiación solar, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento tomado de los años 2010, 2011 y 2012 en estaciones que se encuentran ubicadas en lugares estratégicos de la ciudad. Teniendo como resultados que el 25% de horas anuales posee una velocidad del viento de 1m/s, para lo referente a radiación solar diaria en la ciudad Bucaramanga se obtuvo un resultado de 4,6 kWh/m² tomando en cuenta días soleados y despejados; con la temperatura ambiente se obtuvo un promedio correspondiente de 20,4°C, máxima de 23,1°C y mínima de 16,6°C.

Viteri y Guerrero (2013) realizaron un estudio para determinar el Año Meteorológico Típico (AMT) siendo esto una alternativa para caracterizar el clima, esto se dio a partir del análisis de los datos meteorológicos de precipitación, velocidad del viento, temperatura máxima, media y mínima; tomados del INAMHI. Se seleccionó cuatro estaciones en la región Sierra (Pichincha y Cotopaxi) en los años 1986–1996, tres estaciones en la región Costa (Los Ríos, El Oro y Santo Domingo de los Tsáchilas) en los años 1982–1992, y tres en el Oriente (Orellana y Morona Santiago) en los años 1988–1998. Analizados a partir del Método de Sandía Revisado. Se obtuvieron configuraciones diferentes del AMT, una para cada región.

Bazante (2015), en su trabajo de *“Análisis de la concentración de contaminantes atmosféricos de origen primario y mixto en relación a la variación de las condiciones meteorológicas en el Distrito Metropolitano de Quito”*, procura ser una proximidad al efecto producido por la variabilidad meteorológica en las concentraciones de contaminantes del aire en la ciudad de Quito, para llegar a este punto se analizó el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes del aire (CO, SO₂, NO₂, PM_{2.5}) a la par con los cambios de las variables meteorológicas (velocidad de viento, temperatura, radiación solar, precipitación) en el DMQ, entre los años 2006 y 2012. Los resultados obtenidos determinaron que la velocidad del viento no reduce la concentración de PM_{2.5}.

En la *“Regionalización espacial de series climáticas mensuales caso de estudio: Cuenca del río Guayllabamba”* de Serrano (2011), se enfoca en la generación de series de datos mensuales del periodo 1963-2006 de las siguientes variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa, heliofanía relativa, velocidad del viento y precipitación, para la utilización en modelos de gestión de recursos hídricos, se realizaron pruebas de homogeneidad como pruebas simples y dobles masas y el vector regional. Se obtuvo como resultado que solo un vector representativo para las variables meteorológicas excepto precipitación dado que para esta variable se encontraron 7 vectores en zonas de influencia, demostrando la variación de este parámetro en el área de estudio.

Para Tamayo (2014) en *“Estación de mediciones atmosféricas en la Universidad San Francisco de Quito (EMA) instalación de instrumentación de meteorología física de la estación terrena y evaluación de los tres primeros meses de datos”* el análisis de los patrones de comportamiento diurnos de las

variables meteorológicas durante los meses de julio y agosto del 2014 en el valle de Cumbayá, este trabajo se realizó mediante el análisis de curvas de variación diurna, dando como resultado para la temperatura ambiente está relacionada directamente con la radiación solar, por este motivo aumenta al salir el sol por lo que se registra las mayores temperaturas a las 14:00; la humedad relativa muestra una anti correlación con la temperatura dado que los datos demuestran que durante la madrugada alcanza los valores más altos del 90% aproximadamente; la velocidad del viento presenta que durante la madrugada velocidades promedio bajos y altos en horas de la tarde; por último la dirección del viento durante los meses de verano tiene el sentido Sur y Sureste.

En el estudio de Bustamante (2021) de “*Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador*” que se basó en la evaluación del comportamiento del viento y el efecto que causa la sensación térmica en la zona de estudio, la metodología se fundamentó en la selección de casos de estudios, los cuales se simplificaron de acuerdo a la relación altura / ancho y la dirección este-oeste y norte-sur. Mostrando resultados que muestran una relación geométrica que afecta el cambio de la velocidad del viento lo que modifica la temperatura en su interior, misma que puede disminuir o aumentar hasta 4°C que va a depender de la relación H/W, dirección y hora del día.

Barros y Troncoso (2010) en “*Atlas Climatológico del Ecuador*” construyó un medio de consulta ágil y gráfico, acerca de las variables climáticas como: precipitación, temperatura, humedad relativa y precipitación. Donde se analiza la variabilidad espacio temporal de estas variables, a nivel nacional y regional; incluyendo tendencias en valores anuales de: precipitación, temperatura y evaporización.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Meteorología

Esta ciencia se dedica a observar y analizar los elementos del tiempo, que principalmente son: temperatura, humedad, lluvia, dirección y velocidad del viento, nubosidad y radiación solar, cuando estos elementos son medidos y registrados en una hora determinada, constituyen el estado del tiempo, o tiempo presente, los datos guardados por varios años se los procesa a nivel estadístico, todos esos datos históricos constituyen el pasado del tiempo, que es el clima. Cuando se forma una conjetura del tiempo es el pronóstico, mediante el tratado de los fenómenos que suceden en la atmósfera, la meteorología trata de definir el clima, predecir el tiempo, comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas; la comprensión de las variaciones climáticas ha sido siempre de importancia para el desarrollo de la vida en general (INEC Panamá, 2006).

2.2.2. Aspectos meteorológicos del viento

El viento es el movimiento del aire en la Tierra, conducido por diferentes fuerzas, especialmente diferencias de presión en la atmósfera, que son a su vez producidas por el calentamiento solar irregular sobre la superficie de la Tierra, y fuerzas generadas por la rotación de la misma. Todas estas fuerzas actuando juntas, establecen sistemas de circulación a gran escala en la atmósfera con orientaciones horizontales y verticales (García, 2017). Durante una tormenta el viento no se mueve de forma constante, sino que varía en velocidad y dirección de un momento a otro de forma errática, estas variaciones son causadas por la agitación mecánica del aire que produce alta turbulencia debido a los vórtices dentro del flujo, que son generados por la acción cizallante entre las masas de aire moviéndose en direcciones opuestas a las diferentes altitudes, o debido a la fricción que se establece con el terreno, que intentan retardar el movimiento formando un perfil vertical de velocidades, producto de la capa límite atmosférica (Garrat, 1992).

2.2.3. Variabilidad de la velocidad del viento a corto plazo

La velocidad del viento está siempre oscilando, por lo que el contenido energético del viento varía continuamente. La magnitud de la fluctuación depende tanto de las condiciones climáticas como de las condiciones de superficie locales y de los obstáculos (Bayón, Cabecera, & Del Castillo, 2009).

2.2.4. Variaciones diurnas del viento

El viento suele soplar más fuerte durante el día que en la noche, dicha variación depende principalmente de la temperatura, es por esto que presenta turbulencias y tienden a cambiar más de dirección durante el día que durante la noche (Bayón, Cabecera, & Del Castillo, 2009).

2.2.5. Velocidad del viento con altura

Conforme mayor sea la altura sobre el nivel de suelo la velocidad del viento tiende a aumentar, debido que a bajas temperaturas el flujo de aire se retrasa gracias a la fuerza de fricción entre el aire y la superficie (Ossandón, 2008).

El perfil de velocidades del viento define como la velocidad promedio del viento (V_z) varía en función de la altura sobre el terreno (z). Conforme la altura aumenta, el efecto de la fricción es cada vez menos significativo, causando que la velocidad también aumente; a partir de una determinada altura, conocida como altura gradiente (z_g), la fricción deja de tener efecto sobre el flujo de viento, y este se mueve a una velocidad independiente de las características del suelo, conocida como velocidad gradienta (Mendis, y otros, 2007).

Se conoce como capa límite de la atmosfera a la región donde el efecto de la fricción es significativo y la velocidad del viento depende de la altura, en esta región ($z < z_g$) no solo existe una variación de la velocidad del viento con la altura, sino que también el viento tiende a presentar turbulencia debido a los obstáculos presentes en su trayectoria, lo que quiere decir que la velocidad a una altura especifica no es constante, sino que presenta fluctuaciones alrededor de la velocidad promedio (Holmes, 2015).

Debido a la variación de la velocidad del viento con la altura la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) definió una altura estándar como 10 metros por encima del nivel del terreno para que las mediciones del viento fueran comparables entre sí (WMO, 2010).

2.2.6. Velocidad del viento con rugosidad

Una de las características propia de la superficie que influye el viento es la rugosidad además está asociada a los obstáculos presentes en ella, como la vegetación y edificaciones, que pueden obstruir el paso del viento, la rugosidad usualmente se cuantifica en términos de la longitud de rugosidad (z_0), un parámetro con unidades de longitud que representa el efecto físico que tienen estos obstáculos sobre el flujo del viento; la longitud de la rugosidad es mayor mientras más rugoso sea el terreno (ASCE, 2010).

El espesor de la capa límite atmosférica como la forma que toma el perfil de velocidades, dependerá de la rugosidad del terreno. Además, se observa que, en terrenos poco rugosos, el viento alcanza altas velocidades a alturas menores alcanzando la velocidad gradienta dado a que el espesor de la capa limite es menor. Si el terreno tiene una alta rugosidad, como un centro urbano, el aumento de la velocidad con la altura se da de forma gradual, resultando un mayor espesor de capa límite (Nilsson, 2010).

Johanning (2019) en su trabajo de “*Análisis estructural de una nave industrial de acero con diferentes configuraciones de aberturas sujeta a fuerzas de viento*” hace mención de dos leyes que modelan el perfil de velocidades del viento de acuerdo a la rugosidad del terreno tales como la ley de potencia y la ley logarítmica, estas dos leyes pueden ser utilizadas para calcular la velocidad del viento V_z a determinada altura z , a partir de una velocidad de referencia V_{ref} medida a una altura de referencia z_{ref} . siendo estas leyes muy útiles para las diferentes normas para calcular las velocidades de viento a diferentes alturas.

- a) La ley logarítmica utiliza la longitud de rugosidad z_0 directamente, puede ser derivada de forma teórica, por lo que es considerada más precisa que la ley de potencia según Holmes (2015), hay que tomar en cuenta que esta ley es válida solo en la capa superficial de la atmosfera, que corresponde al 10% de la capa limite atmosférica ($z \leq 0,10 z_g$).

- b) Ley de potencia como la ley logarítmica son útiles para corregir velocidades del viento que no hayan sido medido a la altura estándar de 10 metros sobre la superficie, además pueden ser utilizadas para relacionar velocidades en terrenos con distinta rugosidad (Johanning, 2019).

2.2.7. Medición de la velocidad del viento

La medición del viento sobre la superficie terrestre tiene muchas aplicaciones prácticas. El hecho de contar con información histórica, en tiempo real, de la velocidad del viento permite realizar estudios de gran utilidad como ejemplo: el monitoreo y pronóstico de las condiciones climáticas, la estimación de la dispersión de agentes contaminantes en el aire, el cálculo de la energía eólica producida por una turbina, o bien, la determinación de las fuerzas de viento y su efecto sobre las estructuras (Castillo & Johanning, 2016).

En la actualidad debería existir un instrumento que logre medir desde una suave brisa hasta los vientos más fuertes de un huracán, respondiendo rápidamente a las fluctuaciones turbulentas, tener una salida lineal y una sencilla dinámica (Renom, 2011).

La velocidad del viento puede ser medida con algunas excepciones como cuando se presentan eventos o fenómenos catastróficos como tornados o huracanes. Para la medición de la velocidad del viento se utilizan los anemómetros, que son dispositivos dotados de un transductor que convierte la velocidad del giro del sensor en una señal mecánica o eléctrica que permite su registro en banda de papel o directamente informático (Zlomusica, 2003).

Para las principales características que debe poseer un anemómetro (Bayón, Cabecera, & Del Castillo, 2009) recomiendan que:

- Debe existir linealidad entre la velocidad del viento y la señal de salida.
- Las variaciones de densidad, temperatura, presión y humedad del aire no deben afectar a las mediciones del viento.
- La fiabilidad de las condiciones de calibración debe conservarse a largo plazo.
- Debe existir precisión las mediciones, debido a que un error del 10% en medidas de velocidad representa un error de 30% en la evaluación de la potencia eólica.

2.3. Análisis del viento en Ecuador

El viento hace la función de regulador del clima ecuatoriano, de acuerdo a los resultados obtenidos a partir de los datos del INAMHI para el periodo 1980-2006, muestra velocidades y direcciones variadas

que determinan una distribución geográfica propia, por lo que fue necesario al igual que para los otros elementos del clima (Portilla, 2018).

Portilla en su trabajo (Agroclimatología del Ecuador) establece que durante el mes de mayo la velocidad media del viento se concentra en la región Sierra teniendo valores altos que van de 11,8-19,3 m/s, mientras que la región Costa y Amazonía tuvieron valores intermedios que van de 7,2-8,7 m/s. A pesar que los valores de velocidad media del viento entre el mes de mayo y agosto son similares salvo que en este último hay un incremento, regulando la humedad relativa en la región Sierra, aun cuando existe un decrecimiento del % de HR (Portilla, 2018).

Los vientos que soplan desde los Andes disminuyen la temperatura de las zonas bajas de la Costa y Oriente. Además, al chocar con los vientos calientes y húmedos de estas regiones producen las precipitaciones. Las tres regiones continentales que distinguen el territorio ecuatoriano, Costa, Sierra y Oriente se diferencian entre sí y son el lugar de origen de grandes masas de aire que toman de ellas sus características, produciéndose con su desplazamiento ciertas modificaciones causadas por las variaciones que sufre al pasar por regiones con diferentes cualidades (INAMHI, 2009).

Las masas de aire generadas son:

- Masas Tropicales Marítimas. Estas masas se originan en las extensiones oceánicas y se distinguen por su alta temperatura y gran contenido de humedad.
- Masas Tropicales Continentales. Estas masas se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido menor de humedad, su lugar de origen son las planicies del Litoral y del Oriente, distinguiéndose estas últimas por un mayor contenido de humedad.
- Masas Templadas. Estas masas se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido muy irregular de humedad, se sitúan en los valles interandinos.
- Masas de Aire Frías. Estas masas se asientan en las mesetas andinas y en las cimas altas de las montañas (más de 3 000 m de altura); las temperaturas son menores o iguales a 0°C y la humedad depende de la influencia de las masas de aire que recibe.

Los vientos predominantes en el Ecuador son los alisios del Nordeste en el hemisferio norte y los del Sudeste en el hemisferio sur, alterándose esta prevalencia por el comportamiento de las masas de aire y los desplazamientos del cinturón ecuatorial (INAMHI, 2009).

Según la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (2004) para poder disponer de medidas directas de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida:

- a) Medida de la velocidad horizontal del viento: el instrumento más utilizado es el anemómetro de cazoletas es un aparato utilizado para medir la velocidad del viento y así garantizar la máxima garantía sobre la predicción del tiempo,
- b) Medida de la dirección: para ello se utilizan las veletas, que indican la dirección del viento y también posee una cruz horizontal que indica los puntos cardinales y procedencia geográfica del viento. Hablamos de viento norte, noreste, suroeste, etc. en función de dónde provenga éste.

2.4. Análisis de la temperatura en Ecuador

Desde inicio del siglo XX la temperatura en Ecuador se ha incrementado entre 0,4 y 0,8 °C, mientras que en la precipitación no se evidencian cambios significativos, las regiones donde habría mayores temperaturas son la Costa, Amazonía y Galápagos (Armenta, Villa, & Jácome, 2016). Centrándose en la Región Interandina la temperatura está vinculada con la altura, entre los 1 500 y 3 000 metros los valores medios varían entre los 10 °C y 16 °C con máximas que pueden superar los 25 °C y mínimas que se aproximan al cero, en verano (Portilla, 2018). Las temperaturas son medidas con termómetros con varios métodos, estos pueden ser:

- **Métodos Mecánicos:** con variación de volumen (líquidos, gases, sólidos), variaciones de presión a volumen constante.
- **Métodos Eléctricos:** variaciones de resistencia de un conductor (Sonda de resistencia), variación de resistencia de un semiconductor (termistores), diferencia de potencial creada a partir de la unión de dos metales (termopares).
- **Métodos basados en Radiación:** intensidad de radiación emitida (pirómetros de radiación)
- **Otras ediciones especiales (algunas no aplicables en la industria):** indicadores de color, lápices, pinturas, sensores fluídicos, sondas neumáticas, sensores ultrasónicos, velocidad del sonido en un gas, termómetros acústicos, frecuencia de resonancia de un cristal, indicadores de luminiscencia, termografía (Alvarez E. , s.f.).

2.5. Estaciones meteorológicas del Ecuador

En 1960 el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y la Organización Meteorológica Mundial, al ser evidentes los problemas agrícolas establecieron 3 estaciones Agrometeorológica una en cada región; se crearon 8 estaciones climatológicas en regiones que no estaban cubiertas por la red existente, instalando 65 nuevas estaciones climatológicas intentando corregir la deficiencia de las que instaladas (OMM, 1966).

En Ecuador existen una red de estaciones meteorológicas que hasta el año 2016 estaba constituida por 377 estaciones, el organismo responsable de las mediciones de los datos meteorológicos en el país es el INAMHI. (Peralta Almeida, 2016)

Se considera que, tras la explotación y uso indiscriminado del petróleo y sus derivados, estos se encuentran en un punto crítico de existencia, por lo que la humanidad se está viendo obligada hacer uso de los elementos de la naturaleza para obtener fuentes de energía, como lo es el viento creando parques eólicos y para llegar a determinar las ubicaciones apropiadas para la implementación de estos parques ha sido necesario la utilización de las estaciones meteorológicas y los datos obtenidos por el INAMHI (Álvarez, Maldonado, Montaña, & Tenechagua, 2019).

Esta necesidad de cambio de fuente de generación energética se basa en tres aspectos de interés para el gobierno nacional (Peralta, Ángeles, Barriga, Sosa, & Delgado, 2013)

- a) Aumento progresivo de la demanda de petróleo y su paulatina disminución de producción
- b) El cambio Climático y sus afectaciones
- c) Seguridad Energética enmarcado en la Constitución vigente

2.6. Bases teóricas

A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentan el tema de estudio, fundadas en las asignaturas relacionadas como lo son: Meteorología y Climatología, Manejo de recursos naturales, Estadística aplicada, Contaminación del aire y Sistema de información geográfica.

2.6.1. Meteorología y Climatología

El estudio de las variables climáticas es muy importancia debido que a causa de los cambios u oscilaciones de estas se produce la influencia sobre la producción vegetal, tomando en cuenta que la productividad de muchas especies depende de las condiciones ecológicas determinadas, en Ecuador los registros de las variables climáticas son dadas por el INAMHI siendo este el organismo por el que depende la red de estaciones meteorológicas, apoyando dos tipos de demandas tales como: ayudar al sector productivo y ayudar a las actividades de investigación (Andrades & Múñez, 2012).

2.6.1.1. Estación meteorológica.

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico (PCE Instruments, 2020). A través de estas se pueden identificar variaciones y comportamientos de variables como la temperatura, humedad del aire, la

velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica, la humedad, la intensidad y acumulación de la lluvia, radiación solar y otras condiciones meteorológicas, con el fin de predecir y prevenir posibles riesgos (SensorGo, 2020).

Para el funcionamiento de estas estaciones se necesita de instrumentos y personal capacitado, estos se definen de acuerdo a la aplicación de la información y estadísticas recopiladas con la estación meteorológica misma que se debe ubicar en lugares estratégicos dependiendo de la región (PCE Instruments, 2020), para esto se deben tomar varias consideraciones como:

- Terreno accesible
- Lugar despejado y nivelado
- Orientación adecuada de los instrumentos
- Los instrumentos no deben interferir entre ellos.

2.6.1.2. Tipo de estaciones meteorológicas

Existen varios tipos de estaciones meteorológicas que se mencionan a continuación:

- *Estación Pluviométrica*: es la estación meteorológica que tiene un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída.
- *Estación Pluviográfica*: es la estación meteorológica que puede realizar los registros de las precipitaciones de forma continua y mecánica, por lo que nos permite conocer la cantidad, intensidad, duración y período en que ha ocurrido la lluvia.
- *Estación climatológica principal*: esta provista para realizar observaciones del tiempo atmosférico actual, cantidad, visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales.
- *Estación climatológica ordinaria*: que estar provista obligatoriamente de psicrómetro, de un pluviómetro y un pluviógrafo, para así poder medir las precipitaciones y la temperatura de manera instantánea.
- *Estación sinóptica principal*: realiza observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente.
- *Estación sinóptica suplementaria*: las observaciones se realizan a horas convenidas internacionalmente y los datos corresponden comúnmente a la visibilidad, fenómenos especiales, tiempo atmosférico, nubosidad, estado del suelo, precipitaciones, temperatura y humedad del aire, viento

- *Estaciones automáticas*: se establecen en la superficie de la tierra y el mar, estas deben estar espaciadas de tal manera que sea representativa del sector y garantice una cobertura meteorológica adecuada, registran datos de manera continua (Villalta & Sorto, 2013).

2.6.1.3. Dirección del viento

Para saber cómo se mueven los vientos, se debe saber por qué se producen los cambios de presión siendo esta última dependiente de la temperatura; cuando la atmósfera se calienta, sus capas inferiores lo hacen previamente que las superiores; esto lleva a que el aire se dilate y comience a ascender, a diferencia del frío que solo ocupa el lugar del anterior; este fenómeno produce una corriente circular, donde interactúan dos elementos: el aire y el calor (ICARITO, 2009).

Los vientos regulares son aquellos que soplan constantemente en la misma dirección y relativamente con la misma intensidad, como los alisios que se desplazan desde los trópicos al ecuador; y los periódicos, que se presentan solo en determinadas épocas del año, y con distintas direcciones. Es el caso de los monzones que afecta el Asia meridional (ICARITO, 2009).

El sentido o dirección del viento se determina con el uso de una veleta, este instrumento señala la dirección de donde proviene el viento y hacia dónde se dirige, por lo general es una rosa de los vientos, que señalan el norte, sur, este y oeste del lugar donde se encuentre instalada (Mendoza, 2018).

2.6.1.4. Rosa de los vientos

Es una herramienta que resume de forma gráfica, la estación del ciclo anual o régimen anual, la dirección, intensidad y frecuencia de los vientos, medidas por las estaciones meteorológicas con anemógrafos a una altura normalizada de 10 m sobre el suelo para vientos denominados superficiales, la escala de Beaufort se convierte en una herramienta de referencia importante complementaria de la rosa de los vientos y que determina qué tipo de viento, en relación con su intensidad, es el que se presenta, y qué efectos produce en el ambiente (Cárdenas, 2015).

Las rosas de los vientos varían de un lugar a otro. Son en realidad una especie de huella meteorológica y sólo indica la distribución relativa de las direcciones del viento, y no el nivel real de la velocidad media del viento.

Las cuatro principales y fundamentales indican los cuatro puntos cardinales: Norte, Sur, Este y Oeste, mediante los cuales se divide el horizonte en cuatro sectores de 90° cada uno. La recta que conecta los puntos norte y sur es llamada meridiana o línea norte-sur, la recta que une el este y oeste es llamada línea este-oeste. Como resultado de las bisectrices de los ángulos rectos representados en la rosa de los vientos se observan ocho nuevas divisiones llamadas laterales que son: noreste, sureste, suroeste y

noroeste. Si se dividen nuevamente estos rumbos laterales y los cuatro principales se obtendrán ocho nuevos sectores que se llamarán: nor-noreste, este-noreste, este-sureste, sur-sureste, sur-suroeste, oeste-suroeste, oeste-noroeste y norte-noroeste. Frecuencia de ocurrencia de los vientos en 16 sectores de dirección (E, ENE, NE, NNE, W, WNW, NW, NNW, ESE, SE, SSE, S, SSW, N, WSW, SW) y en clases de velocidad del viento para una localidad y un periodo de tiempo dado. (Esteban Evangelista, 2015)

Para la velocidad del viento, hay diferentes unidades disponibles, entre las que podemos encontrar: kilómetros por hora (km/h); metros por segundo (m/s); Beaufort (bf); nudos (in); millas por hora (mph), etc. En el presente trabajo se tomaron los m/s como unidades de referencia del sistema internacional para la construcción de las rosas de los vientos.

La longitud del rayo indica las diferentes direcciones del viento. El rayo apunta a la dirección de donde viene el viento.

El color depende de la velocidad del viento. En este caso, la parte gris del centro del rayo muestra los periodos de calmas o al menos velocidades del viento muy bajas, mientras que el azul indica velocidades de viento moderadas en un rango de 0,5 a 2,1 m/s. Las tonalidades de verde indican velocidades de viento en un rango que va desde los 2,1 hasta 5,7 m/s; cuanto más claro es el verde, más ventoso es. Los rayos amarillos representan un rango de velocidad del viento de entre los 5,7 a 8,8 m/s. El color amarillo del rayo pasa a naranja a medida que aumenta la velocidad del viento entre los 8,8 a 11,1 m/s y finalmente los valores superiores a los 11,1 m/s (color rojo) representa la velocidad máxima que se muestra en la rosa de los vientos. La resolución de los rangos de velocidad del viento puede ser modificada si así lo desea.

2.6.1.5. Software WindPLOT

WindPlot es un software que se adquiere de manera gratuita para la construcción de Rosas de Viento a partir de datos meteorológicos. Proporciona una vista de gráficas de rosas de viento, análisis de frecuencias, así como gráficas para diversos formatos de datos meteorológicos (Ramos, Magaña, & Carrera, 2011).

2.6.1.6. Veleta

Con este instrumento se puede determinar cuál es la procedencia del viento indicando la dirección del viento, usualmente la veleta tiene forma de un animal tales como un caballo o un gallo, para que cumplan su función estas deben ubicarse en un lugar lo más alto posible, evitando de esta manera que los árboles o edificaciones alteren la dirección del viento (Mendoza, 2018).

2.6.1.7. Anemómetro

Atreves de los años se han utilizados varios métodos para la medición de la velocidad del viento, resultando en varios tipos de anemómetros, de los cuales los más utilizados son los anemómetros rotatorios, mismo que consiste en un mecanismo rotatorio o rotor que gira en proporcional a la velocidad del viento cuando este choca con el instrumento (Castillo & Johanning, 2016). A su vez los anemómetros rotatorios pueden clasificarse en anemómetros de copas y en anemómetro de hélice, dependiendo del tipo de rotor utilizado.

Los anemómetros de tres copas que rotan alrededor de un eje vertical que, al topar con el instrumento, se genera diferencia de presión entre el lado cóncavo y convexo de las copas, lo que ocasiona que rote. Los anemómetros de hélice se utilizan para medir la velocidad de corrientes de aire dirigidas que estén libres de remolinos y turbulencias, debido a su estructura pequeña pero robusta, este instrumento es adecuado para su uso móvil o fijo, por ejemplo, para la medición en el chorro libre en conductos y tubos, aberturas de aspiración y entradas de aire fresco, a diferencia del anemómetro del rotor el eje de este es paralelo a la dirección del viento siendo esto una ventaja para medir también la dirección del viento y no solo la velocidad (Duran Electronica, 2008), siendo estos los más utilizados.

2.6.1.8. Aspectos meteorológicos de la temperatura

Para Saavedra (2008) *“La temperatura es el parámetro físico que más sistemas, dispositivos componentes o invenciones ha acaparado para su medida y donde se han desarrollado una mayor variedad de técnicas”*. Si hubiese que realizar una división de los distintos tipos se podrían considerar diversas características para realizar su medida, sistema eléctrico, o no eléctrico, rango de aplicación, tipos de objetivos a medir

La temperatura del aire se mide con un termómetro, a pesar de que no todos son iguales la mayoría contienen mercurio o alcohol dependiendo de la mínima tempera que pueda alcanzar, el mercurio se congela a -39°C , mientras que el alcohol a -130°C , por esta razón es más utilizado en zonas frías del planeta; también existen termómetros a base de metales que se expanden o contraen con los cambios de temperatura sometidos, en las estaciones meteorológicas es recomendable colocar el termómetro dentro de una caseta protegida de la luz solar (Mahiques Z., 2013).

2.6.2. Manejo de recursos naturales

En la actualidad se está viviendo la escasez de los recursos no renovables debido a su alto consumo, debido a esto la humanidad se está viendo obligada a implementar fuentes alternas de energía, siendo estas una la manera más fiable de reemplazar los combustibles fósiles. Estas energías renovables son oportunas para el desarrollo de la sociedad además de aportar a la mitigación de la contaminación.

2.6.2.1. Energías Renovables

Las energías renovables son cualquier forma de energía ya sean geofísico, solar o biológicos, que pueden renovarse a partir de procesos naturales, además se obtienen con el flujo constante de energía que pueden ser capturada a partir de las tecnologías apropiadas para cada tipo que tenga baja emisión de carbono: energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, la energía térmica oceánica y biomasa (IICA, 2014).

La demanda de utilización de la energía eólica ha crecido exponencialmente con el pasar de los años, dado que el viento soplará días tras día sin agotarse esperando que exploten sus beneficios, es por esto que se cree que en algún momento de la historia este recurso llegara a su máximo auge, así como lo es el combustible fósil (Vidal, 2014).

La energía térmica se considera como la manifestación de la energía en forma de calor, que se da a partir del traslado o vibraciones; este tipo de energía puede transferirse de un cuerpo a otro ya sea por radiación, conducción y convección. Esta manifestación de energía va ligada a otras como energía térmica tenemos a energía nuclear, química, eléctrica, geotérmica y fósiles (Planas, 2009).

2.6.2.2. Sistema descentralizado de los Recursos Naturales

En la Constitución de la Republica del 2008 se otorgó a los Gobiernos Autónomos Descentralizados las competencias referentes a los temas ambientales, posteriormente la Código Orgánico Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) determina cuales serían las competencias ambientales de los gobiernos provinciales, municipales y parroquiales; asimismo la demanda por recursos naturales que tienen la comunidades es un desafío para todo el mundo , por esta razón se ve en la obligación de realizar proyectos para evitar la sobre explotación de los recursos y el deterioro de los ecosistemas con el objetivo que en conjunto con las comunidades se busque la sostenibilidad de los recursos naturales, uno de los proyectos más mencionados es el Proyecto Socio Bosque. (CIIFEN, 2014).

2.6.3. Estadística aplicada

La estadística es la ciencia encargada de la recolección, ordenamiento, representación, análisis e interpretación de datos generados en una investigación sobre hechos, individuos o grupos de los mismos, para deducir conclusiones precisas o estimaciones para el futuro (Salazar & Del Castillo, 2018).

La estadística es la tecnología del método científico que proporciona instrumentos para la toma de decisiones, cuando estas se adoptan en ambiente de incertidumbre y siempre que puedan ser medidas en términos de probabilidad (Alvarez O. , 2009).

Las modernas técnicas de predicción no realizan una única simulación de la evolución de la atmósfera, porque su estado inicial nunca puede reproducirse exactamente. Es por ello por lo que se realizan decenas de simulaciones en paralelo, alterando ligeramente ese estado inicial, con lo que se consigue una colección de predicciones posibles y puede evaluarse cuáles de ellas tienen una mayor probabilidad de cumplirse (Chura, 2016)

Los cambios climáticos presentan una variabilidad espacial y temporal, siendo esto una fuente de incertidumbre, aquí es donde entra la estadística dado que esta permite el diagnóstico y el pronóstico, que es la descripción de los datos climáticos, cuantifican la incertidumbre y realizan predicciones; adicionalmente el análisis estadístico puede llegar a sugerir la existencia de relaciones entre las variables climáticas (Madrid, 2013).

2.6.3.1. Análisis multivariantes

La estadística multivariante se refiere a diferentes métodos que estudian y examinan el efecto simultáneo de múltiples variables. Los métodos estadísticos multivariados se utilizan para analizar el comportamiento conjunto de más de una variable aleatoria (Valerga, 2021). Existe una amplia gama de técnicas multivariadas disponibles, como son:

- Gráfico de matriz
- Análisis de correlación
- Diagrama de araña
- Análisis factorial
- Análisis de regresión logística
- Análisis de conglomerados
- Análisis discriminante lineal
- Análisis de correspondencias
- Escalado multidimensional
- Correlación canónica

El análisis multivariado reúne los métodos estadísticos que se enfocan en observar y procesar simultáneamente diferentes variables estadísticas para obtener información relevante. Las dos categorías principales de métodos de análisis estadísticos multivariantes son los denominados métodos descriptivos, por un lado, y los métodos explicativos por el otro (Valerga, 2021).

Objetivos de los métodos multivariados (NIETO BARAJAS, 2013):

- 1) Simplificación: Los métodos multivariados son un conjunto de técnicas que permiten al investigador interpretar y visualizar conjuntos grandes de datos (tanto en individuos como en variables).
- 2) Relación: Encontrar relaciones entre variables, entre individuos y entre ambos.
 - 2.1) Relación entre variables: Existe relación entre variables cuando las variables miden una característica común. Ejemplo: Suponga que se realizan exámenes de lectura, ortografía, aritmética y álgebra a estudiantes de 6o de primaria. Si cada uno de los estudiantes obtiene calificaciones altas, regulares o bajas en los cuatro exámenes, entonces los exámenes estarían relacionados entre sí. En este caso, la característica común que estos exámenes pueden estar midiendo podría ser la "inteligencia global".
 - 2.2) Relación entre individuos: Existe relación entre individuos si algunos de ellos son semejantes entre sí. Ejemplo: Suponga que se evalúan cereales (para el desayuno) respecto a su contenido nutricional y se miden, por ejemplo, los gramos de grasa, proteínas, carbohidratos y sodio a cada uno de ellos. Se podría esperar que los cereales de fibra estén relacionados entre sí, o que los cereales endulzados tengan cierta relación entre sí, además se podría esperar que ambos grupos fueran diferentes de uno a otro.

El análisis multivariado sirve, además, para representar los datos de forma inteligente; para establecer la relación real de varias variables; para obtener un modelo de predicción basado en múltiples variables y para hallar la relación causa – efecto entre ellas (Sancho, 2012).

La clave para que entendamos el análisis multivariado es comprender conceptualmente la relación entre las siguientes técnicas

- Tipos de problemas para los que es adecuada cada técnica.
- El objetivo de cada técnica.
- La estructura de datos requerida para cada técnica,
- Consideraciones de muestreo para cada técnica.
- El modelo matemático básico de cada técnica.
- Potencial para complementar el uso de diferentes técnicas.

Existen más de 20 métodos para realizar un análisis multivariado. El que elijas dependerá del tipo de datos que tengas y de los objetivos que te plantees.

El objetivo de todo esto es utilizar un conjunto de variables (columnas) para predecir otras, con el fin de optimizarlas y averiguar qué columnas son importantes en la relación. El análisis correspondiente

se denomina análisis de regresión múltiple o mínimos cuadrados parciales, según el tamaño de la tabla de datos (Valerga, 2021).

Ventajas y desventajas del análisis multivariado

Una de las ventajas del análisis multivariado es que permite a los investigadores ver la relación entre variables y cuantificar la relación entre ellas. Se puede usar la tabulación cruzada, correlación parcial y regresión múltiple para controlar la asociación entre variables.

También se pueden ingresar otras variables para determinar el vínculo entre variables independientes y dependientes o especificar las condiciones bajo las cuales ocurre la asociación.

Otra de las ventajas del análisis multivariado es la capacidad de obtener una visión general más realista y precisa que cuando se analiza una sola variable. Además, en comparación con las técnicas univariadas, las técnicas de análisis multivariado dan como resultado una potente y confiable prueba de significación.

Una de las desventajas más relevantes del análisis multivariado es que sus técnicas son complejas, involucran matemáticas avanzadas y requieren procedimientos estadísticos para analizar datos. Estos procedimientos estadísticos pueden resultar costosos y complicados para una persona u organización. Otra de las principales desventajas del análisis multivariado es que los resultados del modelado estadístico no siempre son fáciles de entender para estudiantes o personas sin mucha formación.

Para que el análisis multivariado produzca resultados significativos, se necesitan grandes muestras de datos. De lo contrario, el resultado no tendrá mucho sentido debido al alto índice de error estándar. El error estándar determina la confianza que tendremos en los resultados.

2.6.3.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales es un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (NIETO BARAJAS, 2013).

Dadas n observaciones de p variables, el objetivo del análisis de componentes principales es determinar r nuevas variables no correlacionadas llamadas componentes principales que representen la mayor variabilidad posible de las variables originales (NIETO BARAJAS, 2013).

El uso de esta técnica es principalmente exploratoria y en general como un paso intermedio para análisis posteriores. Sus objetivos principales son:

- 1) Reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos
- 2) Interpretar un conjunto de datos.

Las nuevas variables (componentes principales) son creadas de tal manera que:

- 1) No estén correlacionadas.
- 2) La primera componente principal explique la mayor variabilidad posible de los datos.
- 3) Cada componente subsecuente explique la mayor variabilidad posible restante no explicada por las componentes anteriores.

¿Cuántos componentes principales son suficientes?

El número de componentes principales que de alguna manera pudieran reemplazar a las variables originales, sin mucha pérdida de información, depende del problema en particular. En general, se desea que el porcentaje de la variabilidad explicada por los r primeros componentes sea de al menos el 80% (NIETO BARAJAS, 2013).

Valores o marcadores (scores) de los componentes principales.

Para poder visualizar las componentes principales es necesario calcular el valor de cada componente para cada individuo en un conjunto de datos. Sea x_i el vector de variables medidas para cada individuo. Entonces el valor de la k -ésima componente principal para el i -ésimo individuo es:

$$y_{ik} = a_k x_i, \text{ para } i=1, \dots, n \text{ y } k=1, \dots, p$$

Si la escala en que están medidas las variables no es uniforme (similar), es recomendable realizar un análisis de componentes principales sobre las variables estandarizadas (NIETO BARAJAS, 2013)

2.6.3.3. Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión tratan, a través del cálculo de diferentes fórmulas, de arrojar un valor numérico que ofrezca información sobre el grado de variabilidad de una variable. Estos son números que indican si una variable se mueve más o menos que otra. Entre las medidas de dispersión tenemos a la varianza, desviación típica y coeficiente de variación (Lopez, 2019).

2.6.3.4. Distribución de Weibull para el viento

El estudio de la distribución Weibull es muy importante en teoría de la confiabilidad por ser una distribución muy versátil que puede aproximarse a la distribución Exponencial, Normal y Raleigh. Tales características son útiles para modelar diferentes tipos de fallas: tempranas, aleatorias y fallas debido a la obsolescencia del equipo.

La descripción de las principales características de la Distribución Weibull, que la hace muy útil en la modelación de fallas de componentes y equipos. La estimación de los parámetros de la Distribución Weibull presenta cierta dificultad ya que implica optimización no lineal, en donde el ajuste de curvas es

poco recomendado debido a que en teoría de la confiabilidad generalmente se cuenta con datos univariados del tiempo de falla y en este caso lo más apropiado es el ajuste a una distribución de probabilidades, el modelo es una función de densidad de probabilidad, y el método más eficiente en la estimación de los parámetros es el método de máxima verosimilitud el cual permite encontrar los valores más probables de los parámetros de una distribución de probabilidad para un conjunto de datos.

La distribución de Weibull está definida por dos parámetros, el parámetro de forma y el parámetro de escala, y es la más empleada para la estimación de la energía eólica. La función de densidad de la distribución de Weibull está dada por la siguiente expresión:

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k}$$

Donde k es el parámetro de forma, v es la velocidad media del viento y C es el parámetro de escala. El parámetro k determina la forma de la distribución, mientras que el parámetro C muestra que tan aguda o plana es la función (Cochancela & Astudillo, 2012).

2.6.4. Contaminación del aire

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más graves del mundo, es parte de toda la sociedad, muy a parte del desarrollo socioeconómico, siendo este fenómeno un problema que tiene repercusiones sobre la salud humana. Dado que cada año, muchas personas contraen enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación del aire ya sea en ambientes exteriores como interiores (Romero, Diego, & Álvarez, 2006).

En este sentido, se entiende que en las zonas urbanas pueden verse afectados por la contaminación del aire dado que al soplar el viento cerca del suelo transportan compuestos como el NO ya que las concentraciones anuales medias en áreas urbanas son de unos 20 a 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los niveles varían significativamente a lo largo del día y en general se produce dos picos diarios como consecuencia de las puntas de tráfico en la ciudad.

Cuando el NO se elimina a la atmosfera, la mayor parte de este se oxida a NO₂ por reacción con ozono y otros oxidantes; su tiempo de residencia es del orden de un día ya que se convierte en un ácido nítrico (HNO₃) por reacción con radicales OH, mientras que la mayor parte del ácido se elimina por deposición húmeda, y por menor proporción en deposición (Jerves Cobo, 2010)

2.6.4.1. El viento y los contaminantes

El viento aporta mucho en el transporte y disolución de contaminantes, esto se da gracias a que cuando la velocidad de este aumenta, mayor será el volumen de aire que se desplaza en menor tiempo, por

la fuente de emisión de contaminantes; la velocidad del viento afecta el tiempo recorrido de los contaminantes entre la fuente y los receptores, asimismo cuando las emisiones son impulsadas de manera vertical y con calor la elevación de los contaminantes se verá afectada por la velocidad del viento (Venegas & Mazzeo, 2012).

2.6.5. Sistema de información geográfica

Los sistemas de información geográfica es una materia que por complejidad requiere una excelente base matemática e informática, dado que su aplicación está orientada en la gestión de datos espaciales constituyendo la herramienta informática más adecuada y extendida para realizar investigaciones (Sarría, 2006).

2.6.5.1. Software para implementación de los SIG

Los SIG cada vez son más esenciales para la geografía, siendo esto el paso más importante después de la invención del mapa, este sistema ha significado un cambio muy importante en el tratamiento de la información espacial. Y en cierta manera, el uso de esta nueva herramienta ha provocado la mejora de la reputación geográfica (Fitzcarrald, 2015).

Muchos estudios sobre las variables climáticas han propiciado la creación y utilización de diversos programas especializados (Software) que conllevan algoritmos de análisis espacial, que facilitan la interpretación de los fenómenos como son los Sistemas de Información Geográfica (Valladares, 2008).

Olaya (2014) explica que para definir el movimiento del viento en un punto geográfico se necesitan dos valores que son la velocidad y la dirección del viento, de este modo se obtendrán una capa con la dirección del viento y otra con la velocidad siendo estas magnitudes escalares.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Nivel de investigación

El proyecto actual tiene un nivel de investigación de tipo descriptiva debido a que se pretende analizar la relación existente entre las variables meteorológicas del estudio (temperatura, velocidad y dirección de los vientos), obtenidas de 15 estaciones meteorológicas en el periodo 2014 – 2019.

Dentro de la investigación descriptiva, se realiza un análisis correlacional ya que la finalidad del proyecto es determinar el grado de relación o asociación existente entre las variables de estudio: velocidad y dirección del viento con relación la temperatura en el cantón Cuenca.

3.2. Diseño de investigación

Para la realización de este proyecto de investigación se aplicó tanto un diseño documental como de campo.

- 1) Para la realización de este proyecto de investigación se aplicará directamente la estrategia de investigación de acuerdo con el origen y manipulación de los datos primarios. El diseño documental se usará para realizar una búsqueda, recuperación, análisis e interpretación de datos. El tipo de investigación documental a realizar es correlacional a partir de datos secundarios y las fuentes de información consultadas son de tipo documental, por tratarse, en esencia de:
 - Documentos impresos, dígame: libros, tesis y trabajos de grado, revistas científicas, etc.
 - Documentos electrónicos como: documentos en internet o digitalizados y bases de datos institucionales que, en este caso, corresponden a las monitoreadas por la Universidad Politécnica Salesiana.
- 2) El diseño de campo se para recolectar los datos primarios de forma directa y sin manipular la información procedente del cantón Cuenca donde ocurren los hechos a estudiar. Específicamente el estudio de campo realizado es de tipo “panel” ya que consiste en una serie de mediciones sucesivas de las variables de control (temperatura, velocidad y dirección de los vientos), realizadas en un mismo grupo de estaciones meteorológicas del cantón Cuenca y en intervalos regulares de una hora, para observar las variaciones que se producen en los variables de control a través del tiempo.

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Dimensiones e Indicadores

3.2.1.2. Tipos de variables

Las variables monitoreadas durante el proyecto estudio documental y de campo son de tipo cuantitativas continuas y cualitativas policotómicas.

- Las variables cuantitativas continuas monitoreadas fueron: la temperatura y la velocidad de los vientos, las que pueden adoptar valores fraccionados o decimales.
- La variable cualitativa policotómica monitoreada fue: la dirección de los vientos, ya que se puede manifestar en más de dos categorías según la dirección tomada.

Según su función en una relación causal, las variables estudiadas son independientes, pudiendo agrupar a la temperatura, dirección y velocidad del viento, las que serán analizadas con técnicas estadísticas como análisis multivariante de componentes.

Variables intervinientes como las variables extrañas extra en nuestro estudio no van a estar presentes debido a que el nivel de investigación es descriptiva como el diseño de campo.

Las dimensiones de las variables monitoreadas se resumen a continuación:

Tabla 3-1: Dimensiones de las variables monitoreadas

Variable	Dimensiones			
velocidad	m/s			
temperatura	°C			
	<i>N</i> (0°)	<i>E</i> (90°)	<i>S</i> (180°)	<i>O</i> (270°)
	<i>NpNE</i> (11.25°)	<i>EpSE</i> (101.25°)	<i>SpSO</i> (191.25°)	<i>OpNO</i> (281.25°)
	<i>NNE</i> (22.50°)	<i>ESE</i> (112.50°)	<i>SSO</i> (202.50°)	<i>ONO</i> (292.50°)
	<i>NEpN</i> (33.75°)	<i>SEpE</i> (123.75°)	<i>SOpS</i> (213.75°)	<i>NOpO</i> (303.75°)
dirección	<i>NE</i> (45°)	<i>SE</i> (135°)	<i>SO</i> (225°)	<i>NO</i> (315°)
	<i>NEpE</i> (56.25°)	<i>SEpS</i> (146.25°)	<i>SOpO</i> (236.25°)	<i>NOpN</i> (326.25°)
	<i>ENE</i> (67.50°)	<i>SSE</i> (157.50°)	<i>OSO</i> (247.50°)	<i>NNO</i> (337.50°)
	<i>EpNE</i> (78.75°)	<i>SpSE</i> (168.75°)	<i>OpSO</i> (258.75°)	<i>NpNO</i> (348.75°)

Los niveles de medición de las variables son:

- Medición nominal: es el caso de la dirección de los vientos debido a que estos se clasifican en más de dos categorías que no tienen vínculo entre sí. Debe resaltarse que este nivel de medición es apropiado solo para las variables cualitativas.
- Medición por intervalos: este tipo de medición es adecuada para la variable correspondiente a la temperatura de los vientos. Esta se utiliza para variables cuantitativas en las que no existe un cero absoluto. En esta escala se pueden aplicar las distintas operaciones matemáticas y estadísticas.
- Medición de razón: corresponde a la variable de velocidad de los vientos. Debe resaltarse que esta escala es para variables cuantitativas, que además de mantener intervalos similares, posee un cero absoluto el cual indica ausencia total de la variable mejor conocido en nuestro caso por los periodos de calma. Como en el caso anterior, en esta escala se pueden aplicar las distintas operaciones matemáticas y estadísticas.

3.3. Población y muestreo

La población está conformada por el área de estudio del cantón Cuenca como el tiempo 2014-2019; es de tipo accesible en la que se tiene acceso a una porción finita de la población objetivo y de la cual se extrae una muestra representativa en función del tiempo muestreado ya que existe un registro documental de dichas unidades; entendiéndose por unidades al monto total de datos monitoreados para cada una de las variables a estudiar.

El muestreo al azar sistemático se definió monitoreando las variables de interés en intervalos regulares de una hora durante los periodos de 2014 - 2019 en cada estación meteorológica existente en el cantón Cuenca, logrando determinar el número de 15 puntos que son controlados por la UPS.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El proyecto se desarrollará mediante dos diseños de investigación:

- Documental: en el que se utilizarán dos tipos de técnicas de investigación como son el análisis documental, para la cual se revisó las bases de datos como *Scopus* clasificando un grupo de artículos que estaban relacionados con nuestro tema de investigación, posteriormente se procedió a realizar un análisis de contenidos con el cual nos pudo orientar para establecer aspectos importantes y necesarios para la investigación realizada. Adicionalmente se aplicó el diseño de investigación de campo en el que se utiliza como técnica la observación estructurada

para cual la estación meteorológica dispone de dispositivos que han almacenado datos en su zona de influencia de las bases de las estaciones meteorológicas, correspondiente a cada hora durante los periodos de tiempos muestreados. Los instrumentos utilizados son electrónicos en el cual se almacenan los datos. Esta base de datos se procedió a descargar de estos instrumentos. Debe destacarse que la técnica de observación es indirecta y no participante, ya que se realiza y monitorea a través de instrumentos de medición sin influir sobre el entorno en el que se realiza el estudio.

Para la recolección y procesamiento de la información se utilizarán diversos instrumentos y herramientas digitales como son:

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Ordenador
- Software Windplot
- Software Arcgis 10.5
- Mapa de Vientos
- Mapa de Temperatura
- Material de oficina

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos se hará mediante tablas, gráficas y análisis estadísticos. Para eso se tendrán en cuenta los siguientes aspectos y protocolos a seguir, descritos a continuación.

3.6. *Protocolo aplicado*

3.6.1. *Delimitación del área de estudio.*

El área de estudio se encuentra ubicada en la región noreste de la provincia del Azuay, cuya zona abarca 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales. El grupo de parroquias urbanas se denomina la ciudad de Cuenca (Bermeo Moyano, 2010).

3.6.2. *Recopilación y depuración de datos*

Para las bases de datos que se utilizó en el presente trabajo de titulación se obtuvieron de las 15 estaciones meteorológicas, que están bajo comodato de la Universidad Politécnica las mismas que estaban comprendidas entre los años 2014-2019.

Posterior se realizó la depuración de la base de datos, que se puede apreciar que para los años 2017, 2018 y en menor medida para 2019, generalmente no se tienen la suficiente información para realizar la rosa de los vientos de los puntos de control tomados como casos de estudio, debido fundamentalmente a ciertos inconvenientes como por ejemplo el mantenimiento de las estaciones meteorológicas manejadas por la UPS, entre otras.

3.6.2.1. Generación de la rosa de los vientos

Los datos meteorológicos en bruto fueron procesados con programas como Microsoft Excel® y al software Windplot para generar la rosa de vientos a partir del archivo con extensión *.sam procesado previamente.

Las rosas de los vientos fueron agrupadas por semestres, años y estaciones meteorológicas realizándose un análisis descriptivo y comparativo del comportamiento de los vientos en los periodos estudiados. Se prestó especial atención a la dirección y velocidad de los vientos, así como los periodos de calma en cada estación durante los años abordados.

3.6.2.2. Generación de mapas de temperatura y vientos

Para la generación de los mapas de uso de suelo se procedió a trabajar con las imágenes corregidas, mediante el uso del software ArcMap 10.4, con las cuales se generó un archivo estándar de las bandas de cada imagen, para luego realizar una combinación de bandas que permitan la identificación de la cobertura vegetal, pastos, cuerpos de agua, cultivos, suelo descubierto.

3.6.2.3. Análisis de la relación existente entre la temperatura y dirección del viento con la velocidad.

Mediante el software estadístico RStudio se aplicó un análisis estadístico de la relación de componentes principales a partir de las variables independientes originales para determinar la relación lineal entre las mismas y el nivel de confianza para describir el fenómeno natural tomado como caso de estudio.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Datos topográficos y de superficie.

Cuenca, oficialmente Santa Ana de los cuatro Ríos de Cuenca, es una ciudad ecuatoriana, cabecera del cantón Cuenca y capital de la provincia de Azuay, así como su urbe más grande y poblada con un área de 72.32 km² (**Figura 4-1**). Se encuentra atravesada por los ríos Tomebamba, Tarqui, Yanuncay y Machángara, al centro-sur de la región interandina de Ecuador, en la hoya del río Paute, a una altitud de 2550 metros sobre el nivel del mar y con un clima andino de 15 grados Celsius en promedio (topograhic-map.com, 2020).

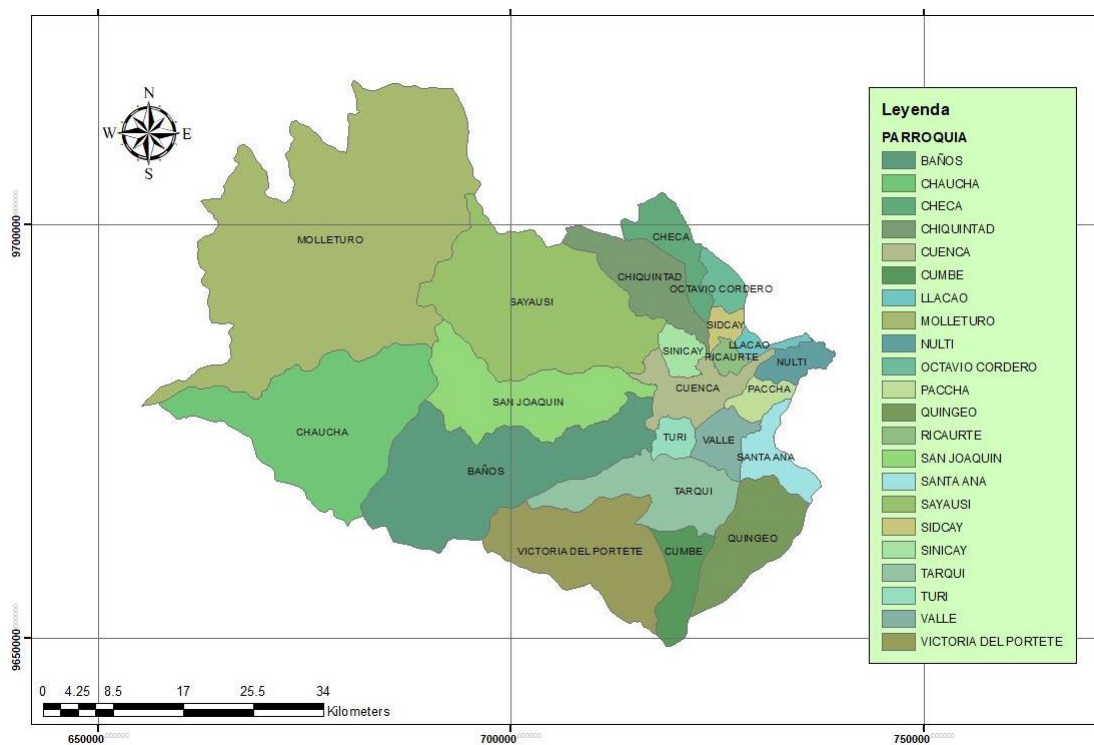


Figura 4-1: Mapa parroquias rurales del cantón Cuenca

Fuente: topograhic-map.com (2020)

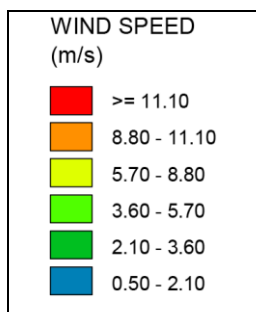
La **Tabla 4-1** contiene la ubicación (en coordenadas) de cada una de las estaciones meteorológicas tomadas como caso de estudio:

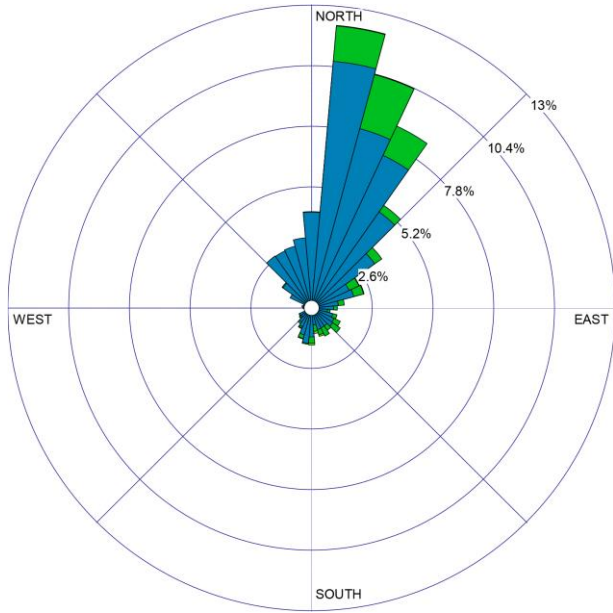
Tabla 4-1: Ubicación de las estaciones meteorológicas tomadas como caso de estudio.

ESTACIÓN	COORDENADAS		
	X (m E)	Y (m S)	Z (m)
Chaucha	672859	9678693	2050
Molleturo	676437	9692153	3705
Baños	712899	9672814	3076
CTS	720507	9677512	2540
Cumbe	719176	9656245	3193
Irquis	713642	9659185	2667
Llacao	730419	9685182	2768
Quingeo	729054	9664604	2890
Nulti	729705	9682457	2631
San Joaquín	714404	9680809	2774
Sayausí	715966	9682000	2799
Sinincay	722340	9685287	2722
Tixán	723020	9686680	2717
Turi	721102	9674967	2766
Santa Ana	730084	9672005	2680
UPS	723581	9680795	2530

A continuación, se muestran las rosas de los vientos obtenidas para cada una de las regiones tomadas como caso de estudio.

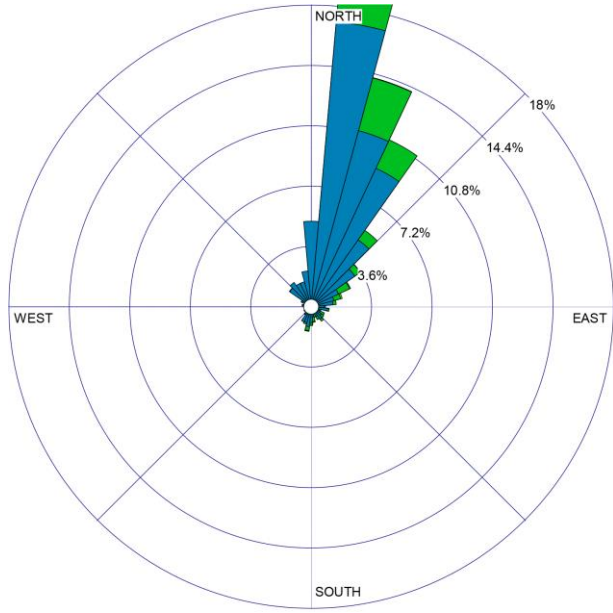
La leyenda para representar la velocidad de los vientos según los colores utilizados se interpreta de la siguiente forma:





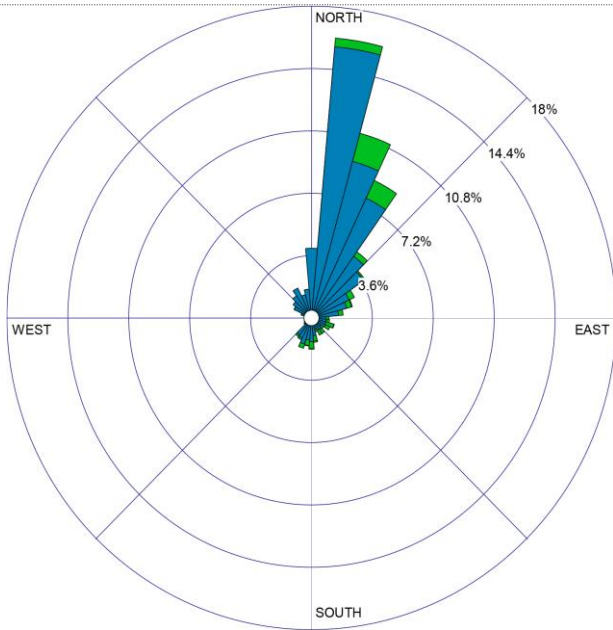
Calma: 11.34%
 Veloc. Prom. Viento: 1.16 m/s

(a)



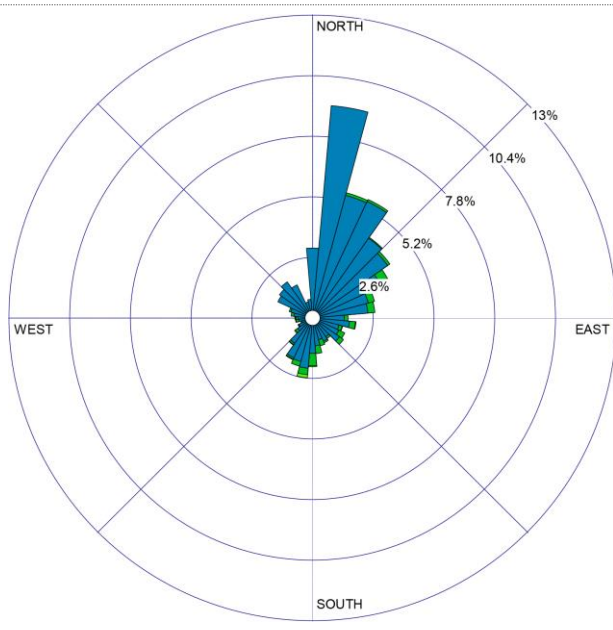
Calma: 10.49%
 Veloc. Prom. Viento: 1.19 m/s

(b)



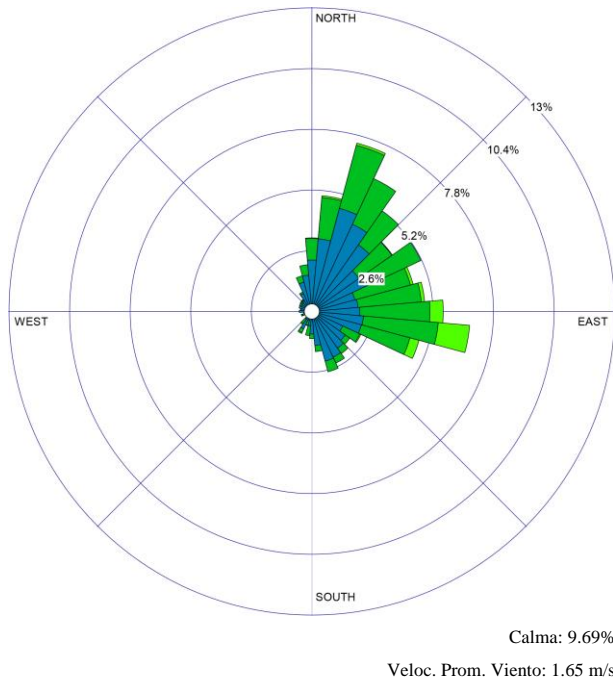
Calma: 13.47%
 Veloc. Prom. Viento: 1.09 m/s

(c)



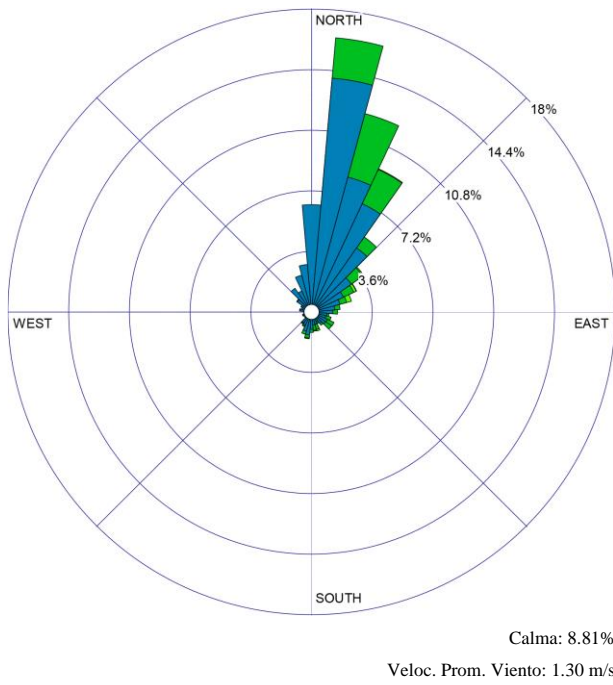
Calma: 22.31%
 Veloc. Prom. Viento: 0.89 m/s

(d)

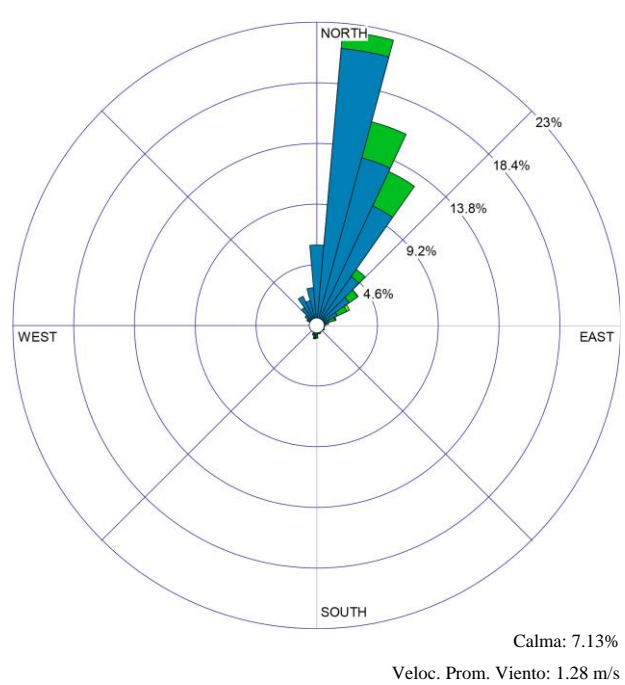


(e)

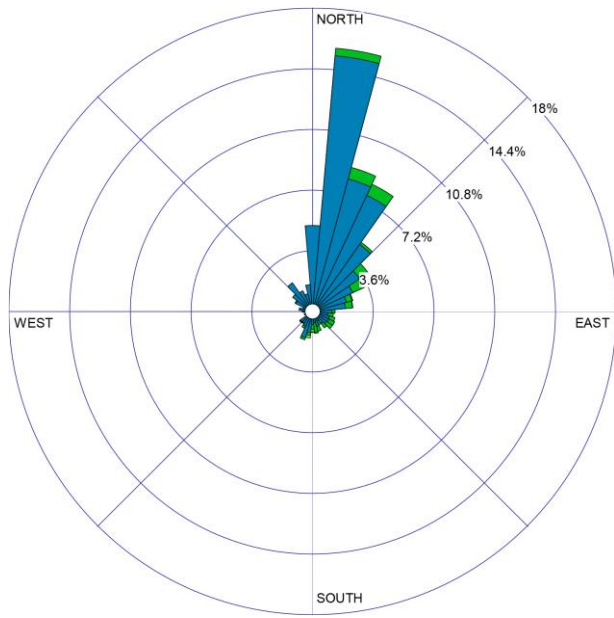
Figura 4-2: Rosa de los vientos en la zona: Baños; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018, respectivamente.



(a)

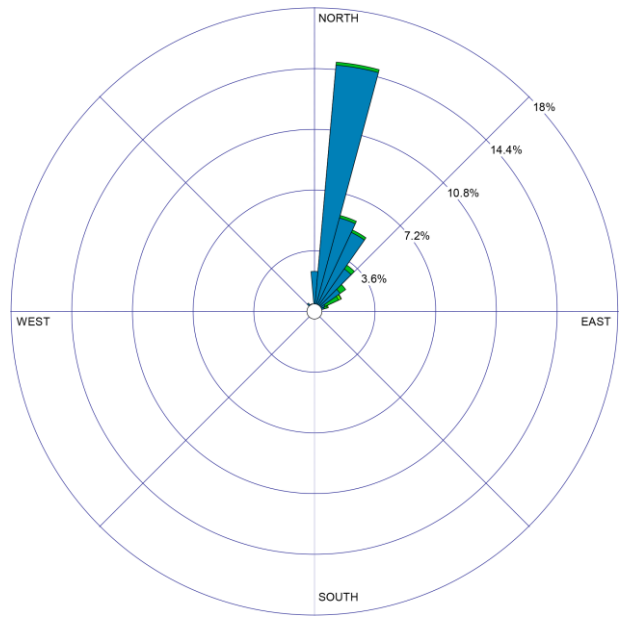


(b)



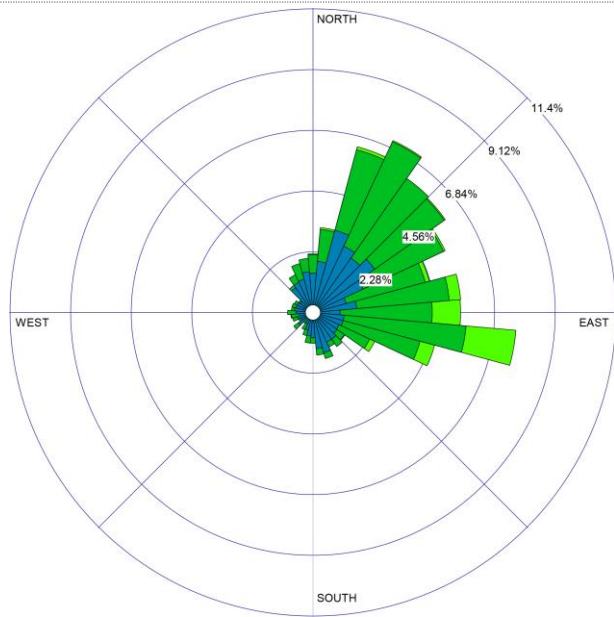
Calma: 13.45%
Veloc. Prom. Viento: 1.13 m/s

(c)



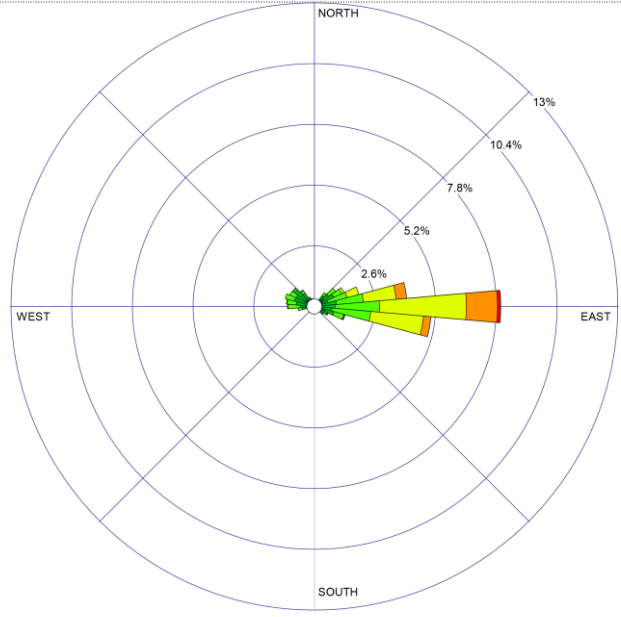
Calma: 6.36%
Veloc. Prom. Viento: 1.08 m/s

(d)



Calma: 6.63%
Veloc. Prom. Viento: 1.94 m/s

(e)



Calma: 63.05%
Veloc. Prom. Viento: 1.57 m/s

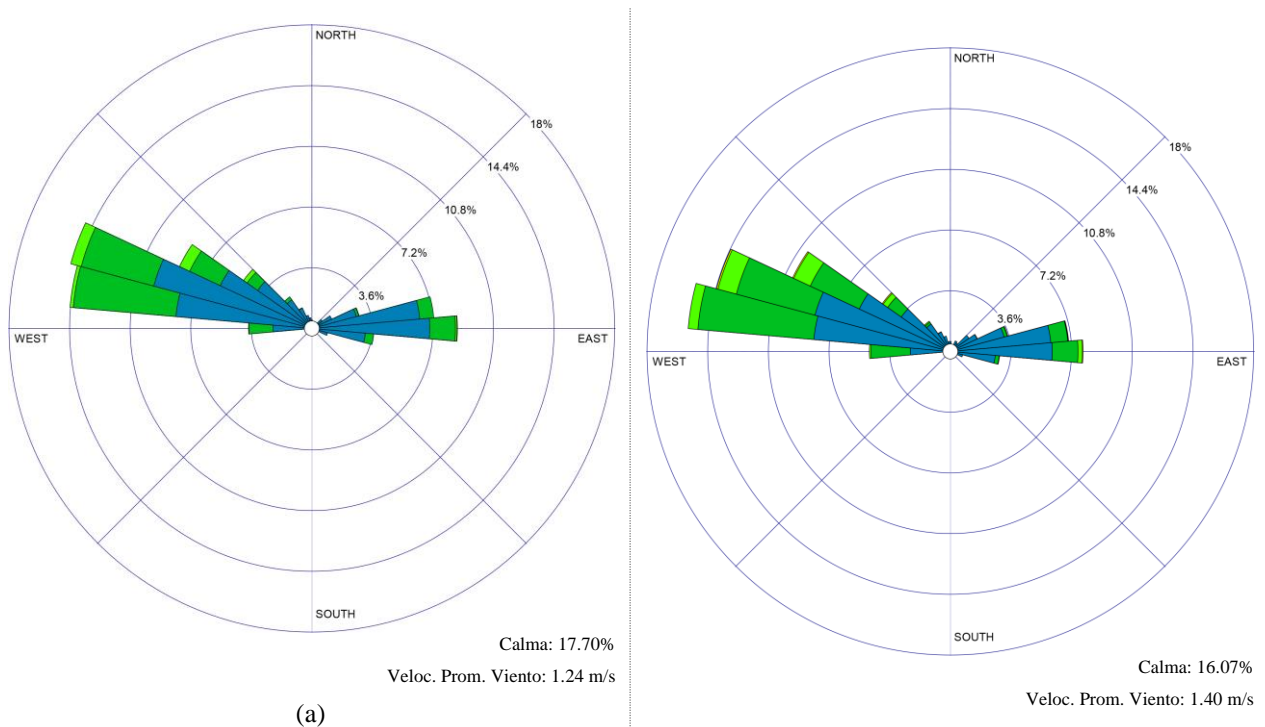
(f)

Figura 4-3: Rosa de los vientos en la zona: Baños; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

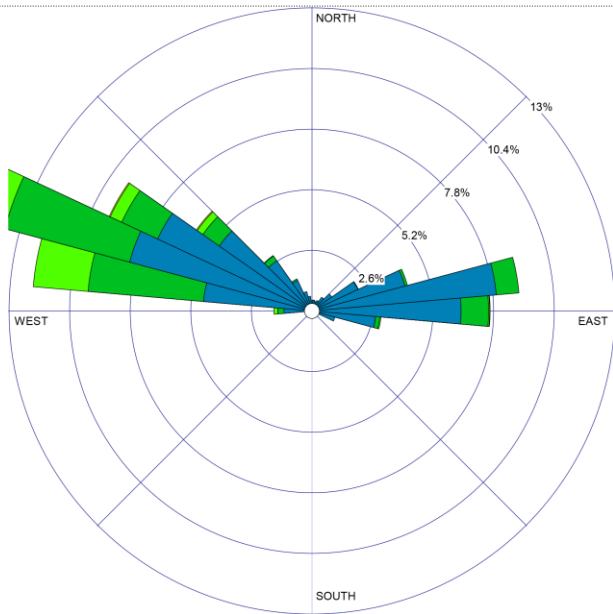
De acuerdo con las rosas de los vientos de los vientos de la **Figura 4-2** y la **Figura 4-3** respectivamente, para los períodos documentados durante los años 2014 – 2017, se observan vientos con direcciones predominantes entre el Norte (*N*) a los 0° y el Noreste (*NE*) a los 45°, estando fuertemente orientados al Norte por el Norestes (*NpNE*) a los 10°, con velocidades regulares de 0.5-2.1 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 3.6 m/s, pero que, en promedio rondan los 0.86 m/s.

En 2018, la rosa de los vientos tanto de la **Figura 4-2** como de la **Figura 4-3** inciso (e), muestran un cambio abrupto en la dirección de los vientos, presentando un amplio espectro localizado ente el Norte Noreste (*NNE*) a los 22.5° y el Este Sureste (*ESE*) a los 112.5° con direcciones predominantes al NNE (22.5°) y al Este por el Sureste (*EpSE*) a los 101.25°, con velocidades regulares de 2.1 – 3.6 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 5.7 m/s, pero que, en promedio rondan los 1.8 m/s; mostrando un comportamiento más agitado con respecto a los periodos de 2014 – 2017. Los períodos de calma son semejantes en todos los casos de 2014 - 2018 y representan en promedio el 8.47% del tiempo graficado.

Para 2019, se observa en la **Figura 4-3** inciso (f), un cambio total en la dirección de los vientos los que muestran una tendencia casi absoluta fuertemente orientada al Este (*E*) a los 90°, con velocidades que se han incrementado considerablemente respecto a los periodos descritos anteriormente, siendo regulares entre los 5.7 – 8.8 m/s llegando a alcanzar máximas superiores a los 11.1 m/s, pero que en promedio rondan los 1.57 m/s. En este caso, el período de calma representa el 63.05% del tiempo graficado.

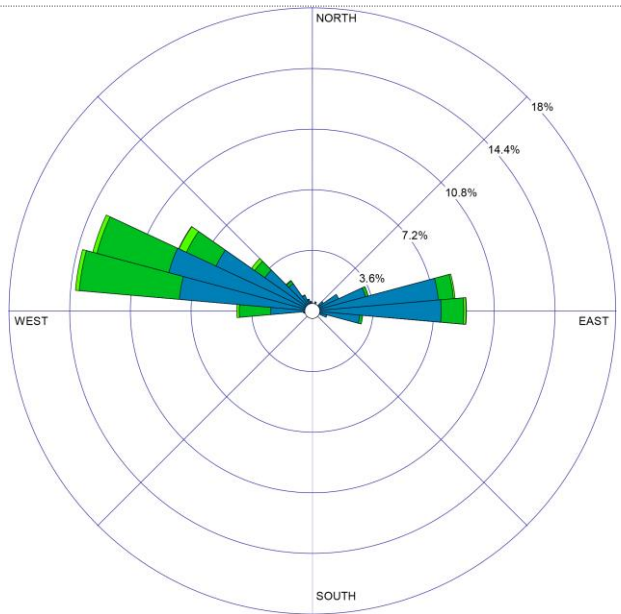


(b)



Calma: 18.03%
Veloc. Prom. Viento: 1.30 m/s

(c)



Calma: 19.61%
Veloc. Prom. Viento: 1.21 m/s

(d)

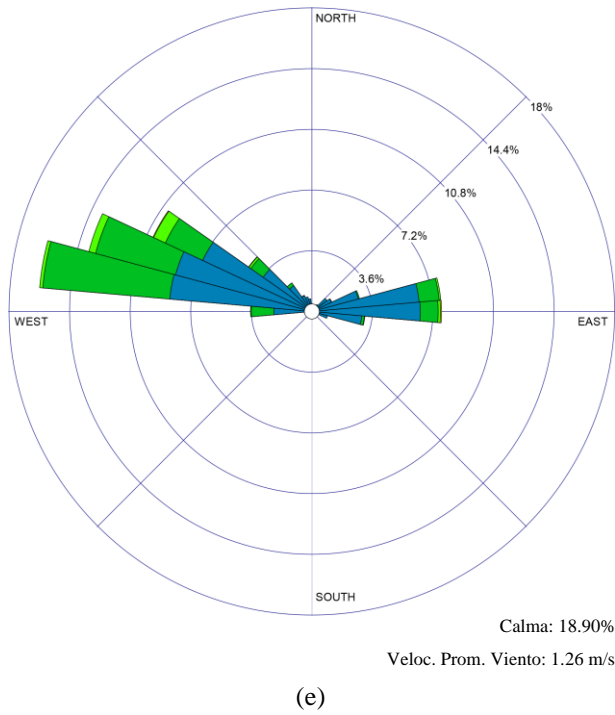
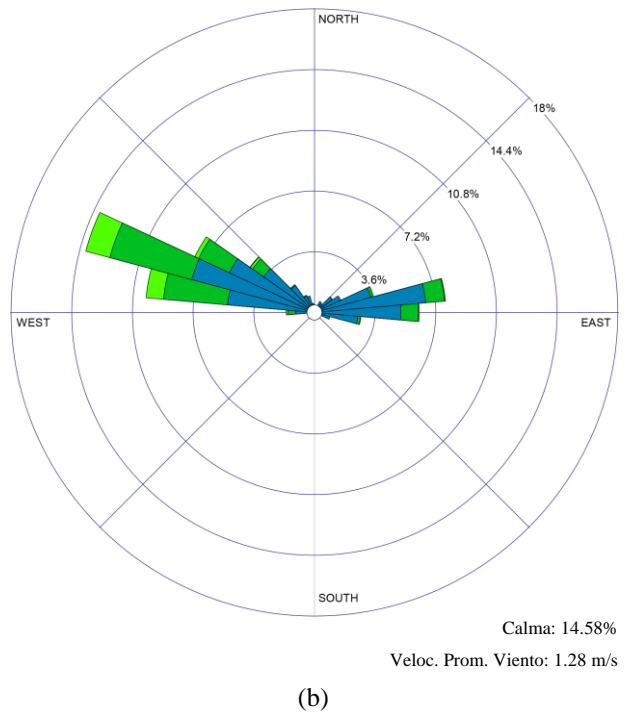
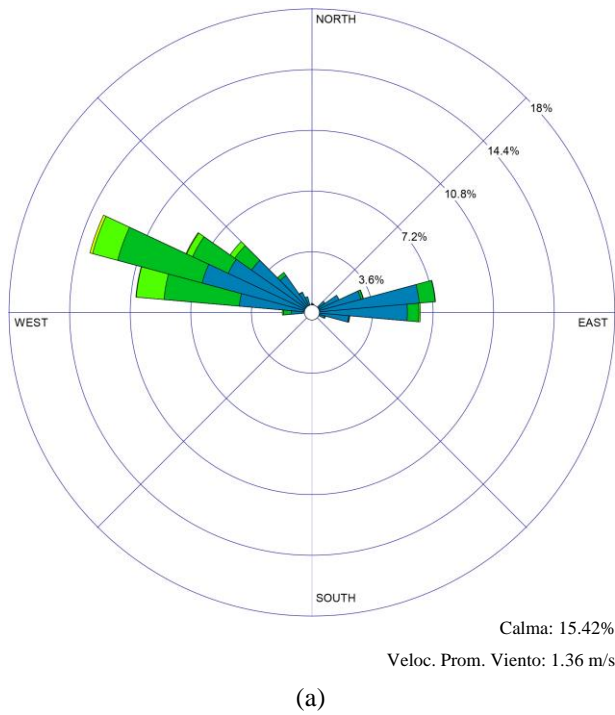
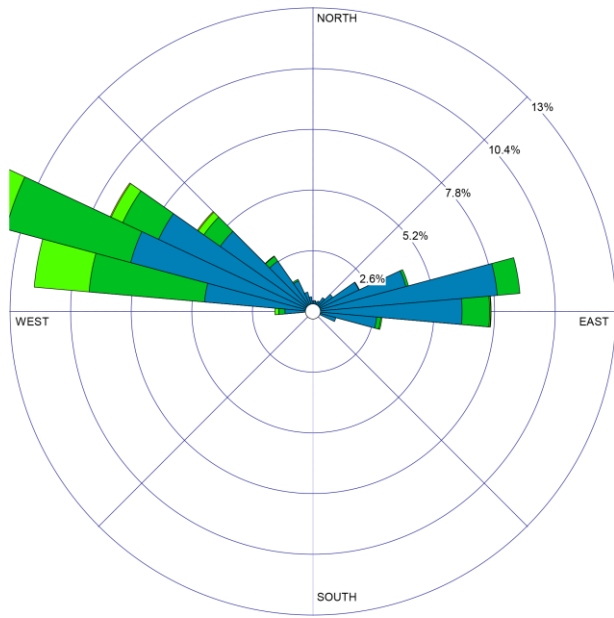


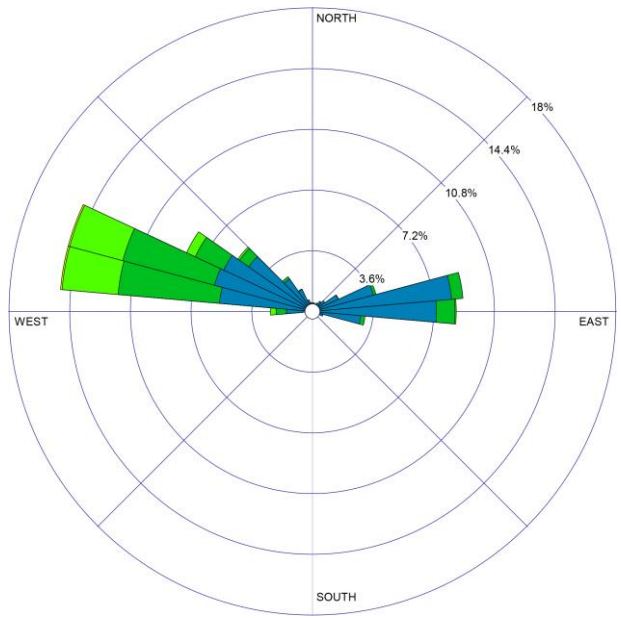
Figura 4-4: Rosa de los vientos en la zona: Chaucha; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2017; (d) 2018; 2019 (e), respectivamente.





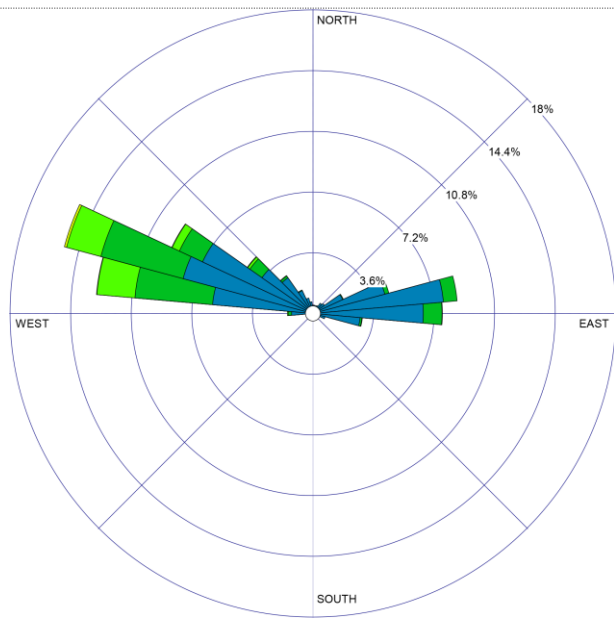
Calma: 18.03%
 Veloc. Prom. Viento: 1.32 m/s

(c)



Calma: 17.41%
 Veloc. Prom. Viento: 1.42 m/s

(d)



Calma: 19.45%
 Veloc. Prom. Viento: 1.28 m/s

(e)

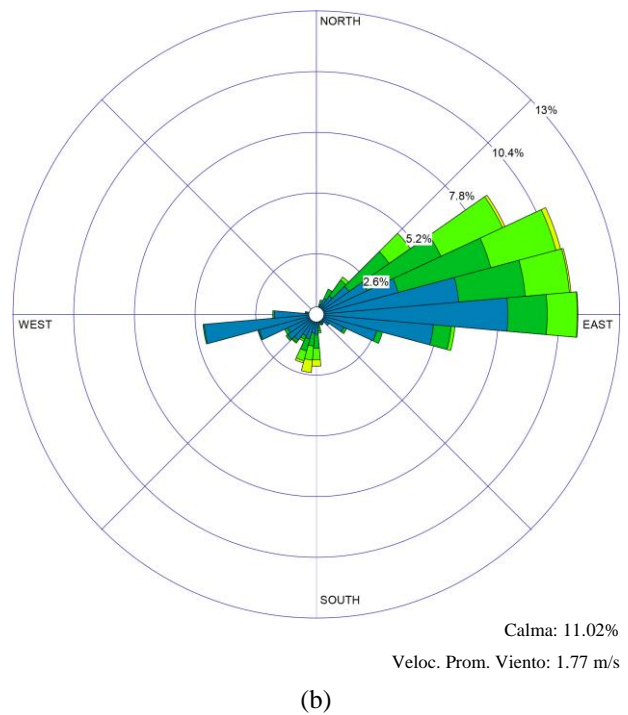
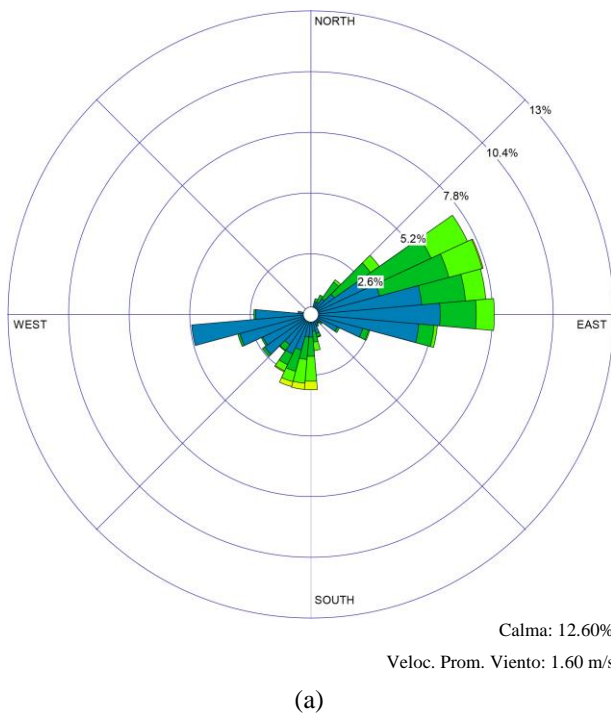
Figura 4-5: Rosa de los vientos en la zona: Chaucha; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2017; (d) 2018; 2019 (e), respectivamente.

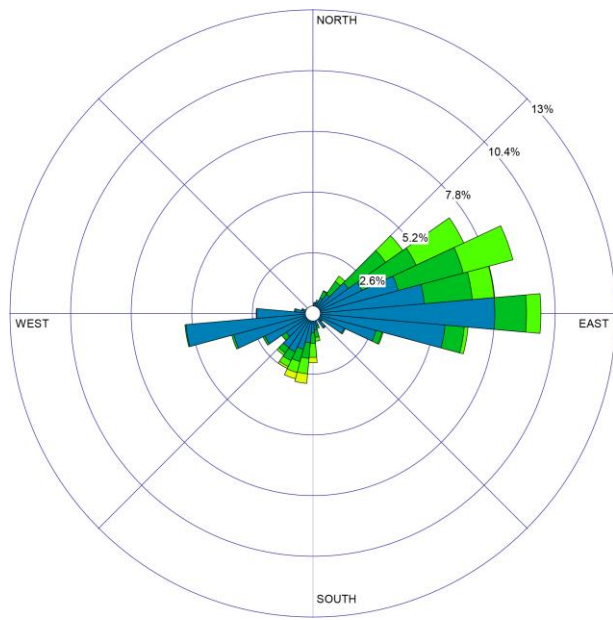
De acuerdo con las rosas de los vientos de la **Figura 4-4** y **Figura 4-5**, para los periodos documentados entre los años 2014 – 2015 y 2017 – 2019, se observa un comportamiento semejante de los

vientos con direcciones predominantes al Oeste por el Noroestes (*OpNO*) y al Noroeste por el Oeste (*NOpO*) localizados entre los 281.25° y 303.75° , estando fuertemente orientados al Oeste Noroeste (*ONO*) a los 292.5° , con velocidades regulares de 0.5-2.1 m/s y 2.1-3.6 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 5.7 m/s, pero que en promedio oscilan los 1.3 m/s.

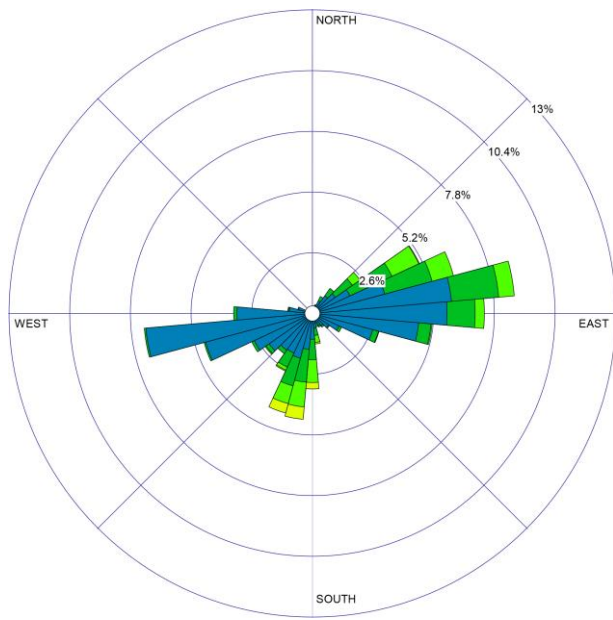
Los períodos de calma son semejantes en todos los casos y representan en promedio el 17.52% del tiempo graficado.

En general se evidencia que la zona de Chaucha presentó con comportamiento estable de los vientos y sus periodos de calma durante los años tomados como casos de estudio.

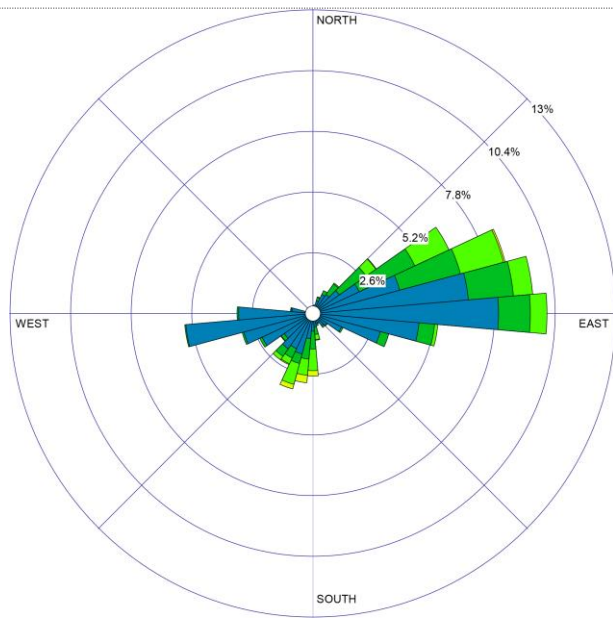




(c)

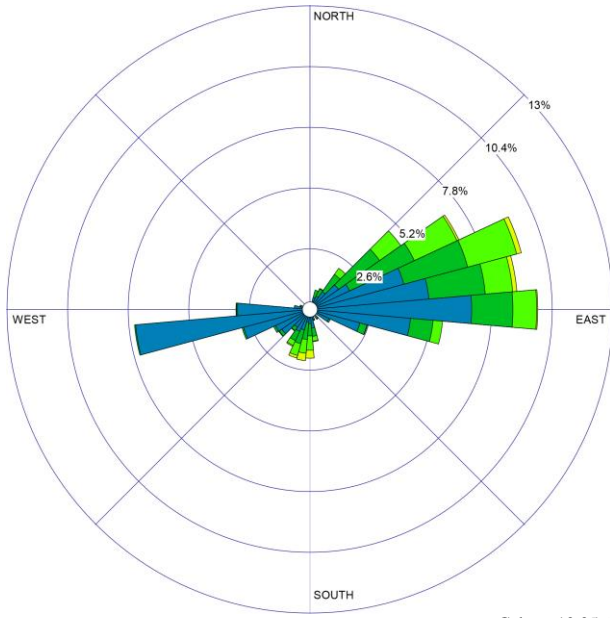


(d)



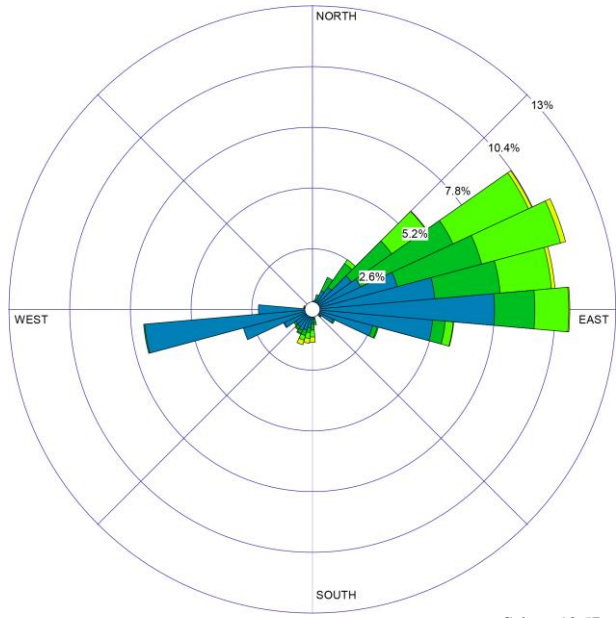
(e)

Figura 4-6: Rosa de los vientos en la zona: CTS; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018, respectivamente.



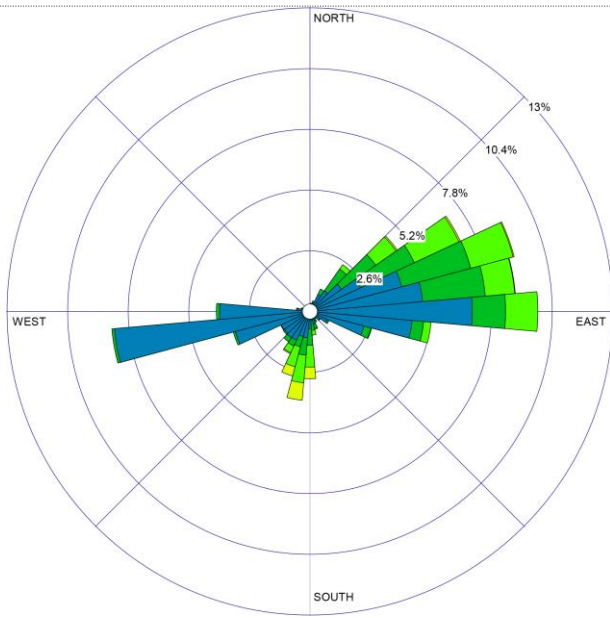
Calma: 10.05%
 Veloc. Prom. Viento: 1.74 m/s

(a)



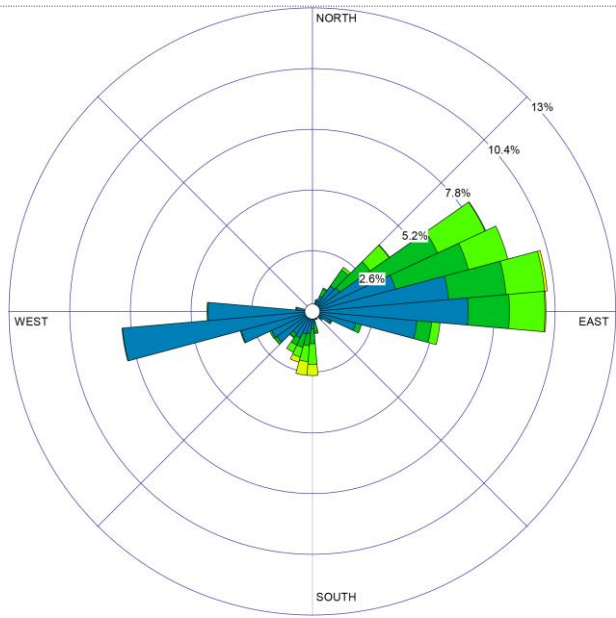
Calma: 10.57%
 Veloc. Prom. Viento: 1.82 m/s

(b)



Calma: 10.26%
 Veloc. Prom. Viento: 1.77 m/s

(c)



Calma: 10.96%
 Veloc. Prom. Viento: 1.70 m/s

(d)

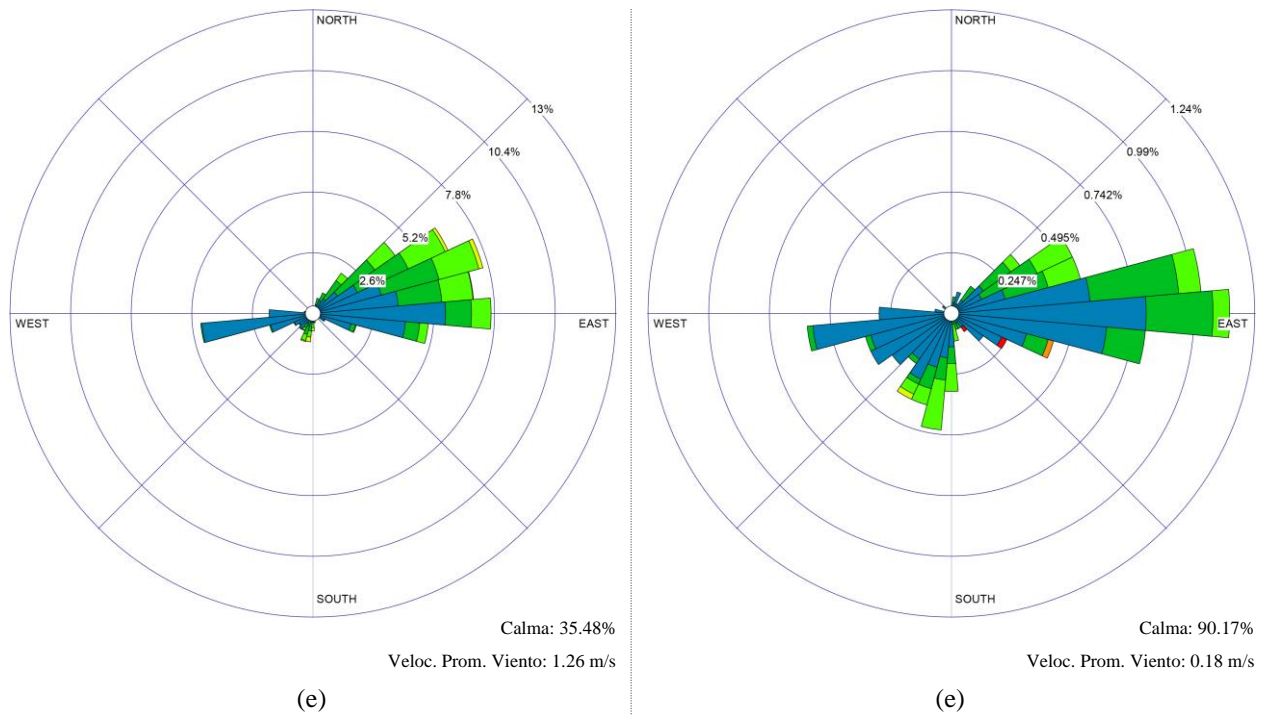


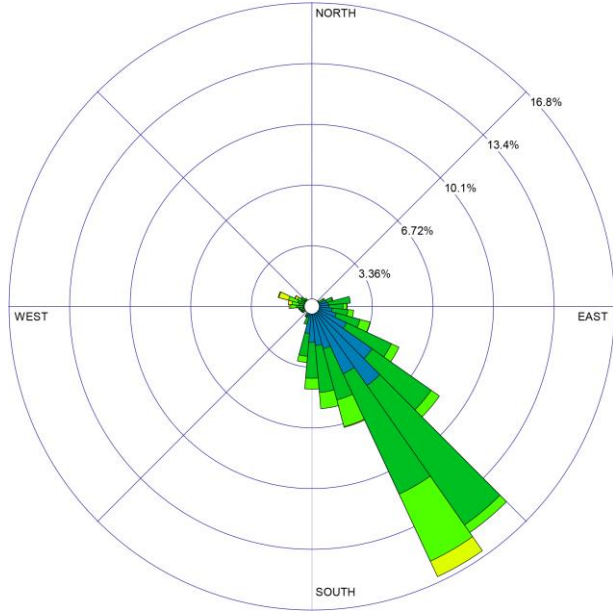
Figura 4-7: Rosa de los vientos en la zona: CTS; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

De acuerdo con las rosas de los vientos de las **Figura 4-6** y **Figura 4-7**, para los periodos documentados entre los años 2014 – 2019, se observa un comportamiento análogo de los vientos, con direcciones que varían del Noreste por el Este (*NEpE*) al Este por el Sureste (*EpSE*) localizados entre los 56.25° y los 101.25° respectivamente, estando fuertemente orientados al Este por el Noreste (*EpNE*) a los 78.75° , con velocidades regulares que oscilan de 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar, en ocasiones, máximas de hasta 11.1 m/s y superiores, pero que en promedio rondan los 1.67 m/s entre 2014-2017, disminuyendo notablemente a 1.26 y 0.18 m/s durante el segundo semestre de 2018 y 2019, respectivamente. También, deben destacarse ráfagas de vientos con direcciones localizadas entre el Sur (*S*) a los 180° y el Oeste (*O*) a los 270° , con velocidades regulares de 0.5-2.1 m/s que en ocasiones llegan a ser máximas de hasta 8.8 m/s.

Los períodos de calma entre los años 2014-2017 son estables al igual que durante el periodo enero – junio de 2018 los que representan en promedio el 11.35% del tiempo graficado.

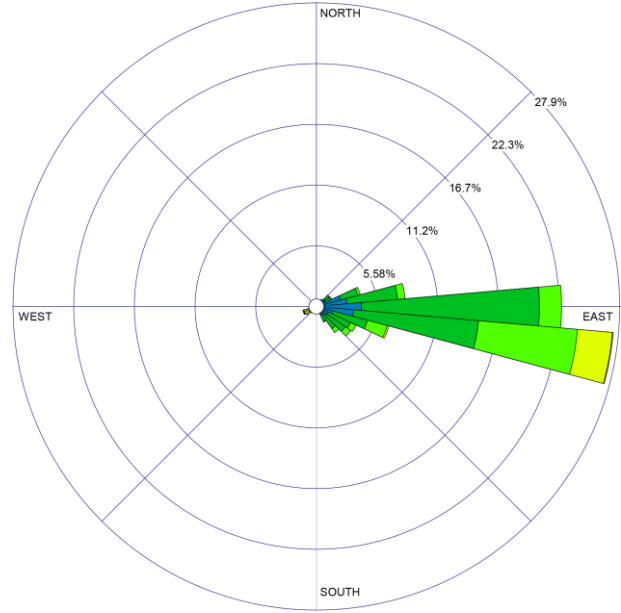
En el caso del periodo de julio-diciembre para los años 2018 y 2019, los ciclos de calma aumentan notablemente llegando a representar el 35.48% y el 90.1% del tiempo graficado, respectivamente siendo

coherente con el hecho de que la velocidad promedio del viento disminuyera durante el mismo periodo descrito anteriormente, aumentando las probabilidades en los periodos de calma.



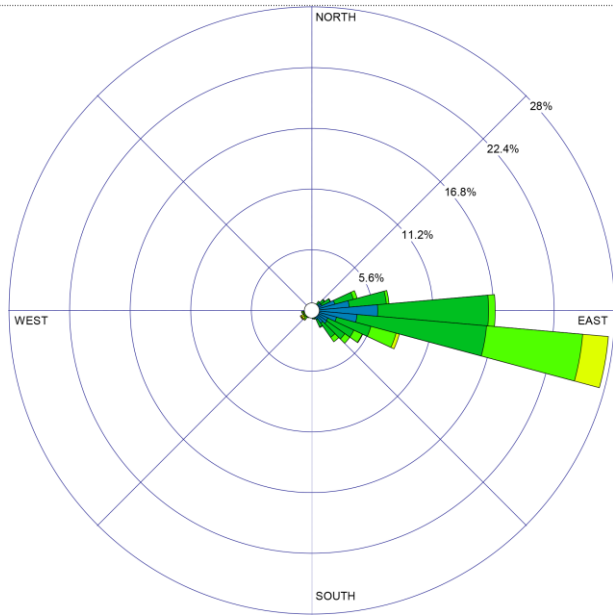
Calma: 3.14%
Veloc. Prom. Viento: 2.39 m/s

(a)



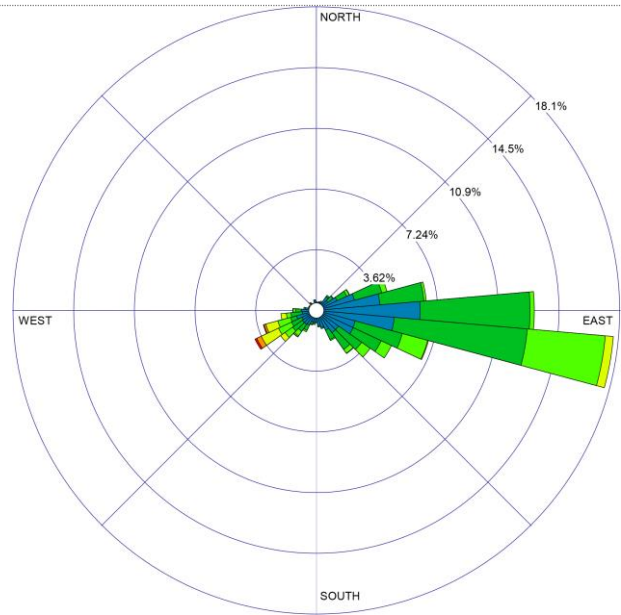
Calma: 2.17%
Veloc. Prom. Viento: 2.77 m/s

(b)



Calma: 2.61%
Veloc. Prom. Viento: 2.57 m/s

(c)



Calma: 4.89%
Veloc. Prom. Viento: 2.29 m/s

(d)

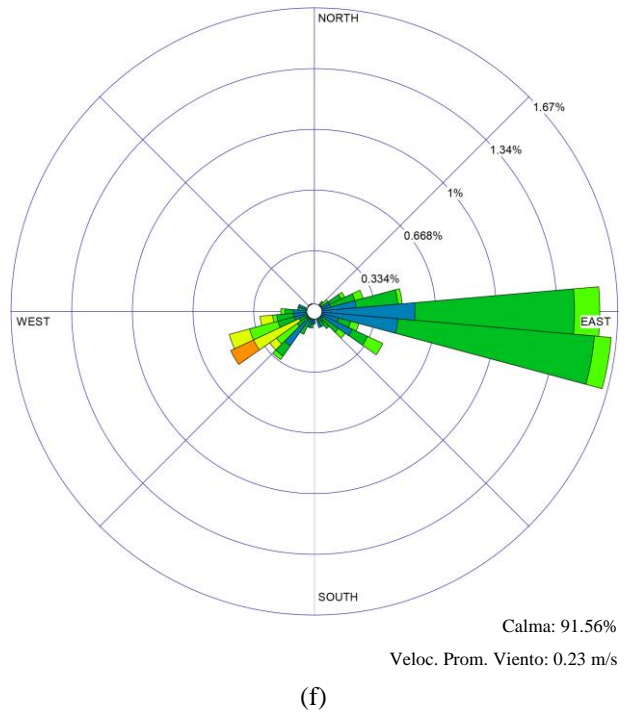
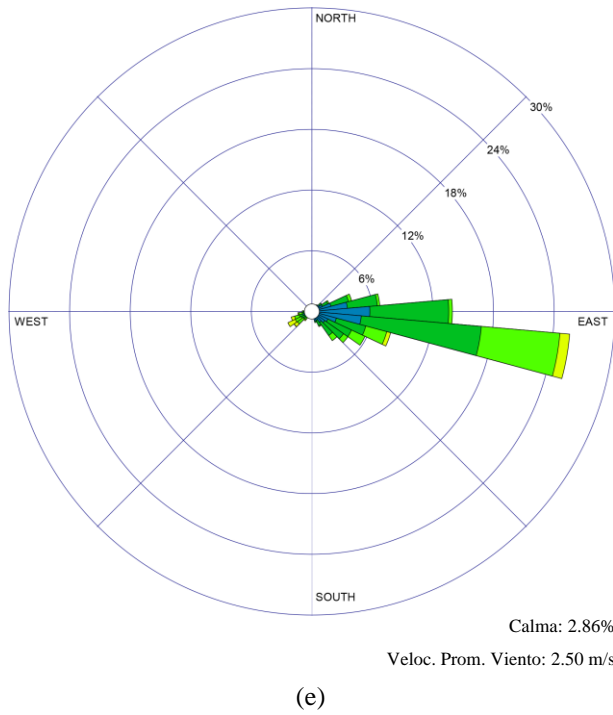
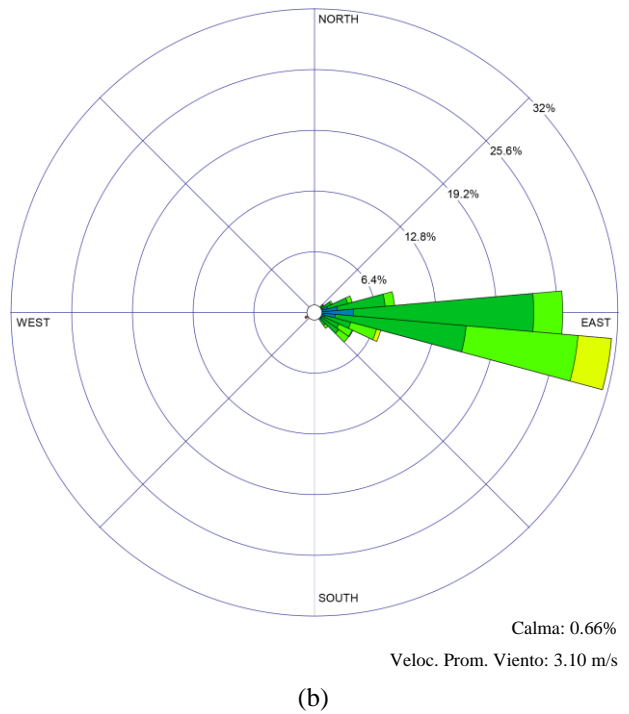
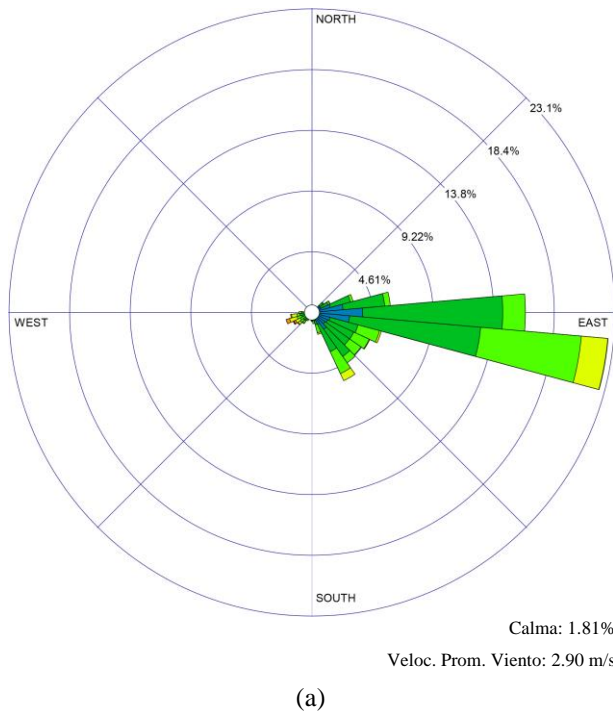
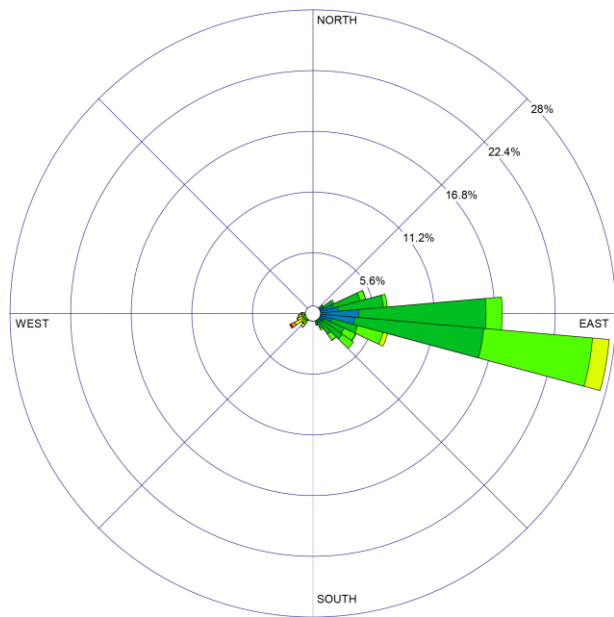


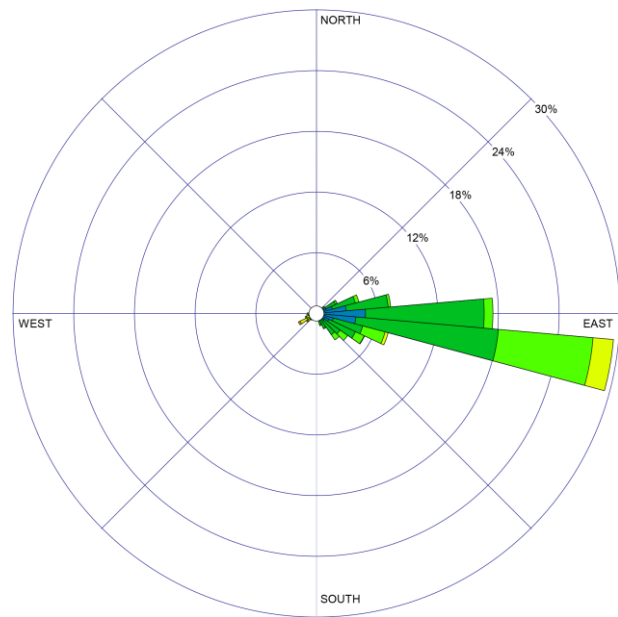
Figura 4-8: Rosa de los vientos en la zona: Cumbe; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.





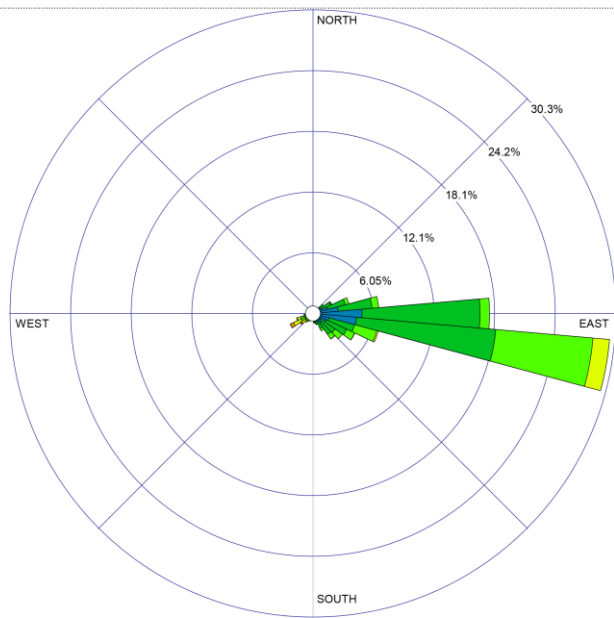
Calma: 1.38%
Veloc. Prom. Viento: 2.91 m/s

(c)



Calma: 1.47%
Veloc. Prom. Viento: 2.79 m/s

(d)



Calma: 1.77%
Veloc. Prom. Viento: 2.80 m/s

(e)

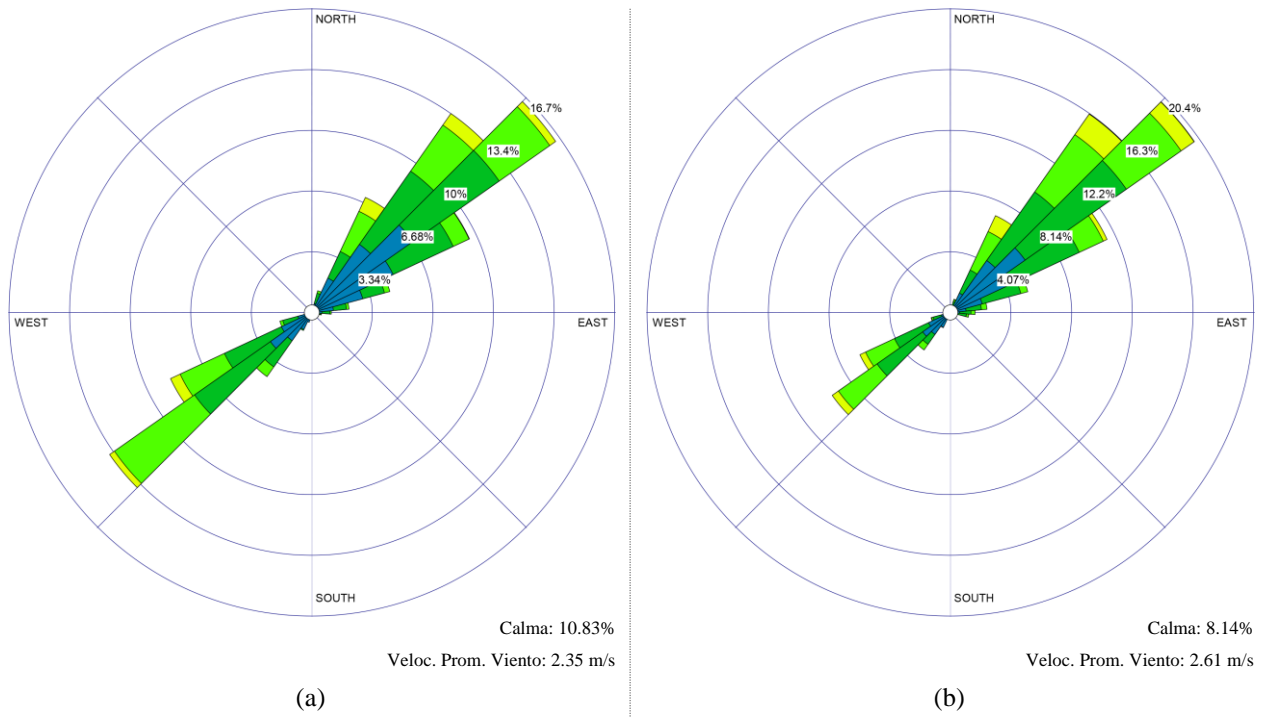
Figura 4-9: Rosa de los vientos en la zona: Cumbe; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018, respectivamente.

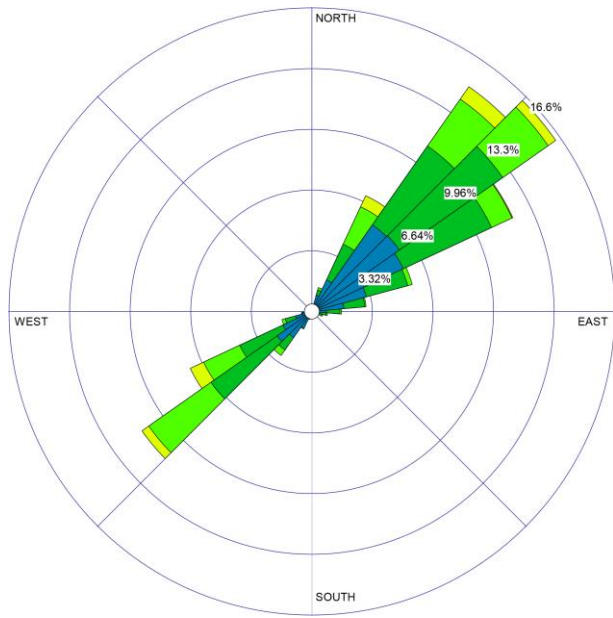
En el caso del área monitoreada en Cumbe, las rosas de los vientos de la **Figura 4-8** y la **Figura 4-9**, para los periodos documentados entre los años 2014-2017 se observan vientos con direcciones

predominantes al Sureste por el Sur (*SEpS*) a los 146.25° (en 2014); y en el resto de los años al *E* y al *EpSE* localizados entre los 90° y 112.5° , estando fuertemente orientados al *EpSE* a los 101.25° , con velocidades regulares de 2.1-6.6 m/s y de 3.6-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s, pero que en promedio resultan en los 2.7 m/s, excepto en el periodo enero-junio de 2019 siendo de 0.23 m/s correspondiéndose además con los grandes periodos de calma presentados en este semestre del año.

Los períodos de calma durante el primer semestre de 2014 a 2018 son semejantes y representan en promedio el 3.13% del tiempo graficado; no siendo así para la rosa de los vientos el año 2019 que presenta grandes períodos de calma llegando a ser del 91.56 % del tiempo graficado debido a las bajas velocidades promedio de los vientos, descritas en el párrafo anterior. Durante el segundo semestre de 2014 a 2019 los períodos de calma disminuyen con respecto al semestre anterior, pero son semejantes en todos los casos y representan en promedio el 1.18% del tiempo graficado.

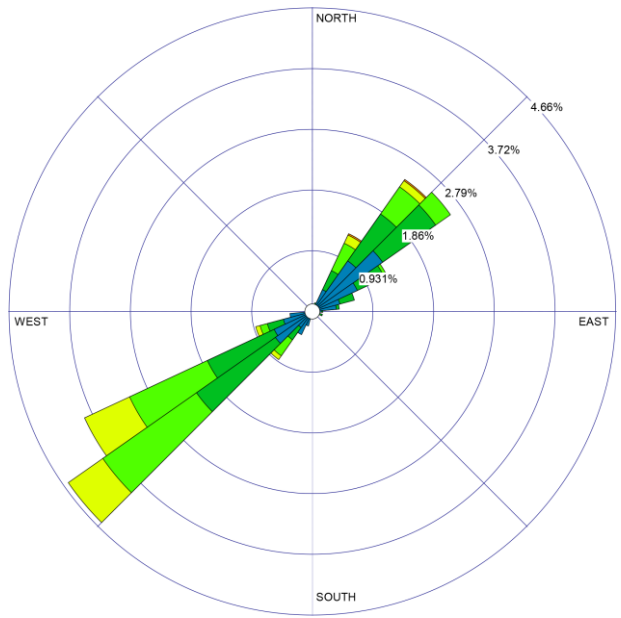
En general se evidencia que la zona Cumbre presentó con comportamiento estable en la velocidad de los vientos durante los años monitoreados, con periodos de calma regulares en cada semestre del año.





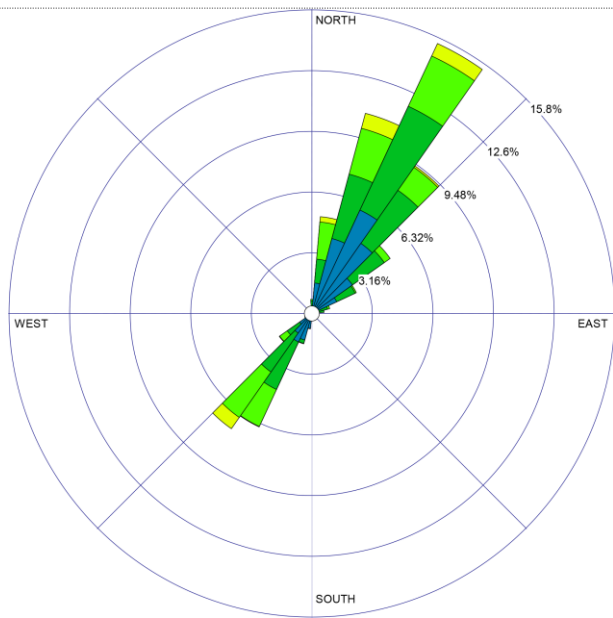
Calma: 8.71%
Veloc. Prom. Viento: 2.36 m/s

(c)



Calma: 2.01%
Veloc. Prom. Viento: 2.63 m/s

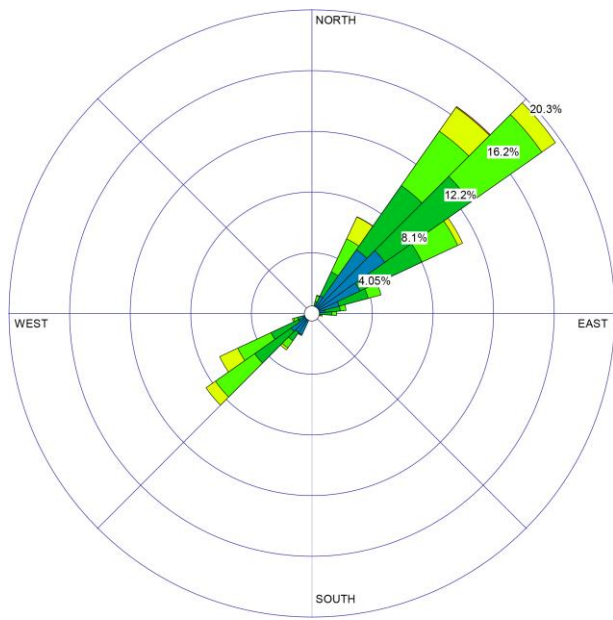
(d)



Calma: 2.86%
Veloc. Prom. Viento: 1.87 m/s

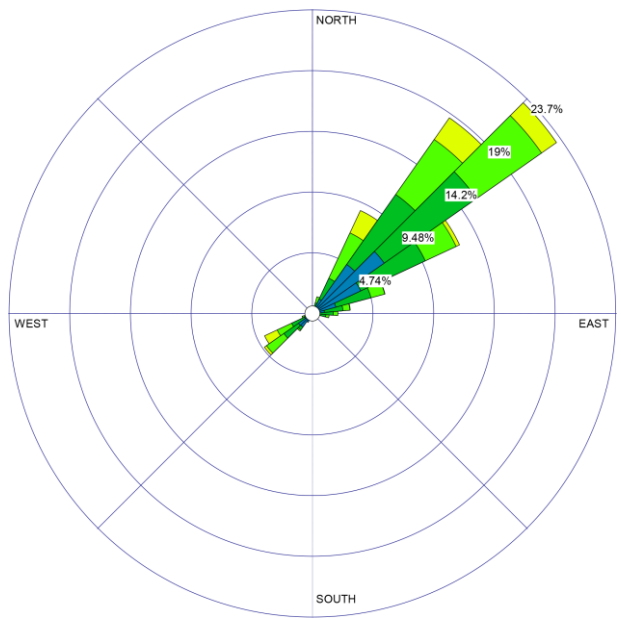
(e)

Figura 4-10: Rosa de los vientos en la zona: Irquis; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2019, respectivamente.



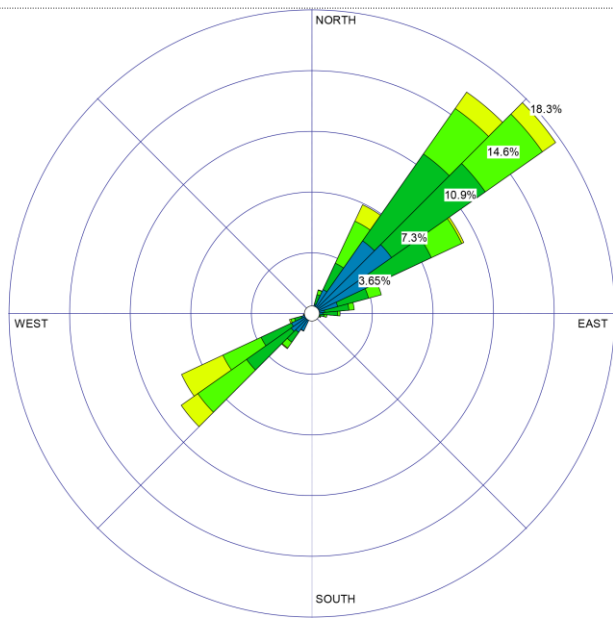
Calma: 10.10%
Veloc. Prom. Viento: 2.74 m/s

(a)



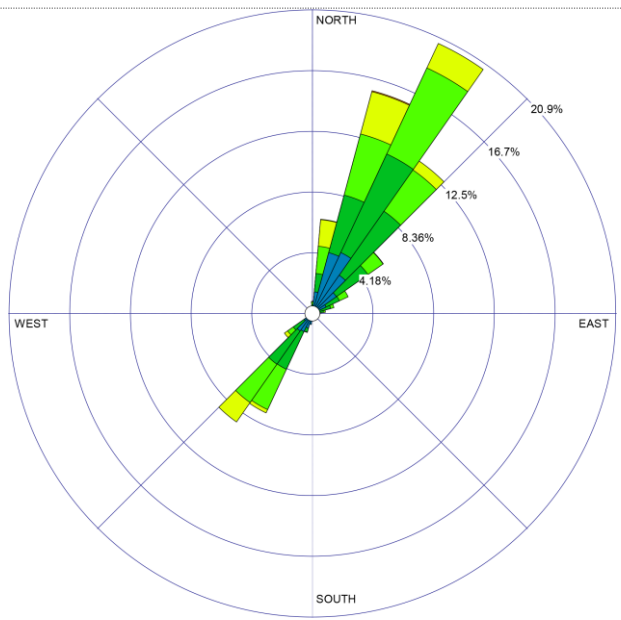
Calma: 8.58%
Veloc. Prom. Viento: 2.78 m/s

(b)



Calma: 11.05%
Veloc. Prom. Viento: 2.66 m/s

(c)



Calma: 2.01%
Veloc. Prom. Viento: 2.96 m/s

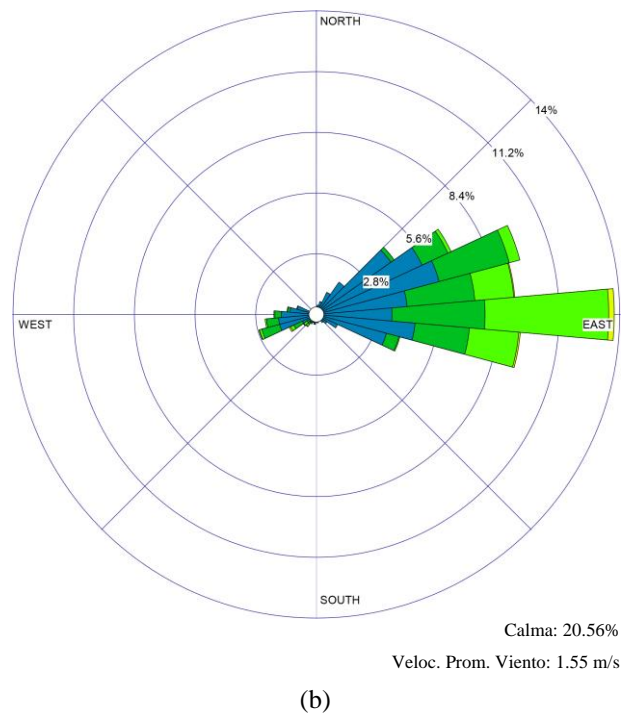
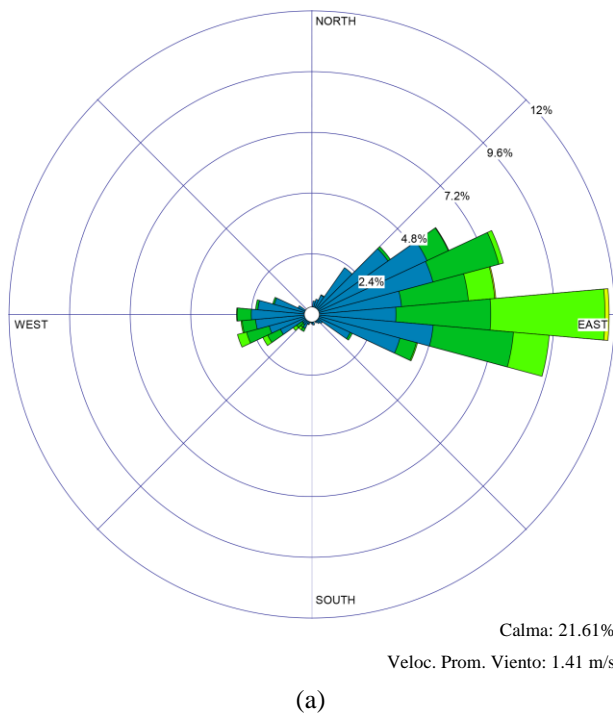
(d)

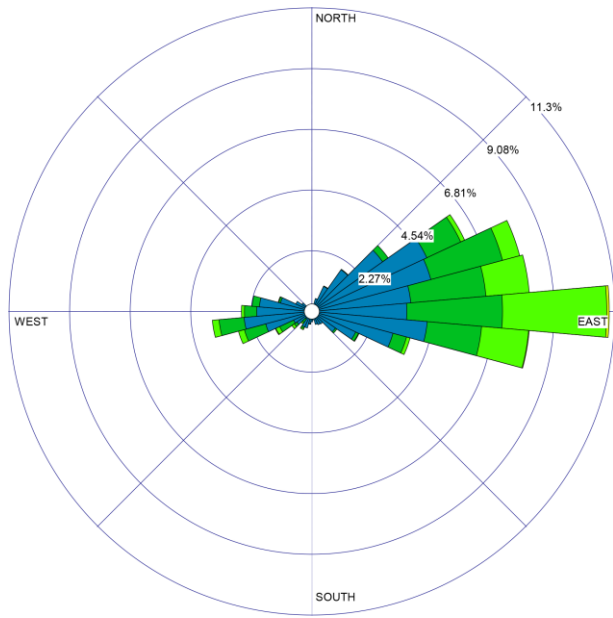
Figura 4-11: Rosa de los vientos en la zona: Irquis; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-10** y la **Figura 4-11** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014-2019, se observa un comportamiento análogo de los vientos, localizados entre el

NpNE (11.25°) y el *NEpE* (56.25°), *NE* (45°). Se registran, además, vientos localizados al Suroeste (*SO*) entre los 225° y 236.25° (*SOpO*). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan de 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar, en ocasiones, máximas de hasta 8.8 m/s, pero que en promedio rondan los 2.63 m/s.

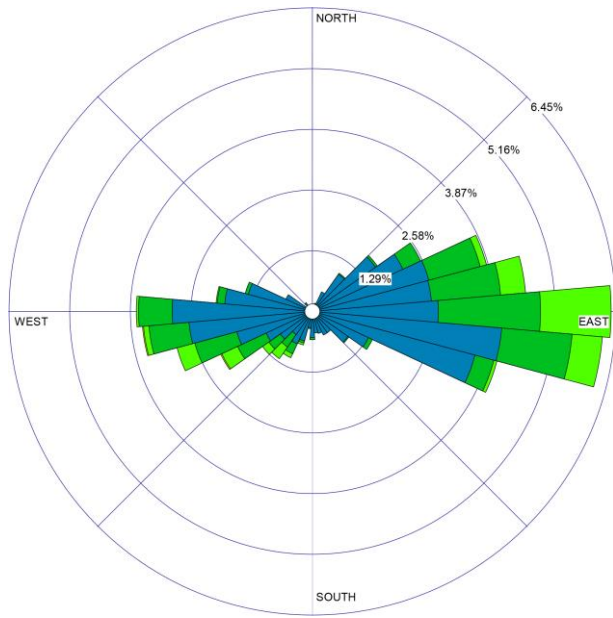
Los períodos de calma entre los años 2014-2016 son estables y representan en promedio el 11.87% del tiempo graficado. De igual forma, pero en menor medida se observan periodos de calma regulares para los semestres reportados de 2017-2019 notándose una evidente reducción de estos, los que representan en promedio el 2.29% del tiempo graficado.





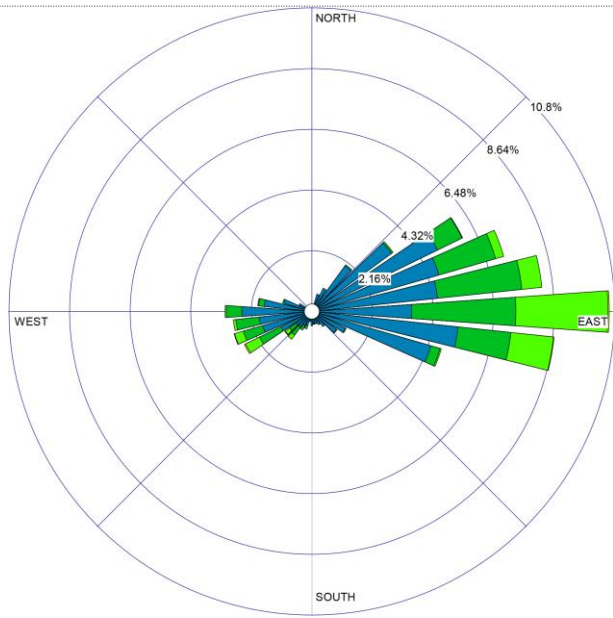
Calma: 22.19%
Veloc. Prom. Viento: 1.42 m/s

(c)



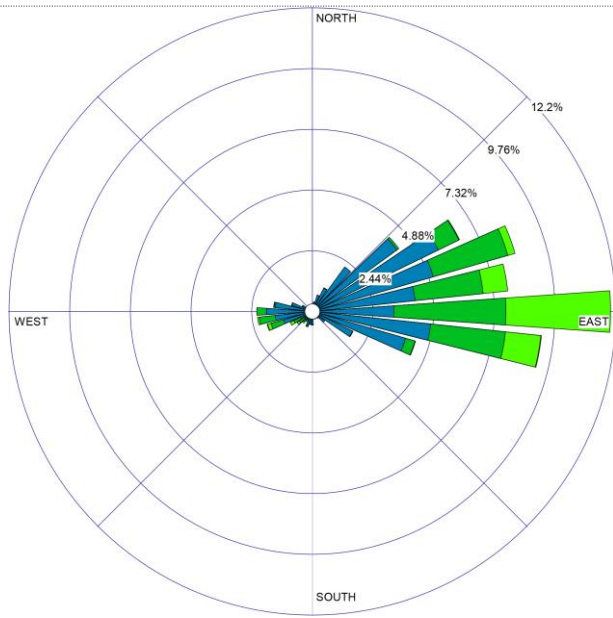
Calma: 16.83%
Veloc. Prom. Viento: 1.27 m/s

(d)



Calma: 22.11%
Veloc. Prom. Viento: 1.36 m/s

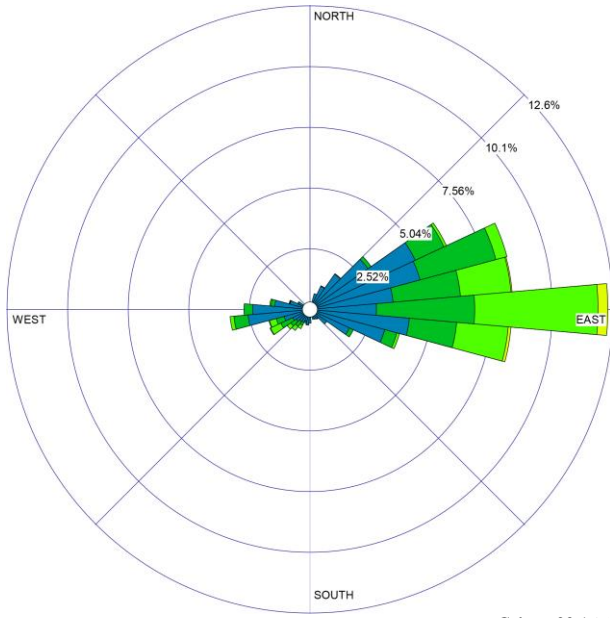
(e)



Calma: 24.27%
Veloc. Prom. Viento: 1.33 m/s

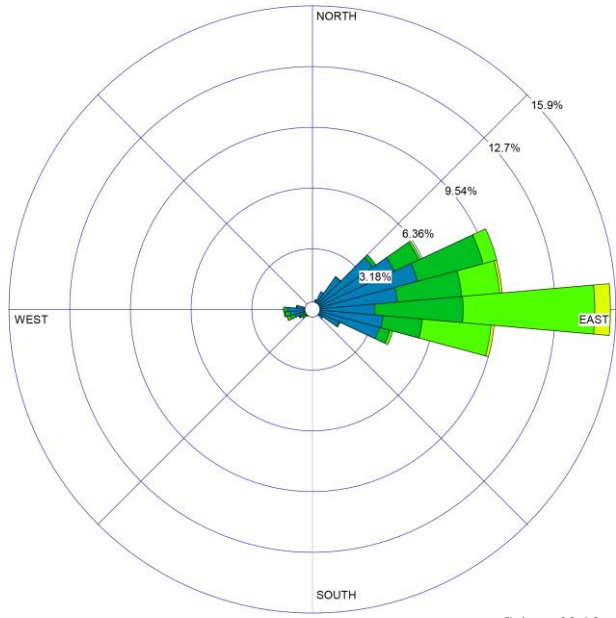
(e)

Figura 4-12: Rosa de los vientos en la zona: Llacao; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.



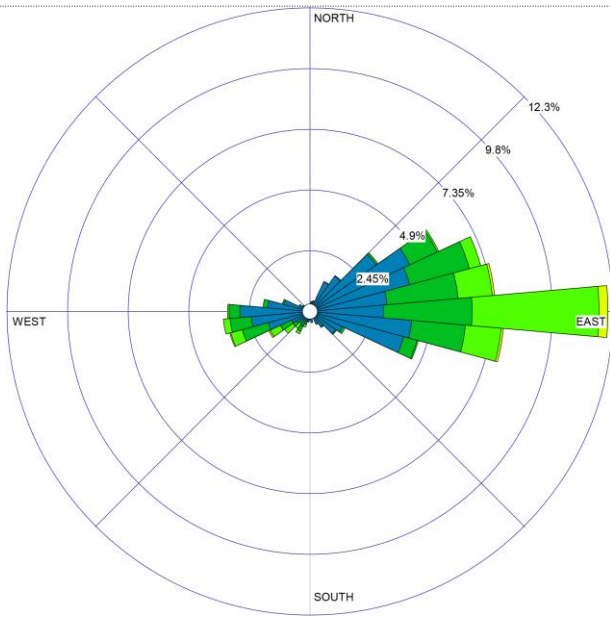
Calma: 22.16%
 Veloc. Prom. Viento: 1.54 m/s

(a)



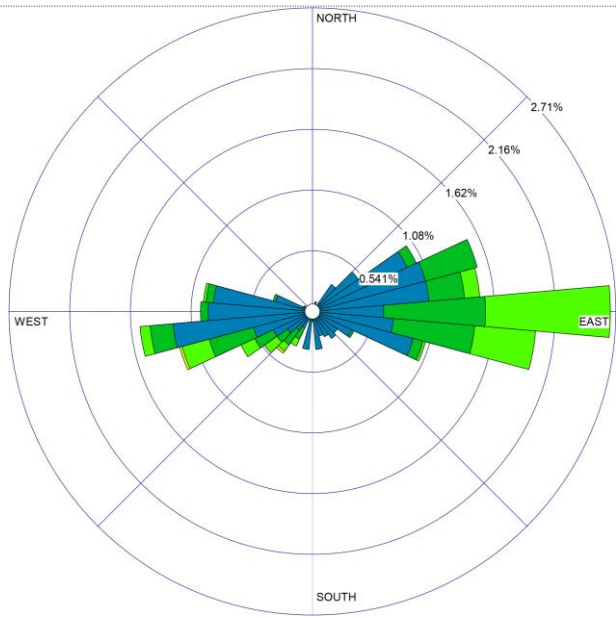
Calma: 22.93%
 Veloc. Prom. Viento: 1.65 m/s

(b)



Calma: 21.56%
 Veloc. Prom. Viento: 1.51 m/s

(c)



Calma: 4.64%
 Veloc. Prom. Viento: 1.51 m/s

(d)

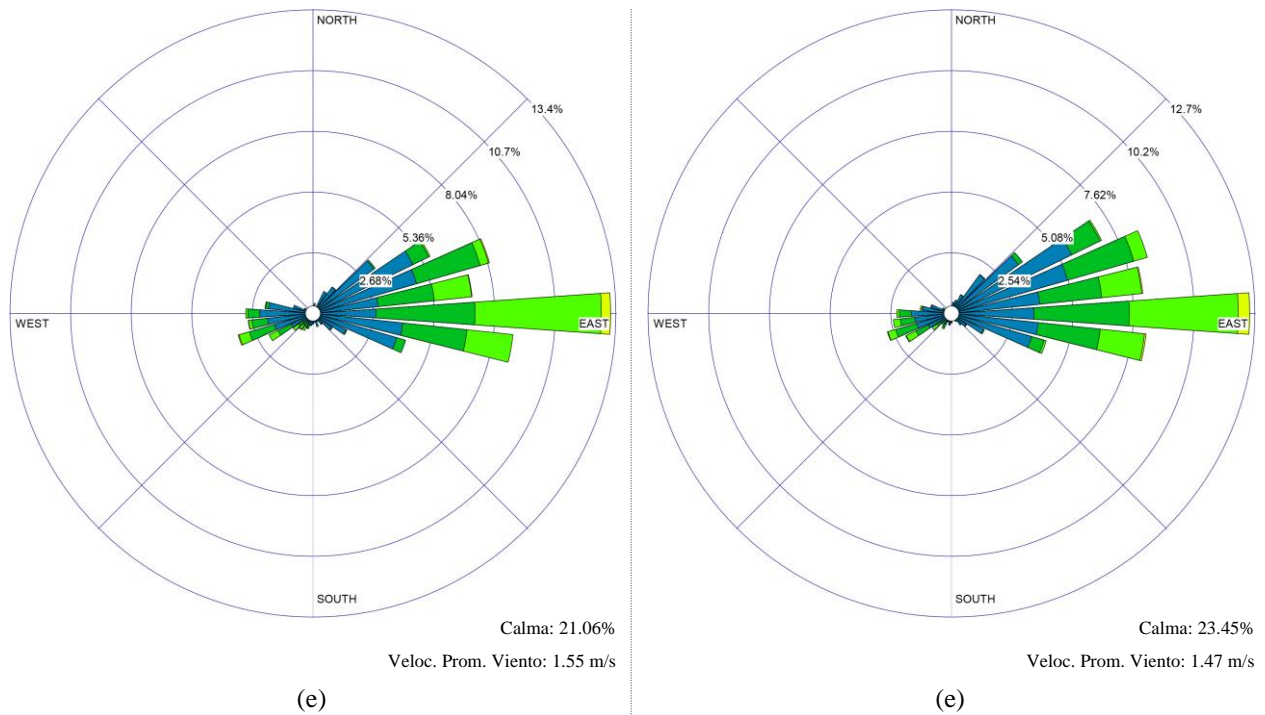
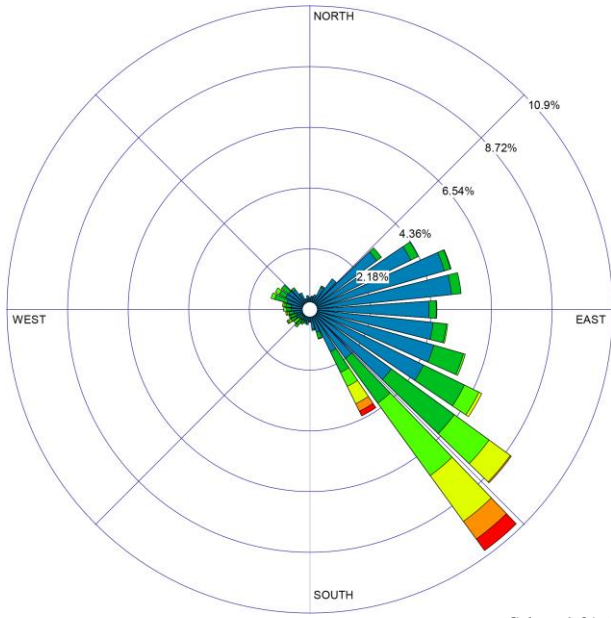


Figura 4-13: Rosa de los vientos en la zona: Llaqueo; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

Las rosas de los vientos de la **Figura 4-12** y **Figura 4-13** muestran, para los períodos documentados durante los años 2014-2019, vientos con direcciones orientadas entre el *NEpE* (56.25°) y el *ESE* (112.5°) predominantes al *E* (90°), con velocidades regulares que van desde los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s, pero que en promedio rondan los 1.47 m/s.

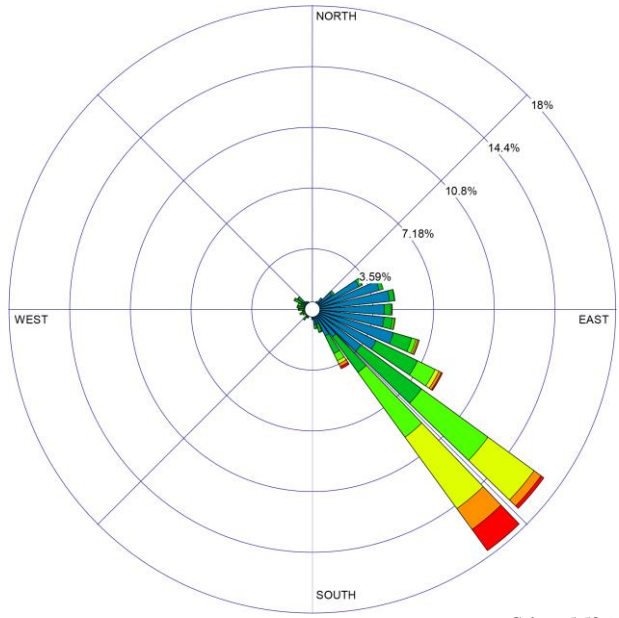
Debe notarse que en 2017 se observan, además, vientos localizados entre el *OSO* (292.5°) y el *ONO* (247.5°) predominantes al *O* (270°) en ambos semestres del año y con igual intensidad en velocidad que las reportadas anteriormente.

Los períodos de calma son semejantes y estables durante los 12 meses de los años monitoreados y representan en promedio el 21.70% del tiempo graficado. Se observó una especial diferencia durante el periodo de julio-diciembre de 2017 cuyos periodos de calma fueron notablemente más cortos representando solo el 4.64% del tiempo graficado, lo que corresponde con el hecho de que se observaran ráfagas de vientos de igual magnitud en direcciones tanto al *Este* como al *Oeste*, caracterizando al año en cuestión como más agitado en comparación con los demás periodos reportados.



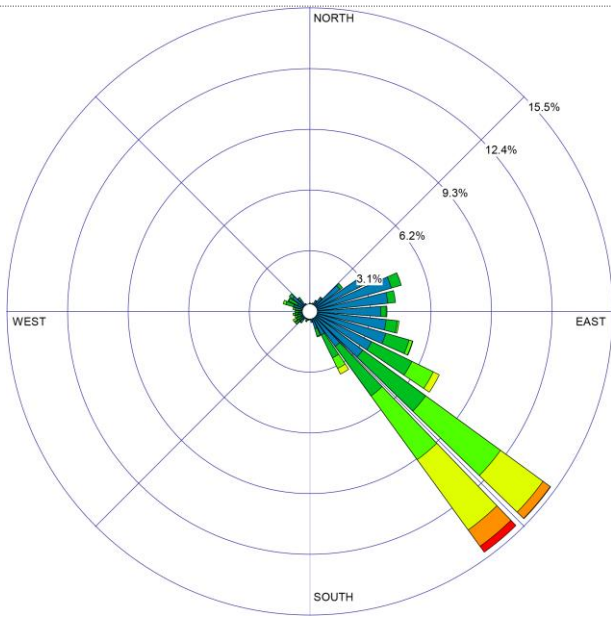
Calma: 9.31%
 Veloc. Prom. Viento: 1.89 m/s

(a)



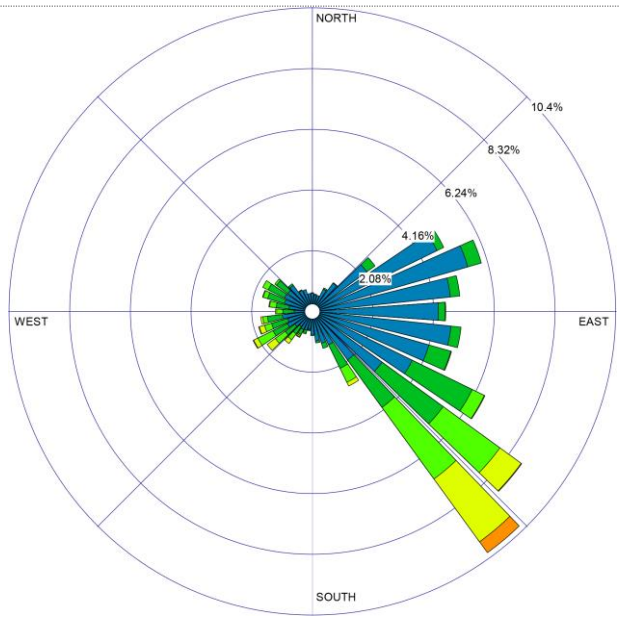
Calma: 5.58%
 Veloc. Prom. Viento: 2.75 m/s

(b)



Calma: 6.33%
 Veloc. Prom. Viento: 2.42 m/s

(c)



Calma: 7.84%
 Veloc. Prom. Viento: 1.89 m/s

(d)

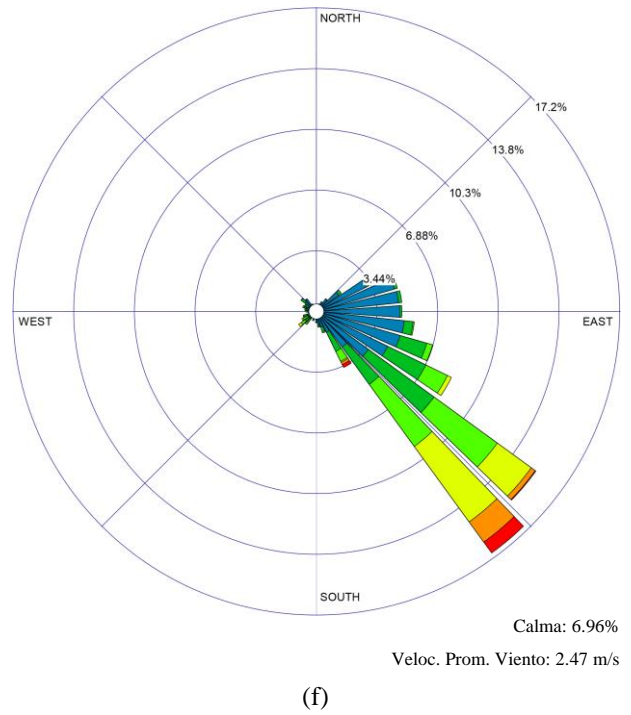
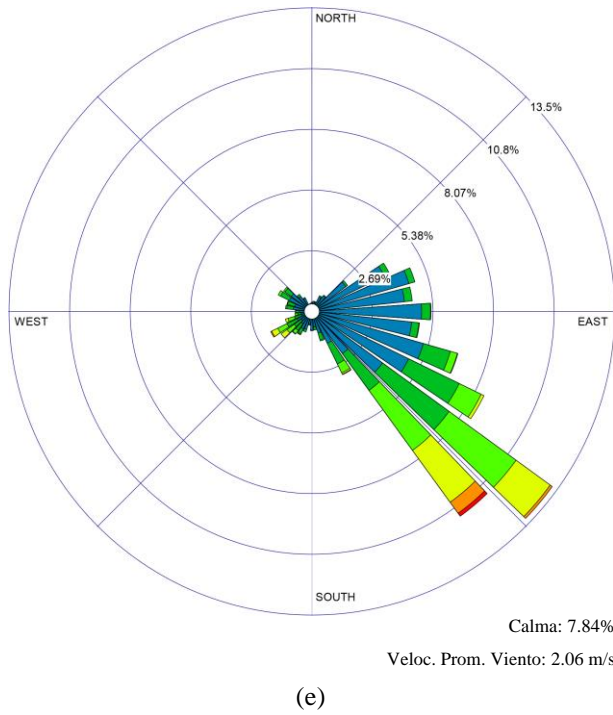
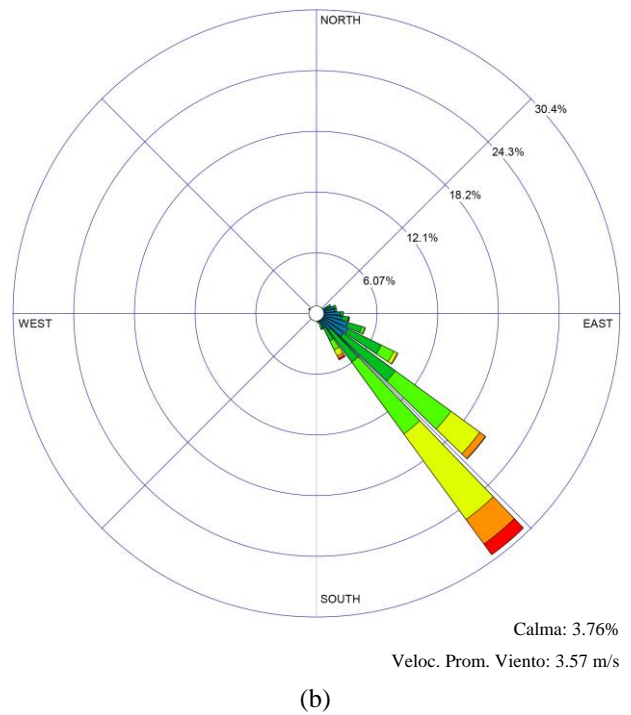
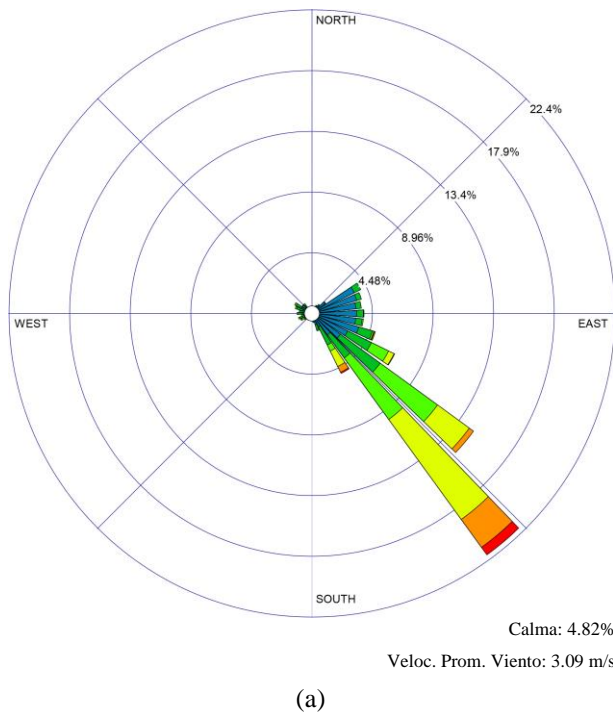
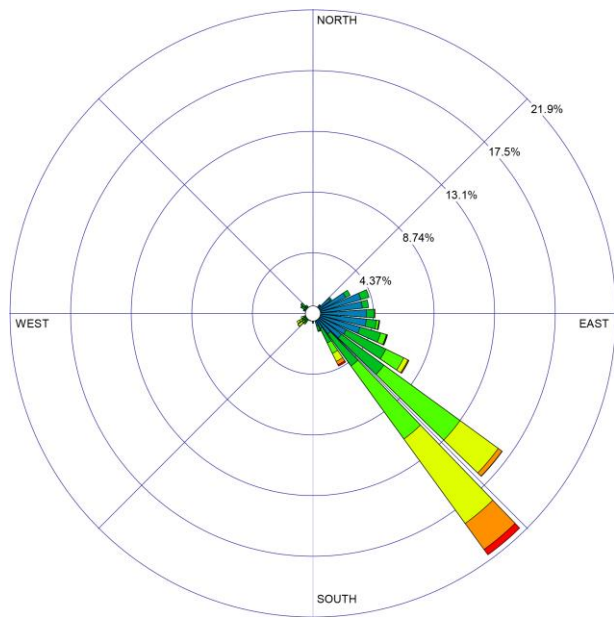


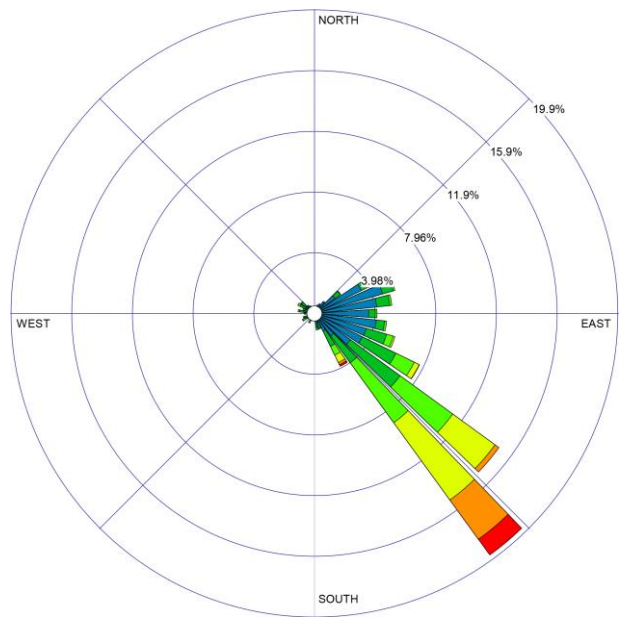
Figura 4-14: Rosa de los vientos en la zona: Molleturo; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.





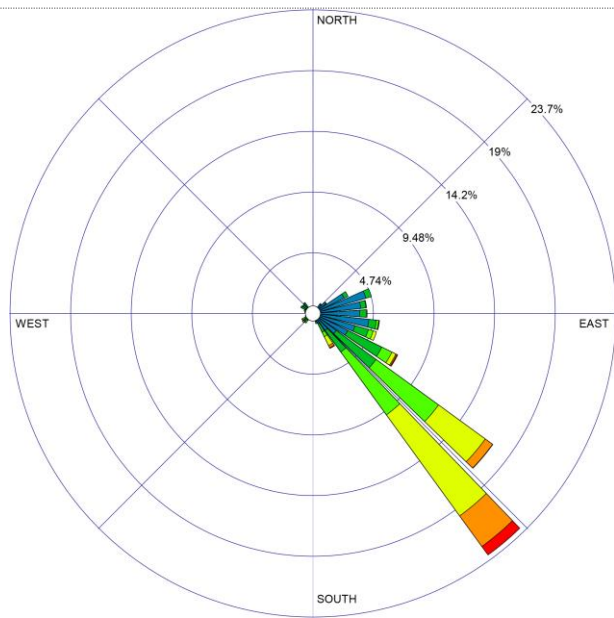
Calma: 4.82%
Veloc. Prom. Viento: 3.08 m/s

(c)



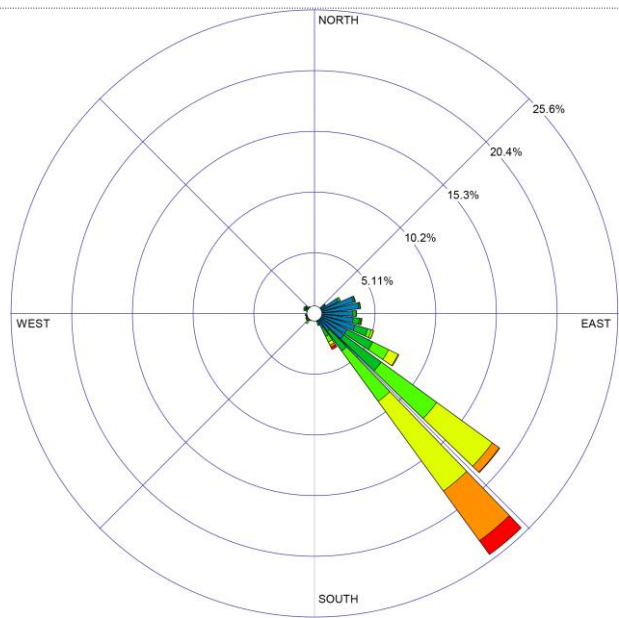
Calma: 5.77%
Veloc. Prom. Viento: 2.93 m/s

(d)



Calma: 5.37%
Veloc. Prom. Viento: 3.23 m/s

(e)



Calma: 4.51%
Veloc. Prom. Viento: 3.54 m/s

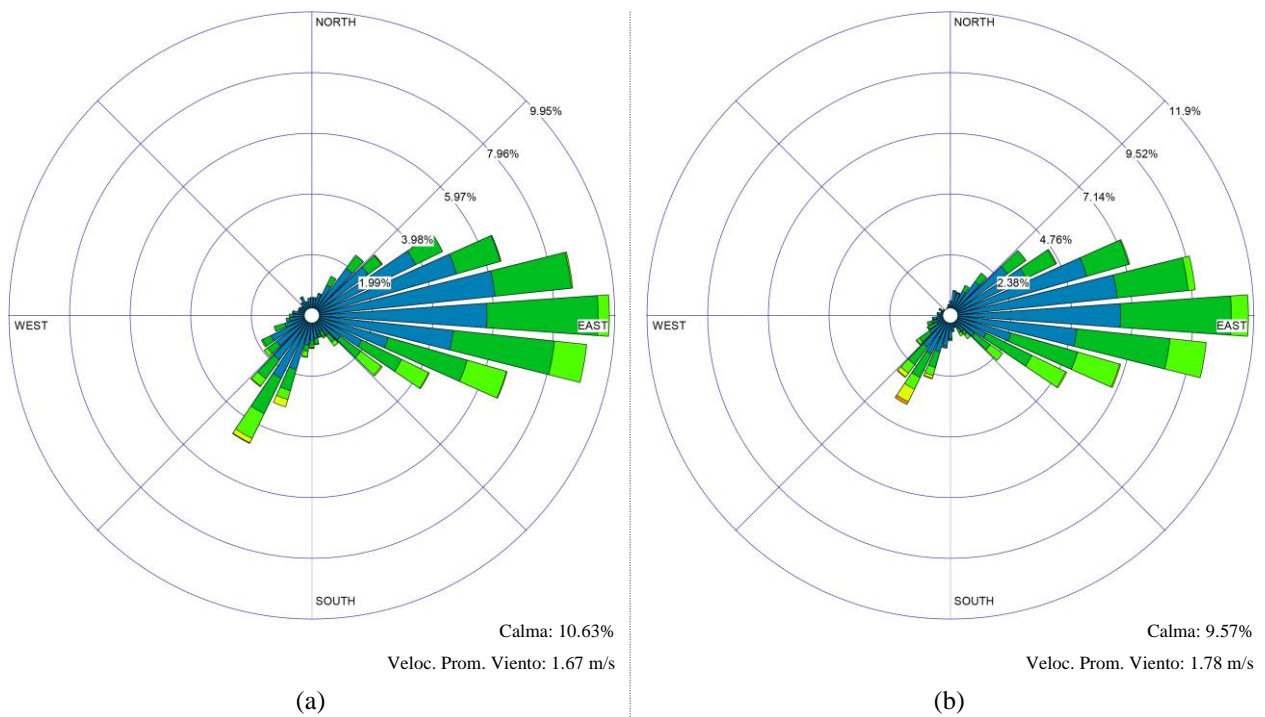
(f)

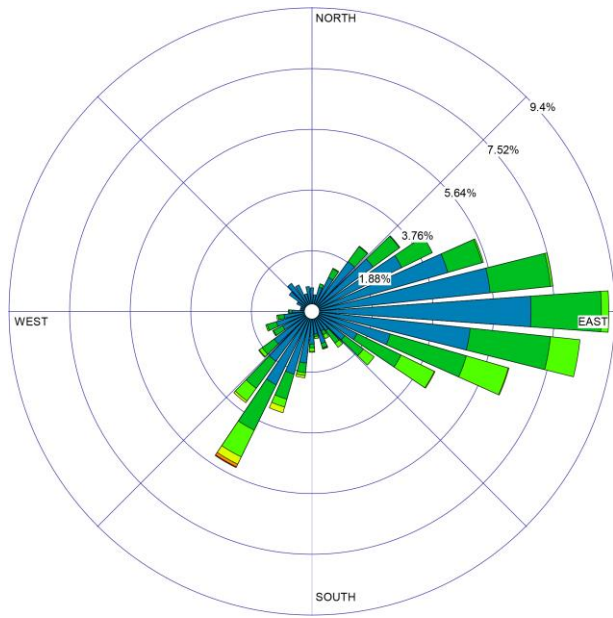
Figura 4-15: Rosa de los vientos en la zona: Molleturo; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-14** y la **Figura 4-15** muestran las rosas de los vientos de para la zona Molleturo en los períodos documentados durante los años 2014-2019. Durante el primer semestre (**Figura 4-14**), se

observan vientos con direcciones orientadas entre el *NE* (45°) y el *SE* (135°) predominantes al *SE* (135°), notándose que este comportamiento es más ordenado durante el segundo semestre de los años monitoreados (**Figura 4-15**) ya que la dirección de los vientos está fuertemente orientada al *SE* (135°), con velocidades regulares que van desde los 0.5 m/s llegando a alcanzar máximas de superiores a los 11.1 m/s, pero que en promedio rondan los 2.24 m/s y los 3.24 m/s para los respectivos semestres de 2014-2019, destacándose el incremento en la velocidad de los vientos durante el segundo periodo de los años analizados debido probablemente en gran medida al ordenamiento en la dirección de los vientos.

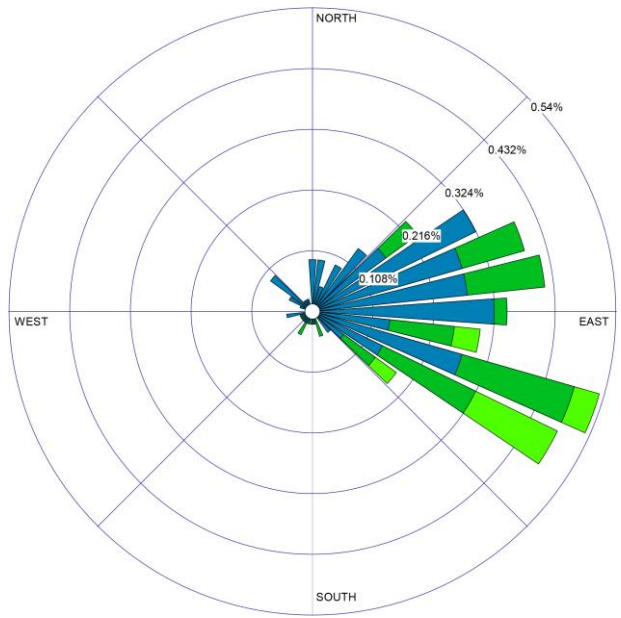
Los períodos de calma son semejantes en ambos semestres de los años estudiados y representan en promedio el 7.64% y 4.84% respectivamente, para el tiempo graficado, notándose un ligero descenso en los periodos de calma durante el segundo semestre de 2014-2019 lo que corresponde con en el aumento de la velocidad.





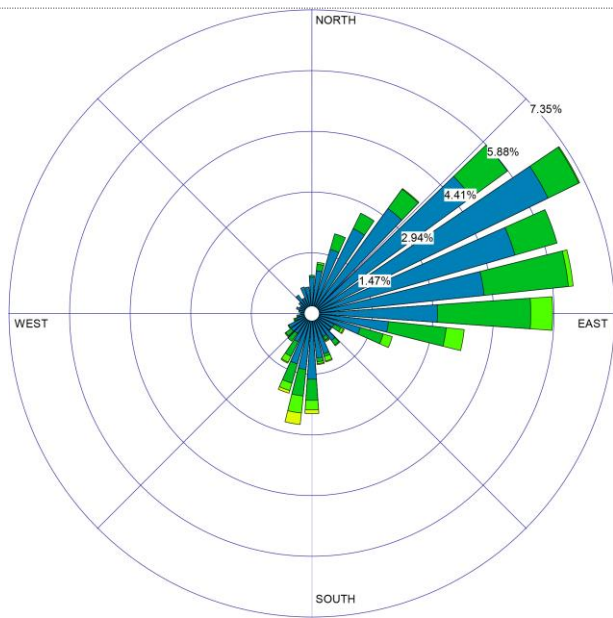
Calma: 10.73%
 Veloc. Prom. Viento: 1.62 m/s

(c)



Calma: 0.65%
 Veloc. Prom. Viento: 1.48 m/s

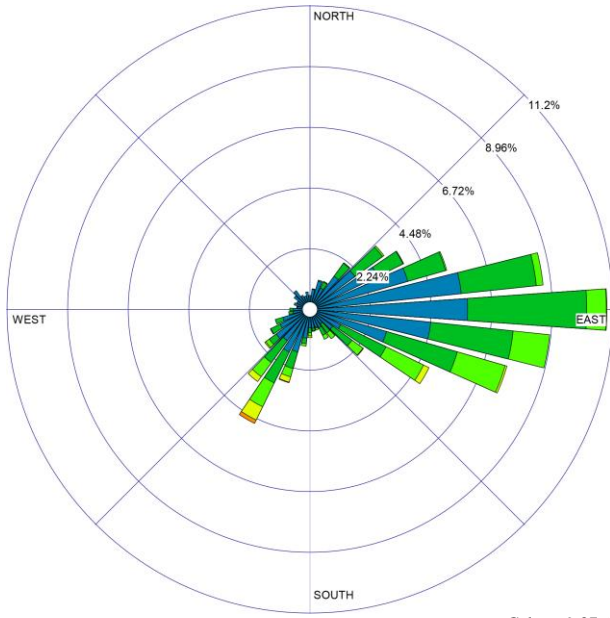
(d)



Calma: 30.96%
 Veloc. Prom. Viento: 1.1 m/s

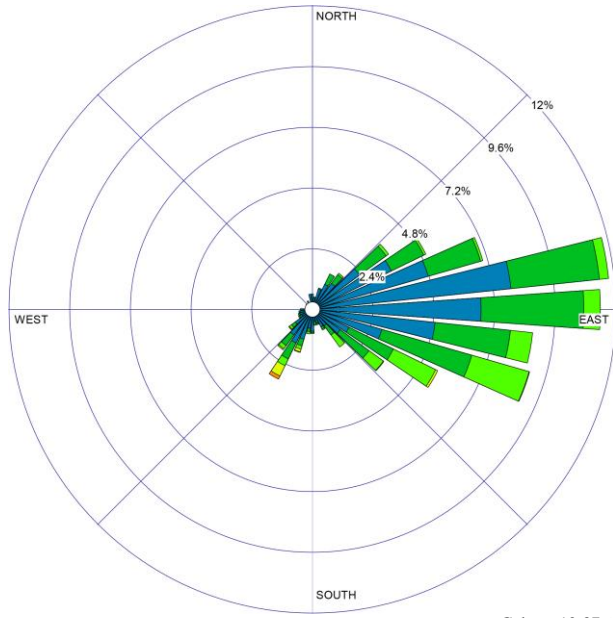
(e)

Figura 4-16: Rosa de los vientos en la zona: Nulti; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2019, respectivamente.



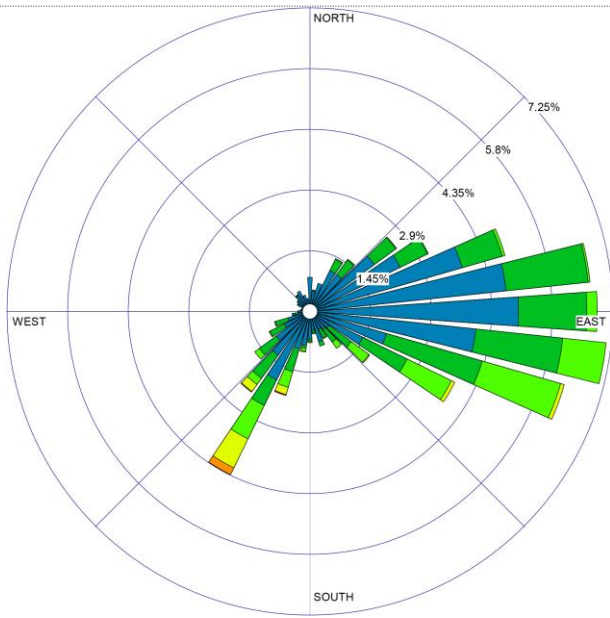
Calma: 9.37%
 Veloc. Prom. Viento: 1.84 m/s

(a)



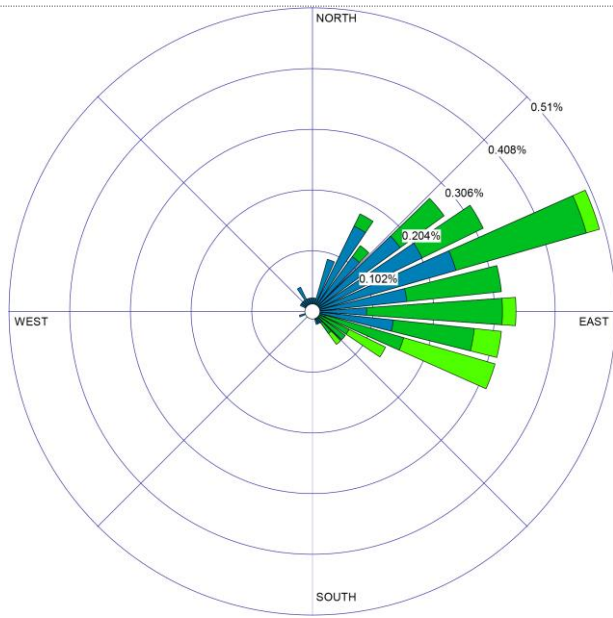
Calma: 10.37%
 Veloc. Prom. Viento: 1.80 m/s

(b)



Calma: 8.47%
 Veloc. Prom. Viento: 1.79 m/s

(c)



Calma: 0.36%
 Veloc. Prom. Viento: 1.89 m/s

(d)

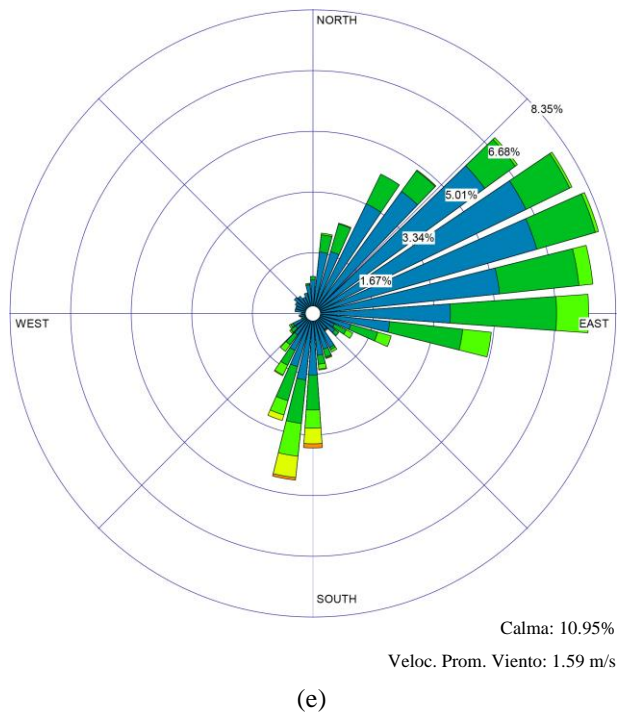
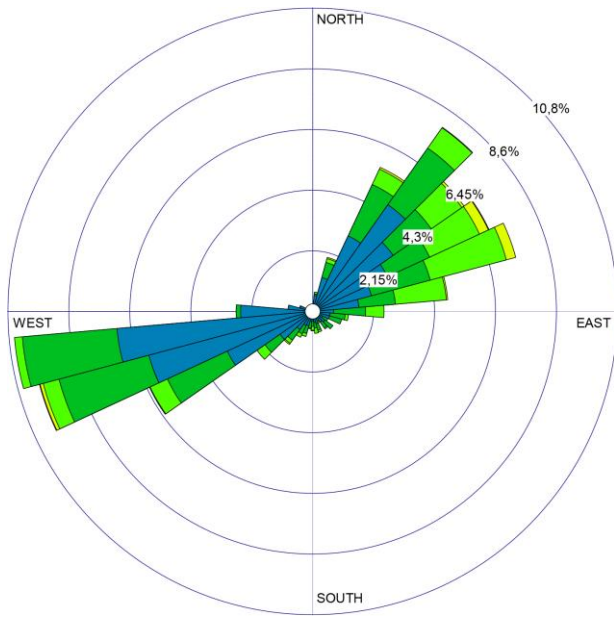


Figura 4-17: Rosa de los vientos en la zona: Nulti; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-14** y la **Figura 4-15** muestran las rosas de los vientos de para la zona Nulti en los períodos documentados durante los años 2014-2017 y 2019, en las que se observan vientos con direcciones orientadas entre el *NE* (45°) y el *SE* (135°) predominantes al *E* (90°), notándose, además, ráfagas menos regulares, pero de igual intensidad en dirección *SSO* (202.5°) y *SOpS* (213.75°).

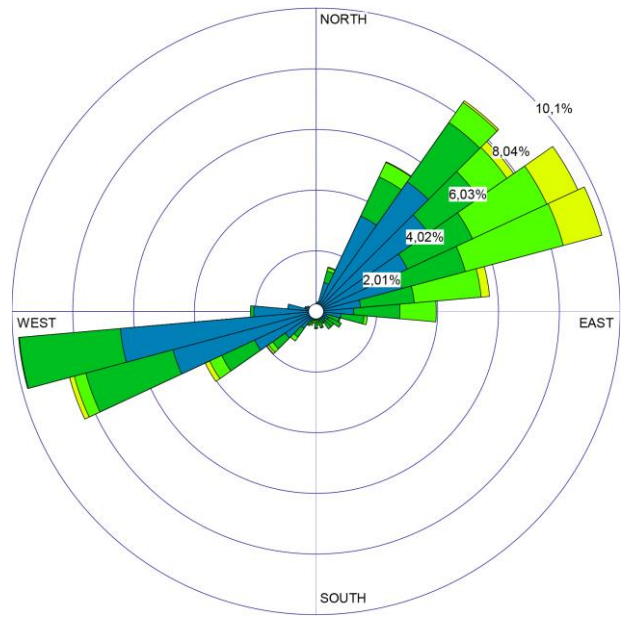
Las velocidades del viento son regulares entre los 0.5-5.7 m/s en dirección *E* (90°), llegando a alcanzar máximas de 11.1 m/s en dirección *SSO* (202.5°) y *SOpS* (213.75°), pero que en promedio rondan los 2.24 m/s y los 1.66 m/s durante los 12 meses de 2014-2017 y 2019.

Los períodos de calma son semejantes en ambos semestres durante los años 201-2016 y 2019 representando en promedio el 10.13% del tiempo graficado. En 2017, los periodos de calma disminuyen apreciablemente durante todo el año representando solo el 0.64% del tiempo graficado debido posiblemente, a que en este año solo se reportaron vientos con dirección *NE* (45°) y el *SE* (135°) dándole una mayor organización a los mismos.



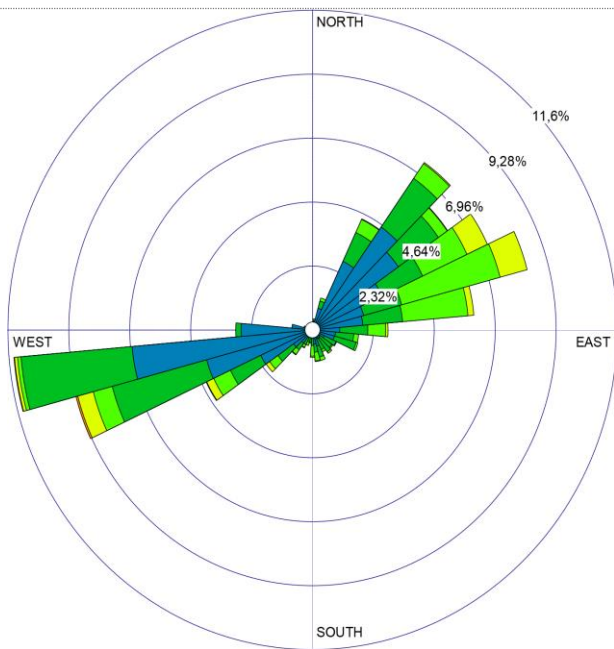
Calma: 9.66%
 Veloc. Prom. Viento: 1.97 m/s

(a)



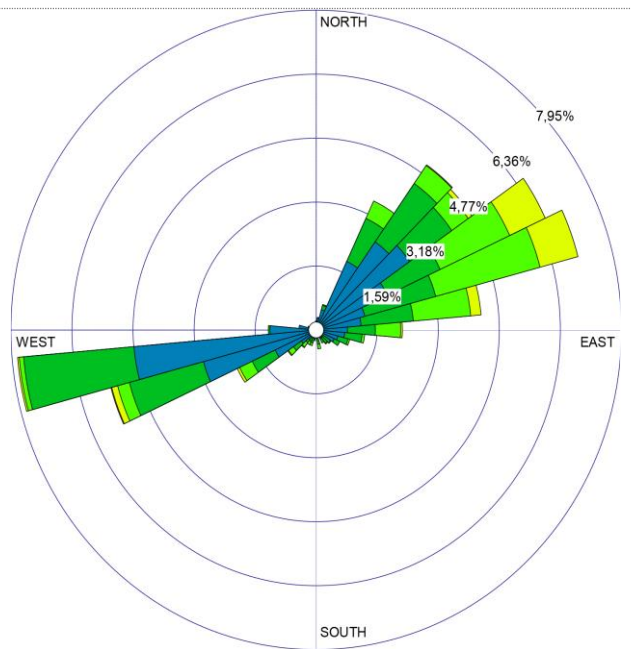
Calma: 8.71%
 Veloc. Prom. Viento: 2.12 m/s

(b)



Calma: 9.48%
 Veloc. Prom. Viento: 2.17 m/s

(c)



Calma: 5.52%
 Veloc. Prom. Viento: 2.25 m/s

(d)

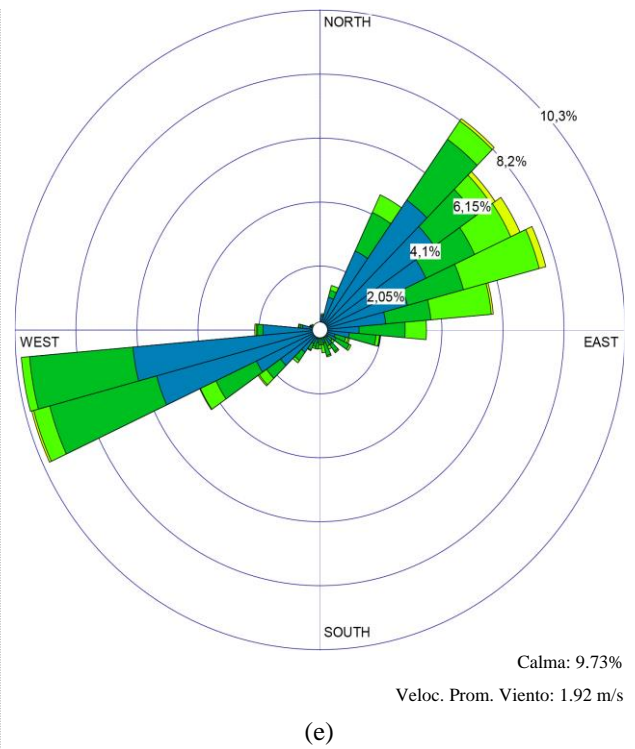
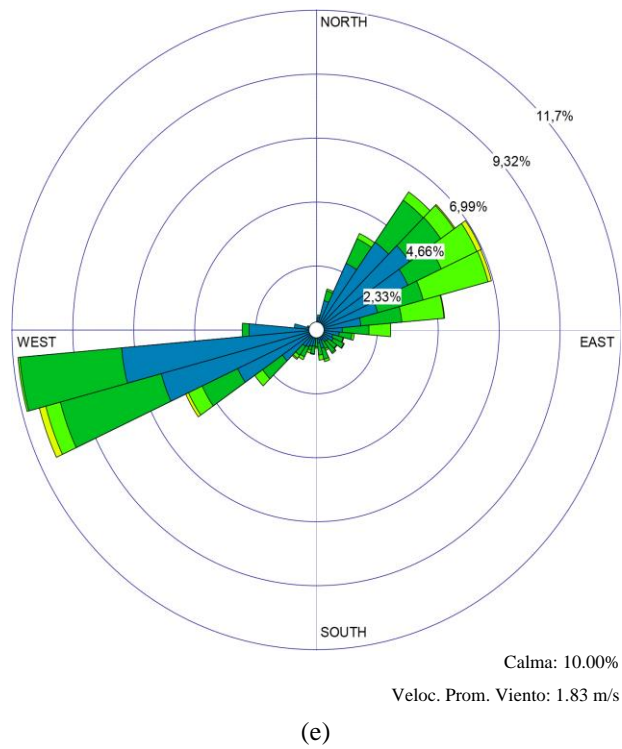
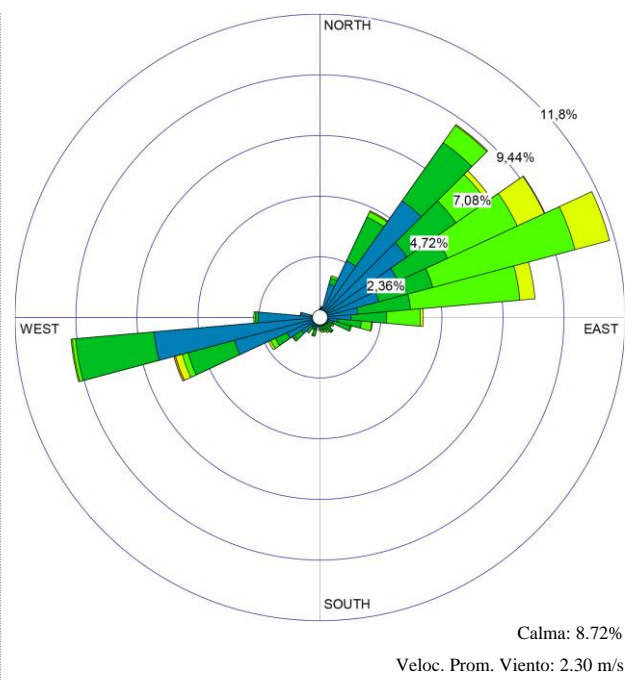
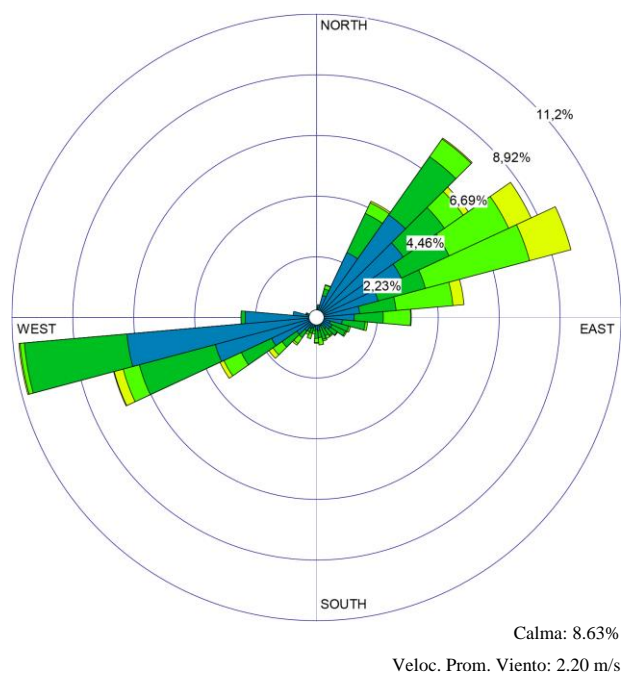


Figura 4-18: Rosa de los vientos en la zona: Quingee; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.



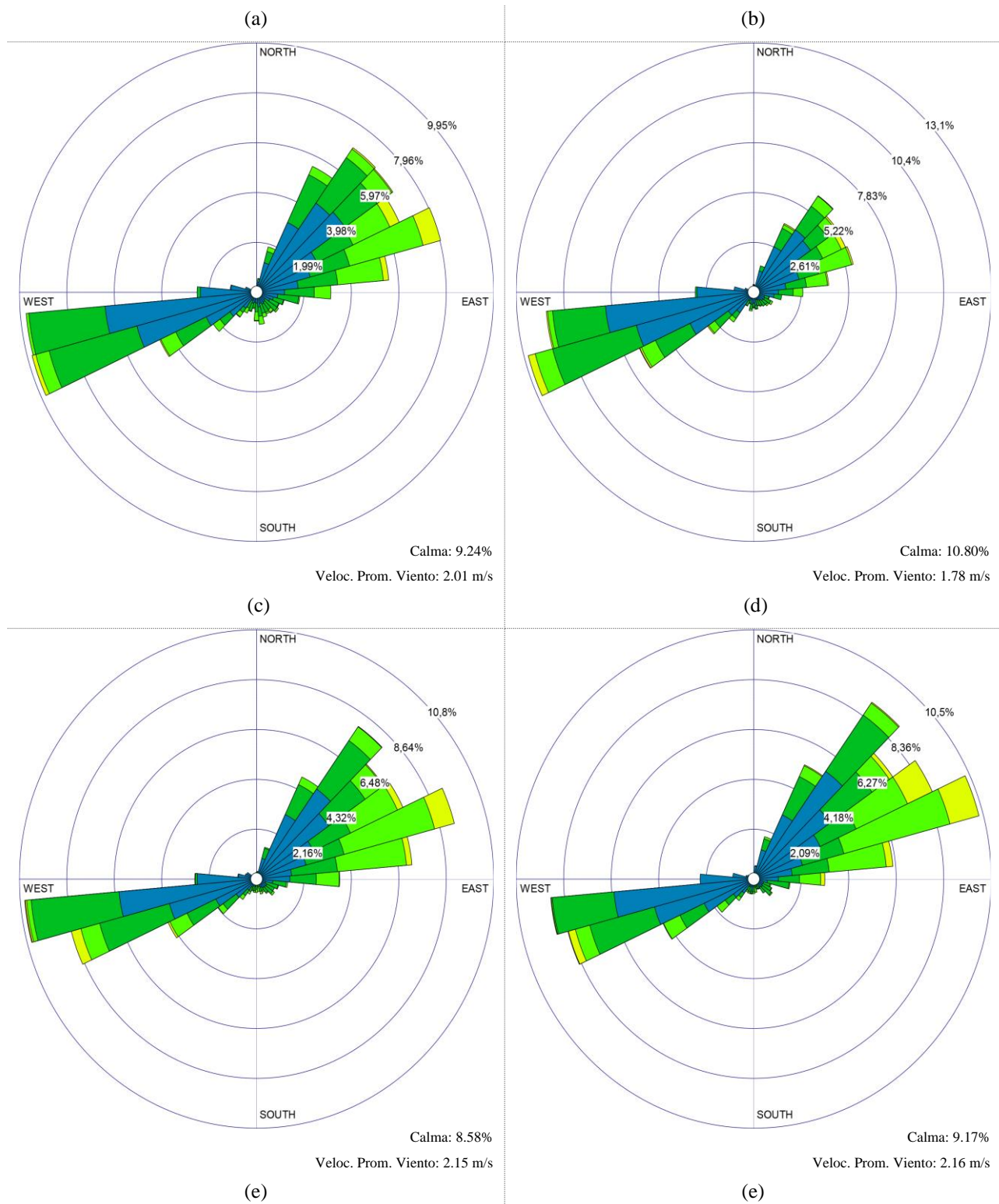
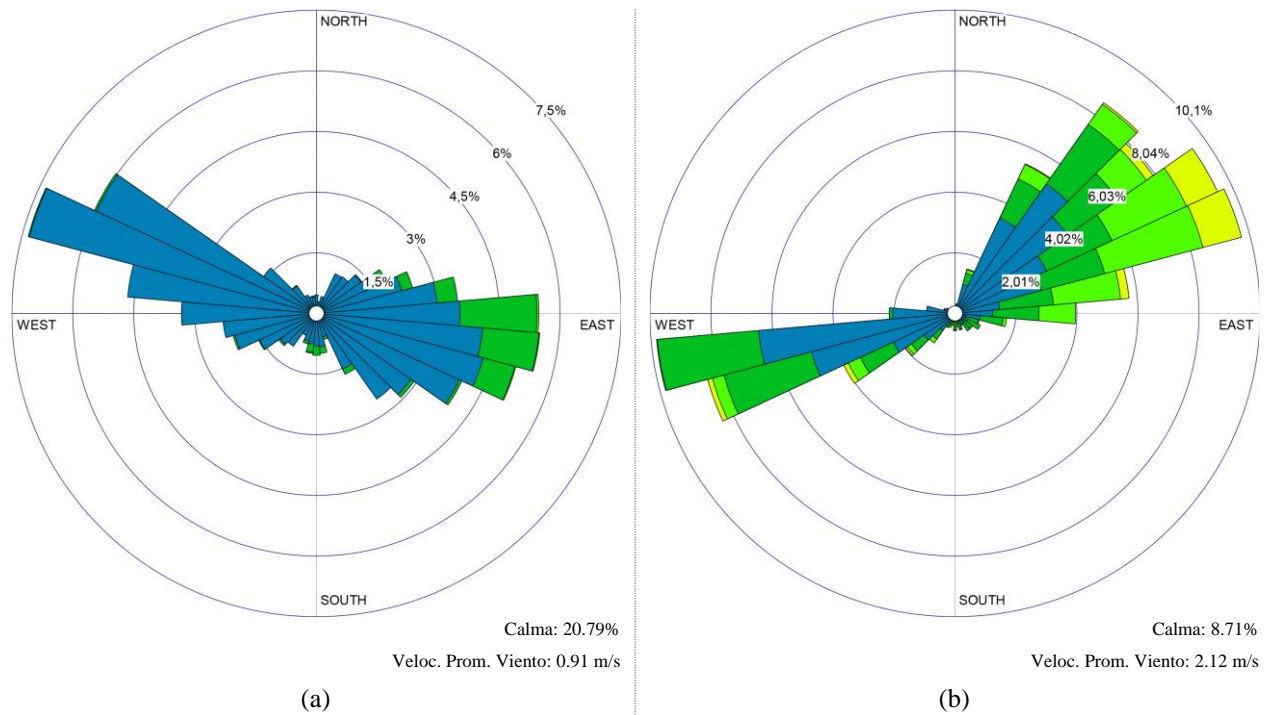


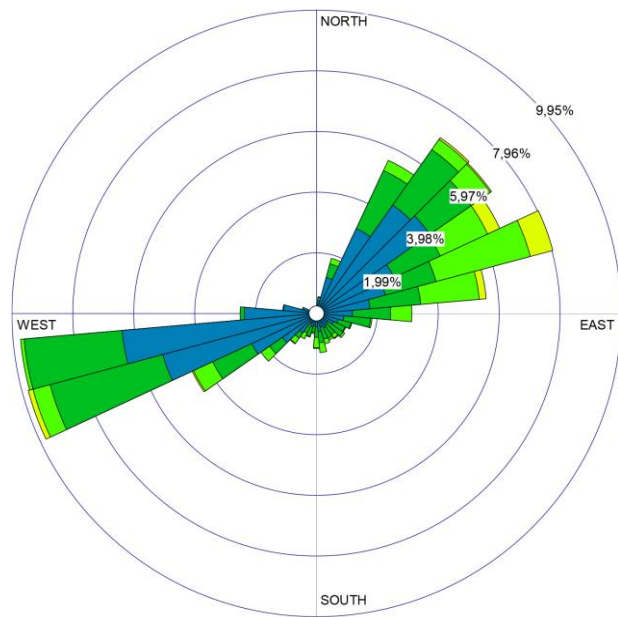
Figura 4-19: Rosa de los vientos en la zona: Quingee; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-18** y la **Figura 4-19** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014-2019 en la estación meteorológica de Quingeo, en todos los casos se observa un comportamiento análogo de los vientos, delimitados por el *NEpN* (33.75°) y el *EpNE* (78.75°), fuertemente localizados al *ENE* (67.5°). Se registran, además, vientos fuertes localizados al *OSO* (247.5°) y al *OpSO* (258.75°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s; pero que en promedio rondan los 2.07 m/s. A pesar de existir vientos que viajan a en dos direcciones casi opuestas, se evidencia que el comportamiento dominante es hacia el *ENE* (67.5°).

Los períodos de calma en ambos semestres de los años 2014-2019 son estables y representan en promedio el 9.34% del tiempo graficado.

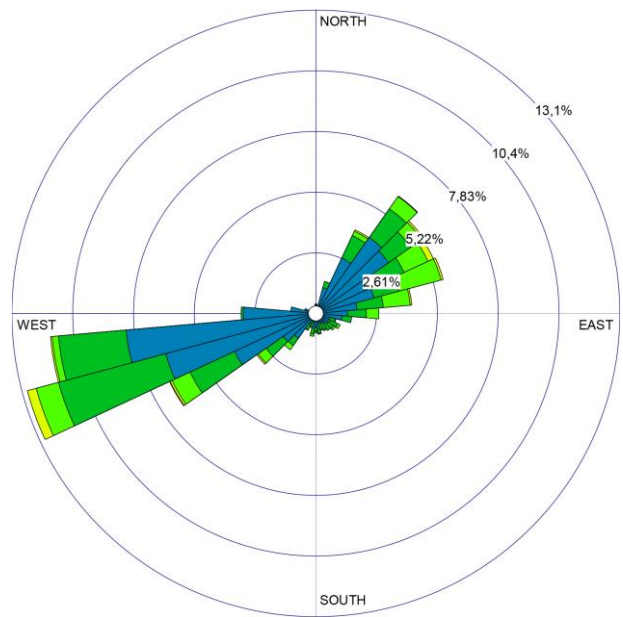
En general, puede decirse que la zona monitorea por la estación meteorológica de Quingeo tuvo un comportamiento estable de los vientos durante los años tomados como casos de estudio.





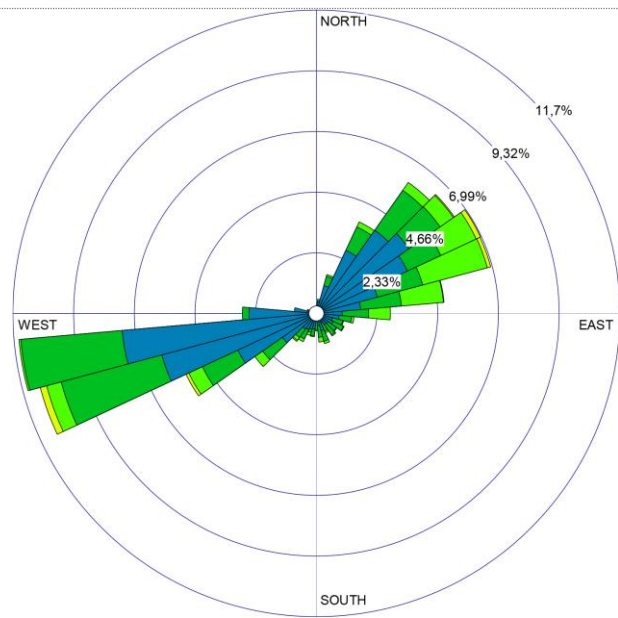
Calma: 9.24%
Veloc. Prom. Viento: 2.01 m/s

(c)



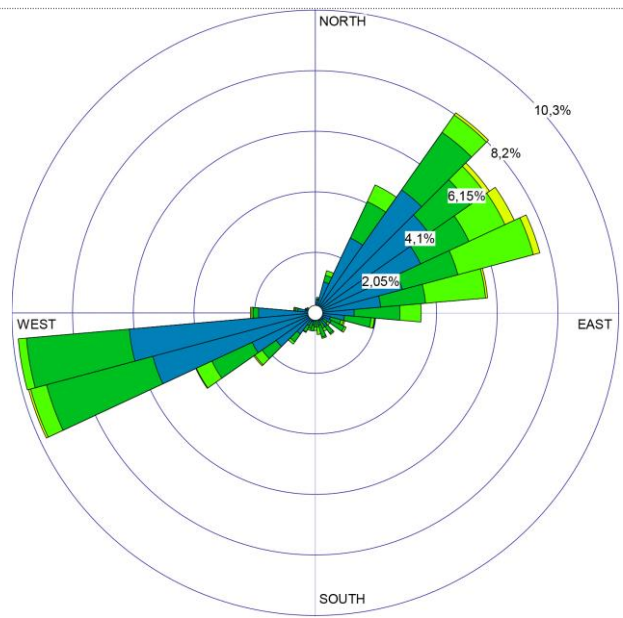
Calma: 10.80%
Veloc. Prom. Viento: 1.78 m/s

(d)



Calma: 10.00%
Veloc. Prom. Viento: 1.78 m/s

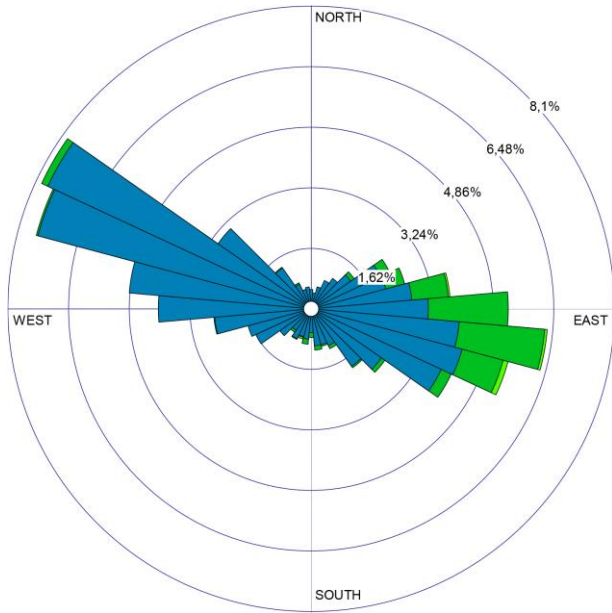
(e)



Calma: 9.73%
Veloc. Prom. Viento: 1.92 m/s

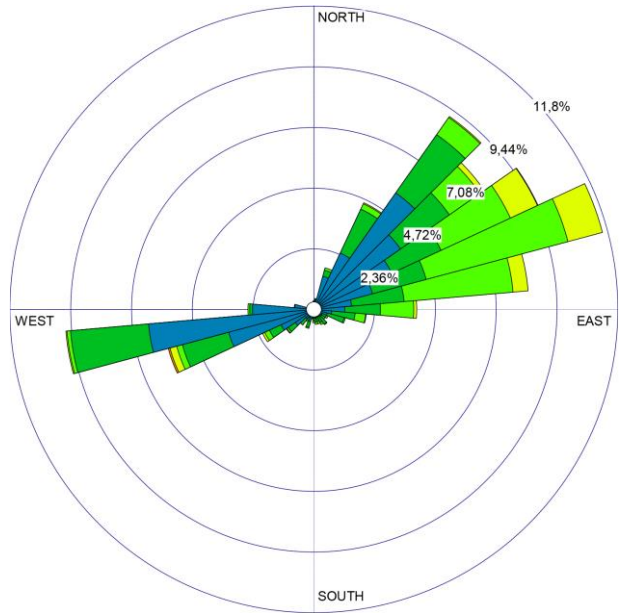
(e)

Figura 4-20: Rosa de los vientos en la zona: San Joaquín; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.



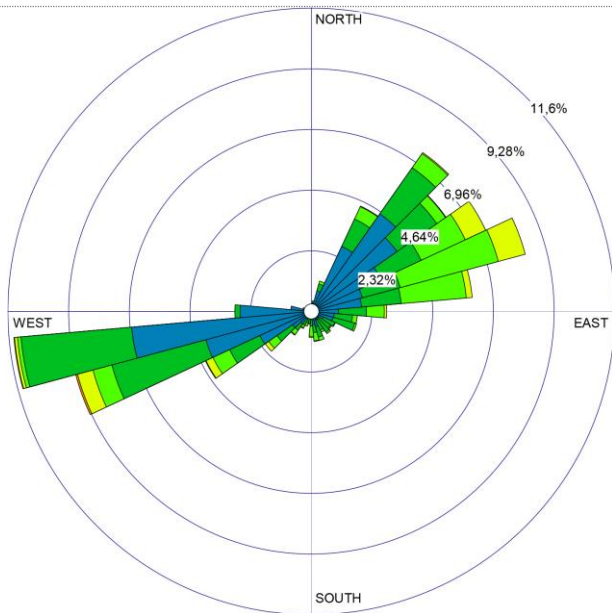
Calma: 15.83%
 Veloc. Prom. Viento: 1.03 m/s

(a)



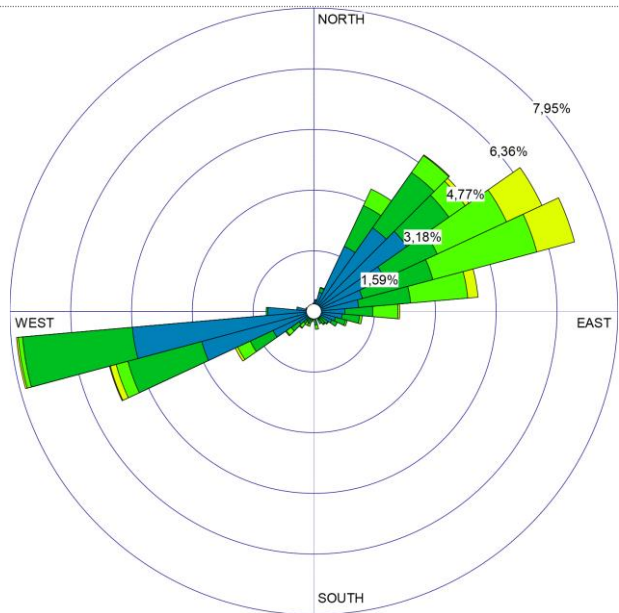
Calma: 8.72%
 Veloc. Prom. Viento: 2.03 m/s

(b)



Calma: 9.48%
 Veloc. Prom. Viento: 2.17 m/s

(c)



Calma: 5.52%
 Veloc. Prom. Viento: 2.25 m/s

(d)

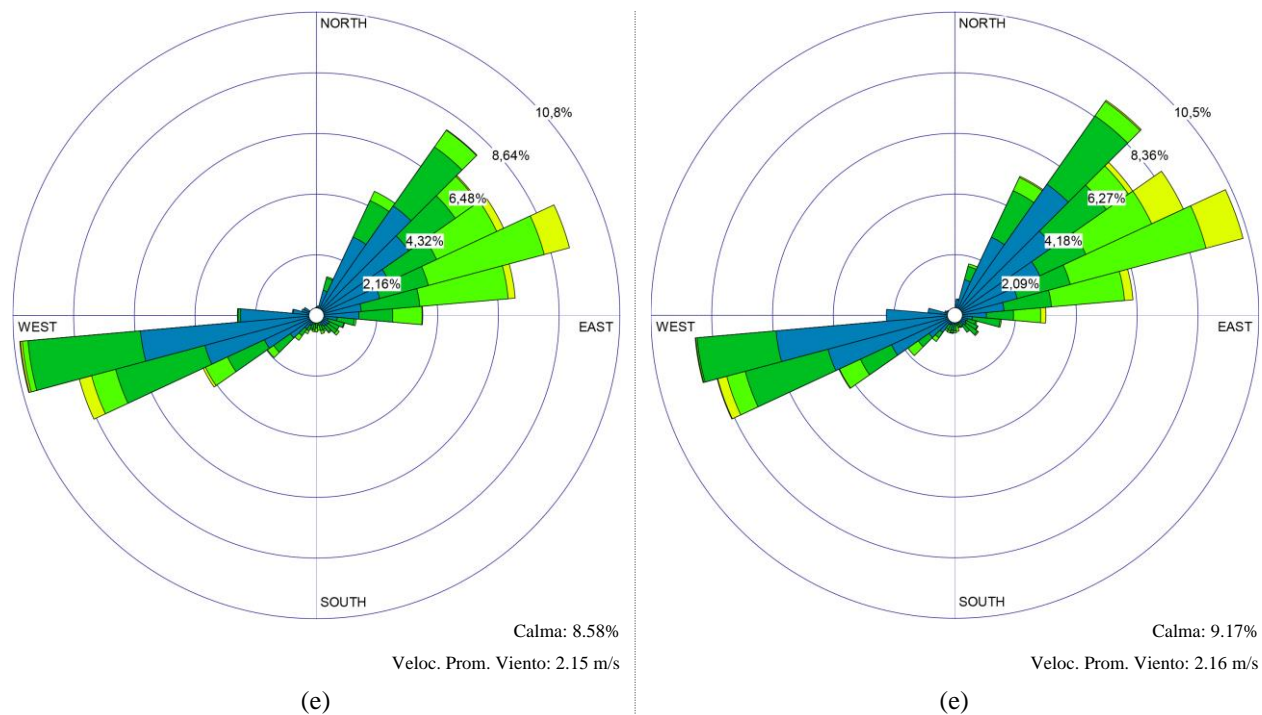


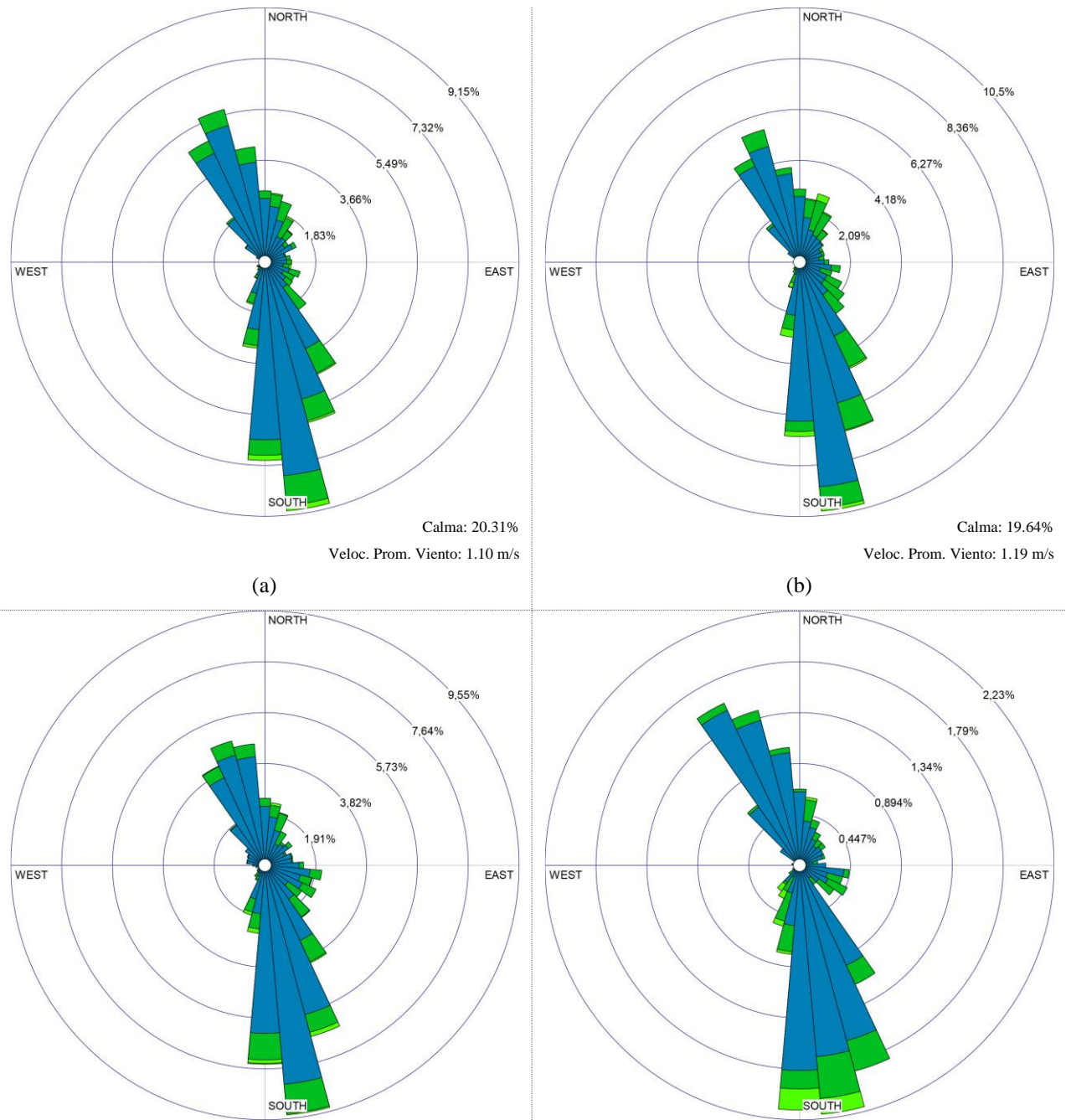
Figura 4-21: Rosa de los vientos en la zona: San Joaquín; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-20** y **Figura 4-21** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014-2019 en la estación meteorológica de San Joaquín. En 2014 los vientos toman direcciones localizadas entre el *EpNE* (78.75°) y el *ESE* (112.5°); se registran, además, vientos al *ONO* (292.5°) y al *NOpO* (303.75°). A pesar de existir vientos que viajan en dos direcciones casi opuestas, se evidencia un comportamiento dominante hacia el *EpSE* (101.5°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-3.6 m/s llegándose a registrar, en ocasiones, máximas de 5.7 m/s, pero que en promedio rondan los 0.97 m/s.

De 215-209 se observa en todos los casos un comportamiento análogo de los vientos, los que aumentan en velocidad (aproximadamente el doble) y varían su dirección, delimitados por el *NEpN* (33.75°) y el *EpNE* (78.75°), fuertemente localizados al *ENE* (67.5°). Se registran, además, vientos fuertes localizados al *OSO* (247.5°) y al *OpSO* (258.75°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s; pero que en promedio rondan los 2.03 m/s. A pesar de existir vientos que viajan en dos direcciones casi opuestas, se evidencia que el comportamiento dominante es hacia el *ENE* (67.5°).

Los períodos de calma en ambos semestres en 2014 y durante los años 2015-2019 son estables y representan en promedio el 18.39 y 9.00% del tiempo graficado, respectivamente. Esta disminución del porcentaje en los periodos de calma concuerda con el aumento de la velocidad promedio registrada en los mismos periodos y descritas anteriormente.

A pesar de las diferencias analizadas para el año 2014, puede decirse que la zona monitorea por la estación meteorológica en San Joaquín tuvo un comportamiento estable de los vientos durante los años tomados como casos de estudio.



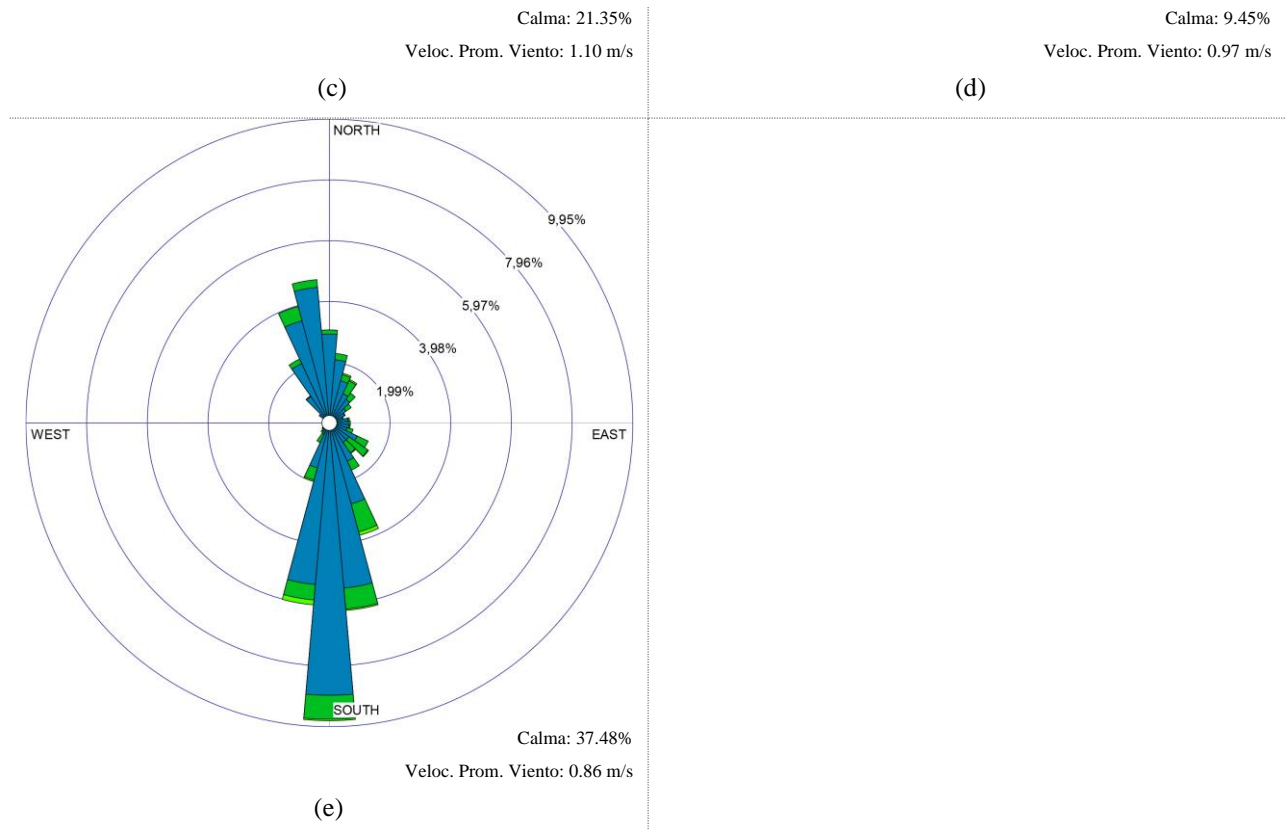
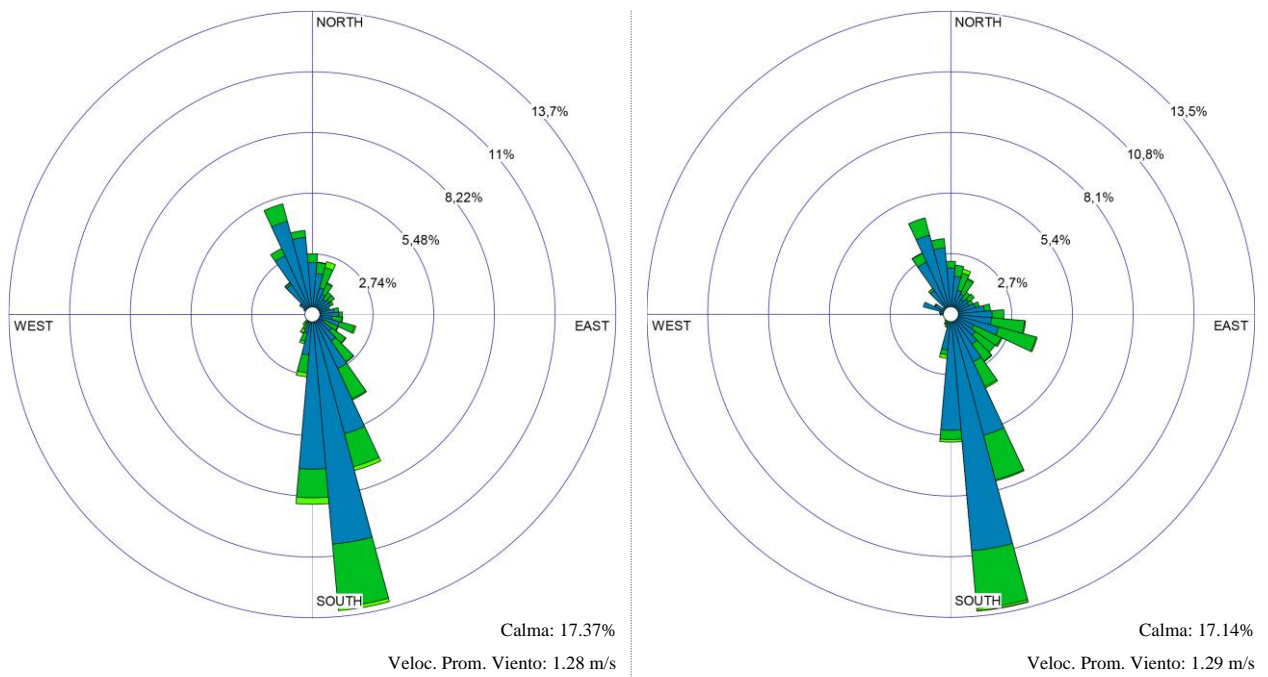


Figura 4-22: Rosa de los vientos en la zona: Santa Ana; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2018; (e) 2019, respectivamente.



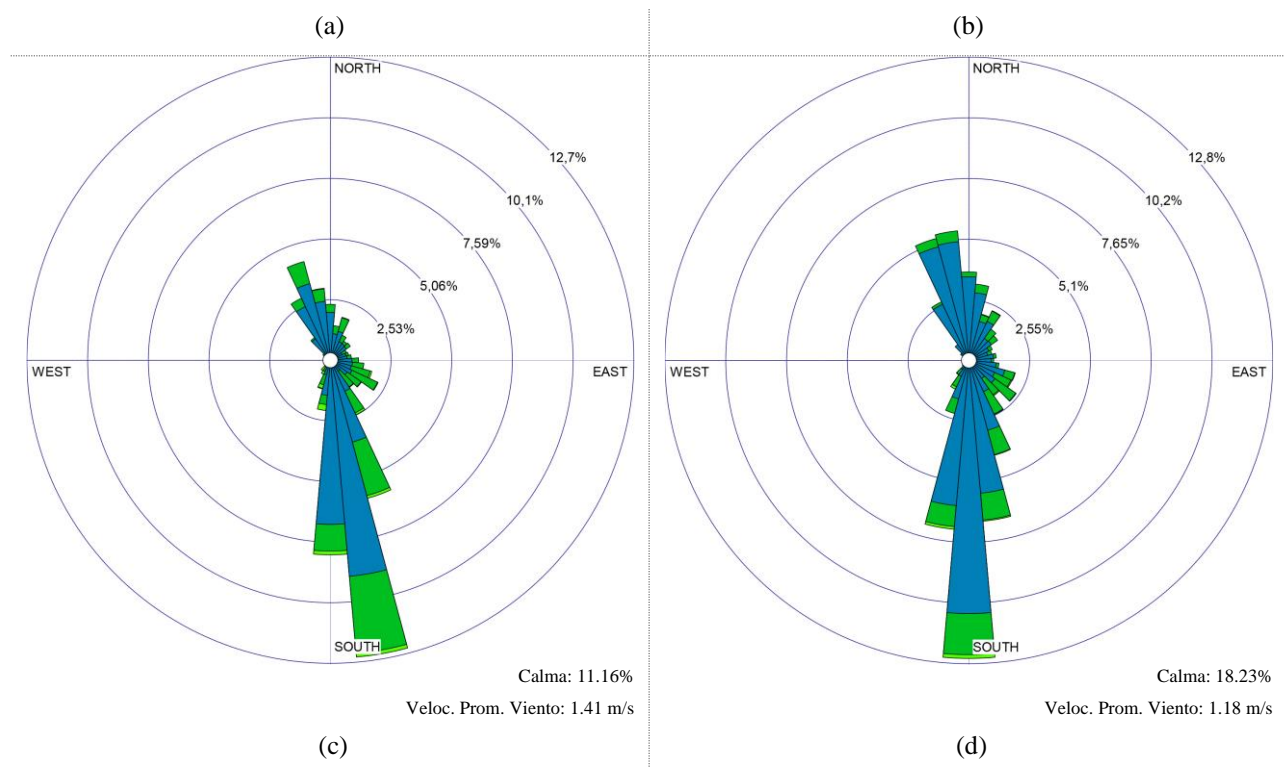


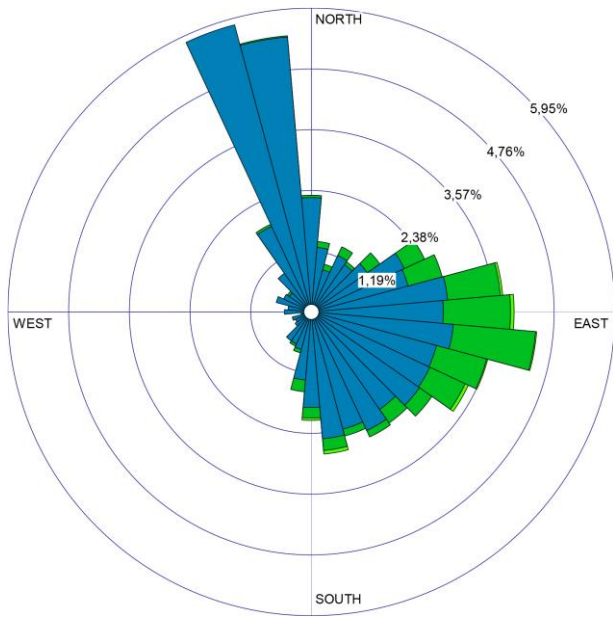
Figura 4-23: Rosa de los vientos en la zona: Santa Ana; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-22** y la **Figura 4-23** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014 y 2019 en la estación meteorológica de Santa Ana.

En todos los casos se observa un comportamiento análogo de los vientos con direcciones orientadas entre el *SSE* (157.75°) y el *SpSO* (191.25°), fuertemente localizados al *SpSE* (168.75°). Se registran, además, vientos fuertes localizados al *NOpN* (326.25°) y al *NpNO* (348.75°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-3.6 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 5.7 m/s en algunos casos; pero que en promedio rondan los 1.15 m/s. A pesar de existir vientos que viajan en dos direcciones casi opuestas, se evidencia que el comportamiento dominante es hacia el *SpSE* (168.75°).

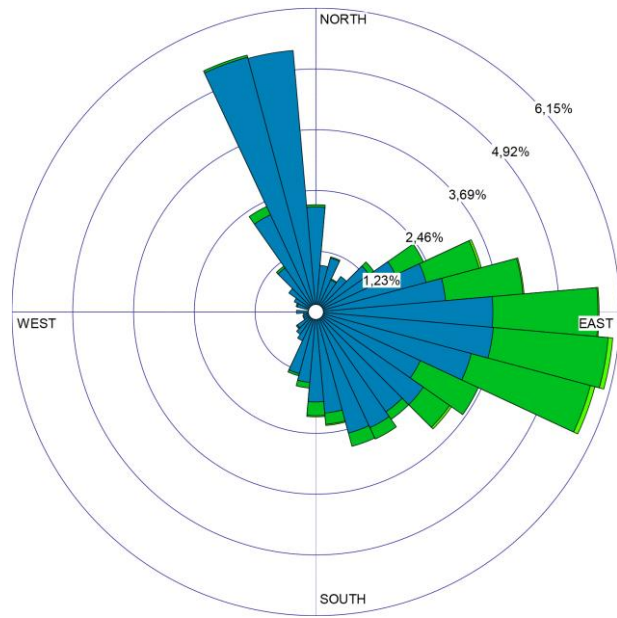
Los períodos de calma en son muy variados observándose una disminución en el segundo semestre de los años monitoreados, por ejemplo: durante los semestres de 2014 - 2016 los periodos de calma son estables y representan en promedio el 20.58% y 17.26% del tiempo graficado, respectivamente para cada semestre. Durante el primer semestre de 2018 los periodos de calma disminuyen hasta un 945% del tiempo graficado. En 2019 se aprecia que, durante el primer semestre los periodos de calma son

prolongados llegando a ser un 37.48% del tiempo graficado, efecto que disminuye a la mitad durante los meses de julio – diciembre siendo solo el 18.23% del tiempo graficado.



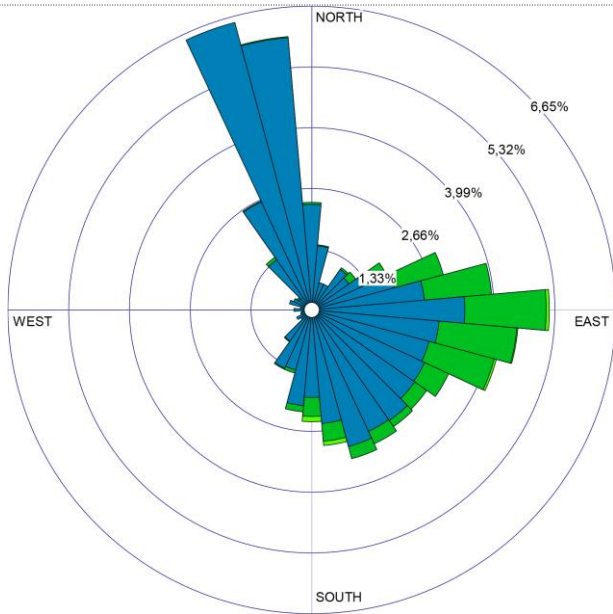
Calma: 27.48%
Veloc. Prom. Viento: 0.91 m/s

(a)



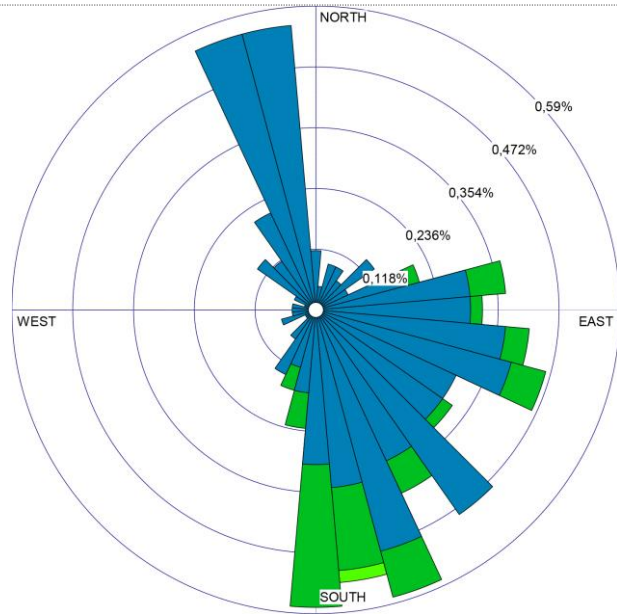
Calma: 23.87%
Veloc. Prom. Viento: 1.03 m/s

(b)



Calma: 22.27%
Veloc. Prom. Viento: 0.99 m/s

(c)



Calma: 1.91%
Veloc. Prom. Viento: 1.01 m/s

(d)

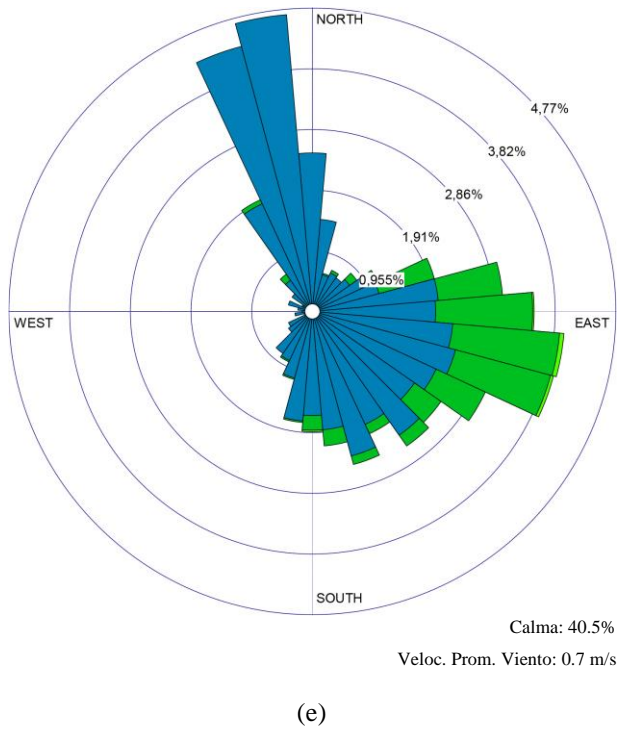
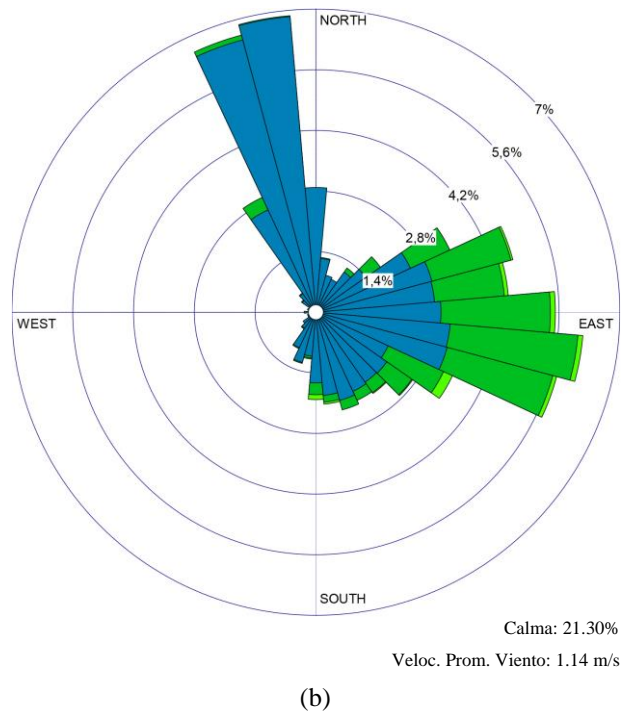
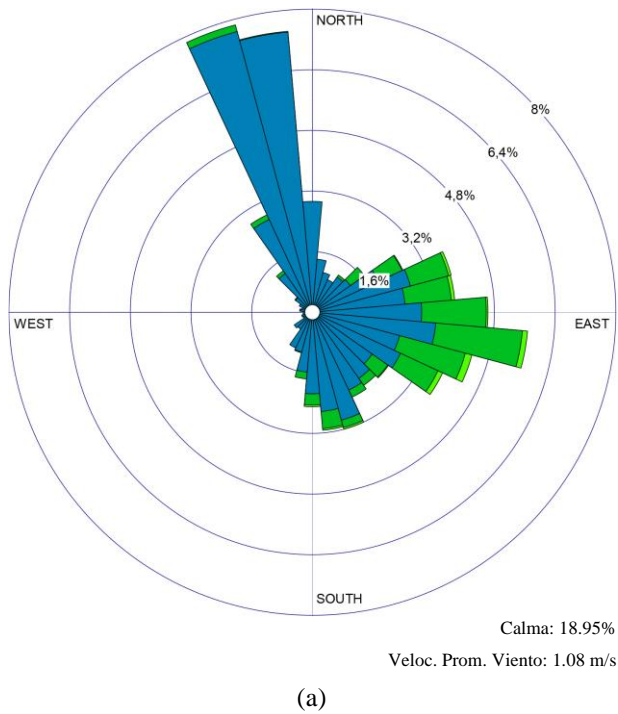


Figura 4-24: Rosa de los vientos en la zona: Sayausi; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2019, respectivamente.



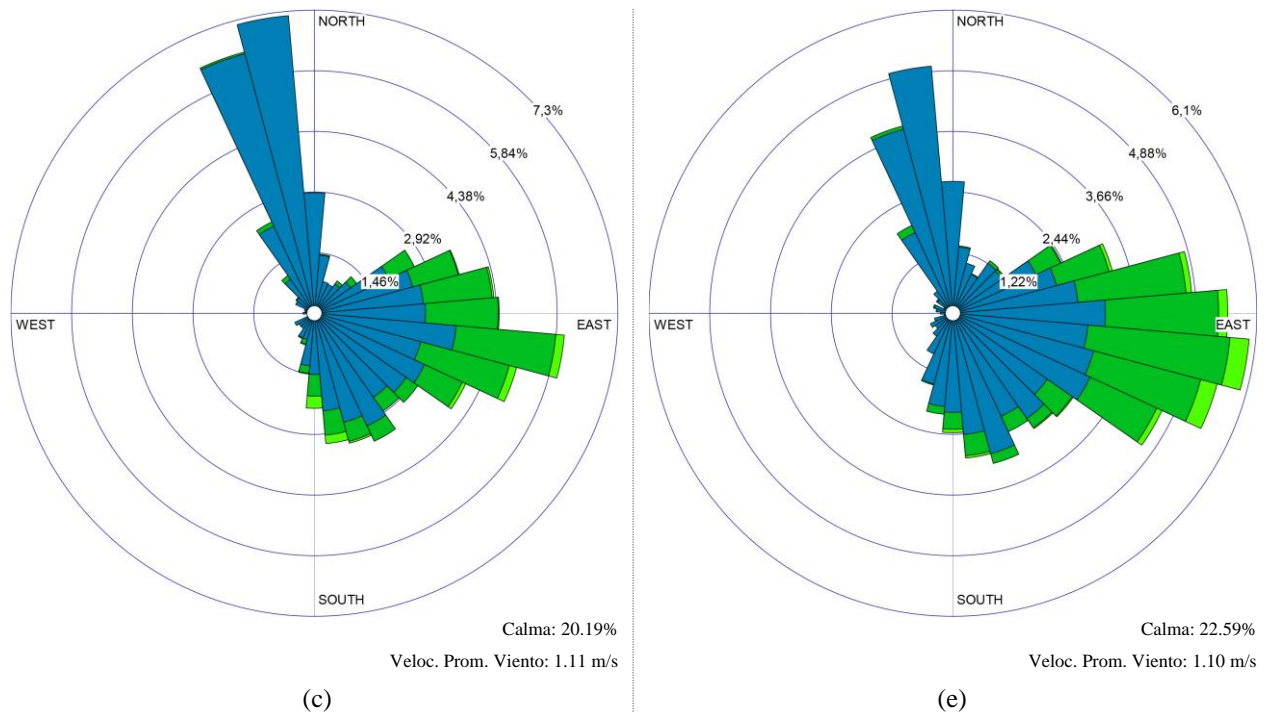
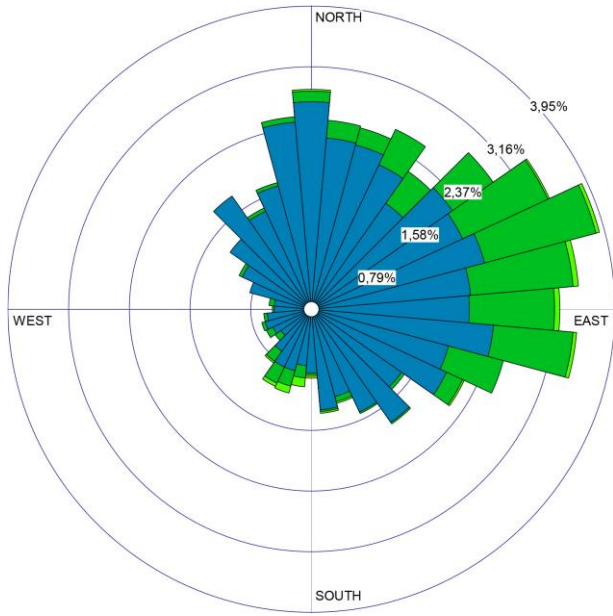


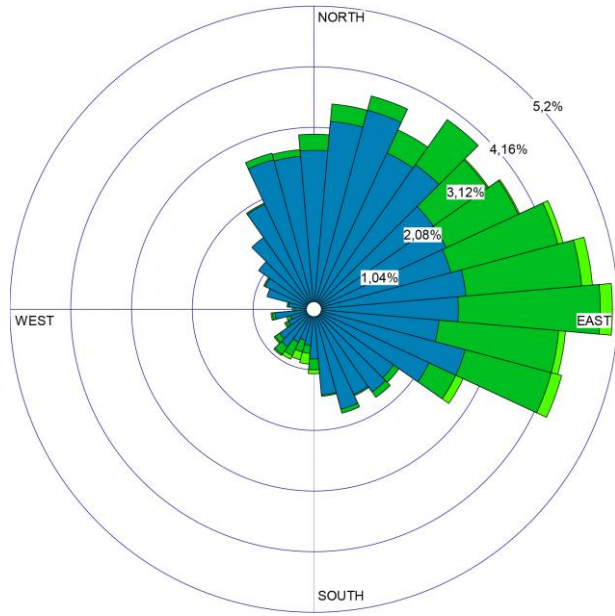
Figura 4-25: Rosa de los vientos en la zona: Sayausi; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-24** y la **Figura 4-25** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014 y 2019 en la estación meteorológica de Sayausi. En todos los casos se observa un comportamiento caótico pero similar de los vientos con direcciones localizadas dentro de un amplio espectro entre el *ENE* (67.5°) y el *S* (180°), fuertemente dirigidos al *EpSE* (1018.25°). Se registran, además, vientos fuertes localizados al *NNO* (337.5°) y al *NpNO* (348.75°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-3.6 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 5.7 m/s hacia el al *EpSE* (1018.25°); pero que en promedio rondan los 1.05 m/s. A pesar de existir vientos que viajan en dos direcciones casi opuestas, existe una mayor frecuencia de los vientos con bajas velocidades (0.5-2.10 m/s) hacia el al *EpSE* (1018.25°), en posición las ráfagas fuertes están localizadas al *EpSE* (1018.25°). Los períodos de calma en son muy variados observándose una disminución en el segundo semestre de los años monitoreados. De 2014-2016 los estos son estables y representan en promedio el 24.54% y 20.14% del tiempo graficado, respectivamente para cada semestre. Durante el primer semestre de 2017 los periodos de calma disminuyen drásticamente hasta un 1.91% del tiempo graficado, indicando un periodo muy activo de los vientos. En 2019 se aprecia un primer semestre del año muy calmado con periodos que representan el 405% del tiempo graficado, efecto que disminuye casi a la mitad durante los meses de julio – diciembre siendo solo el 22.59% del tiempo graficado.



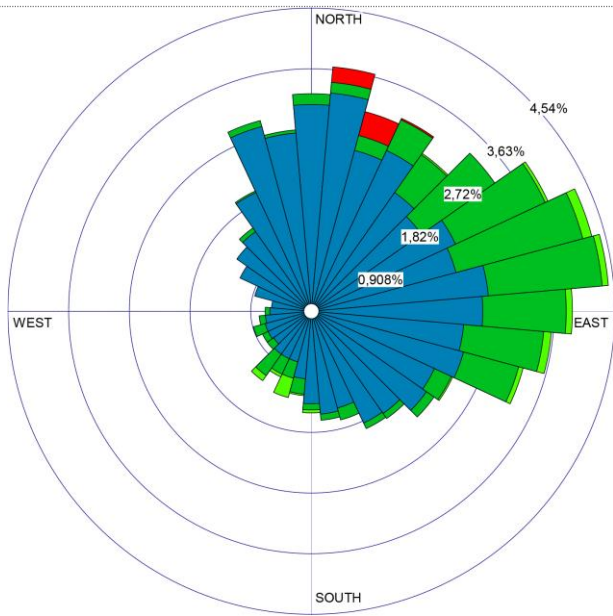
Calma: 34.00%
 Veloc. Prom. Viento: 0.88 m/s

(a)



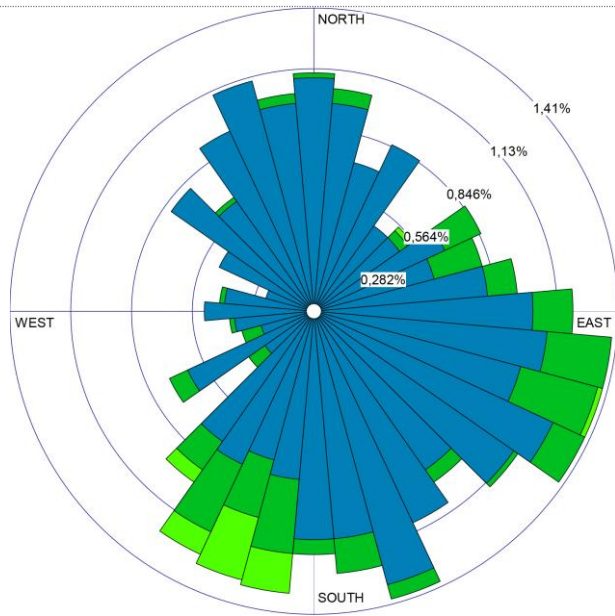
Calma: 20.22%
 Veloc. Prom. Viento: 1.17 m/s

(b)



Calma: 21.69%
 Veloc. Prom. Viento: 1.19 m/s

(c)



Calma: 11.99%
 Veloc. Prom. Viento: 0.89 m/s

(d)

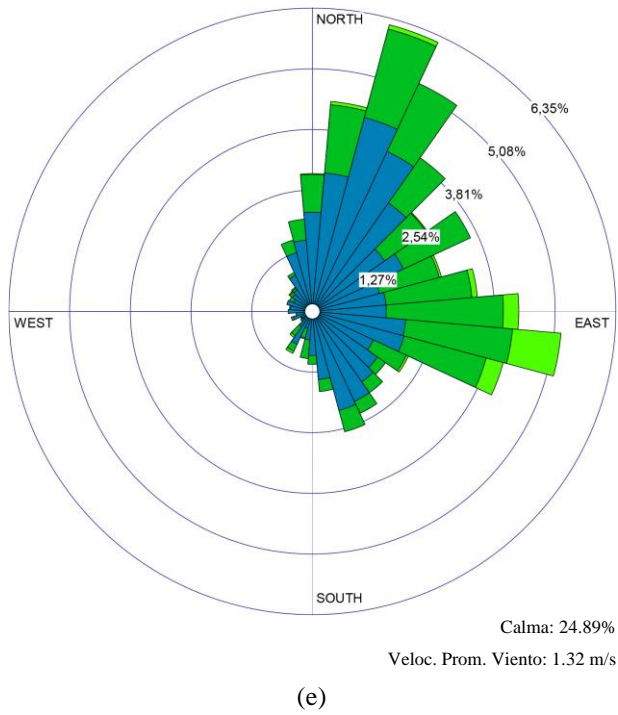
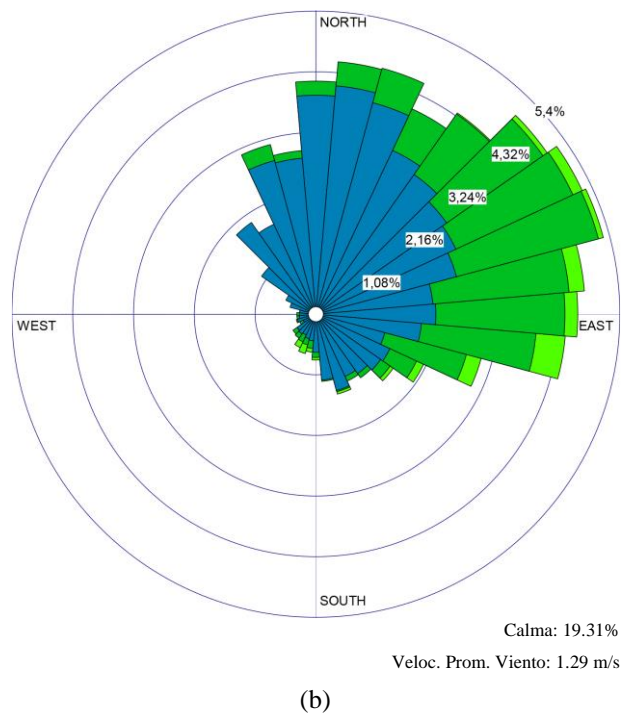
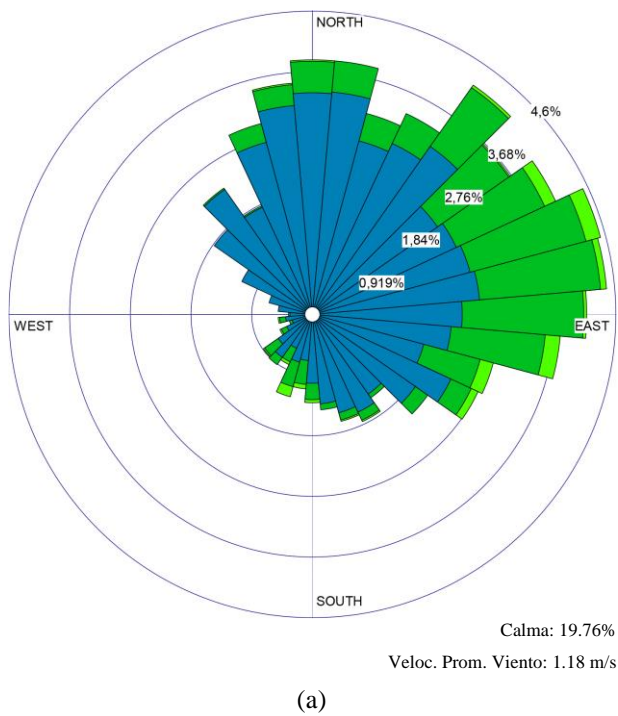


Figura 4-26: Rosa de los vientos en la zona: Sinicay-Nero; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018, respectivamente.



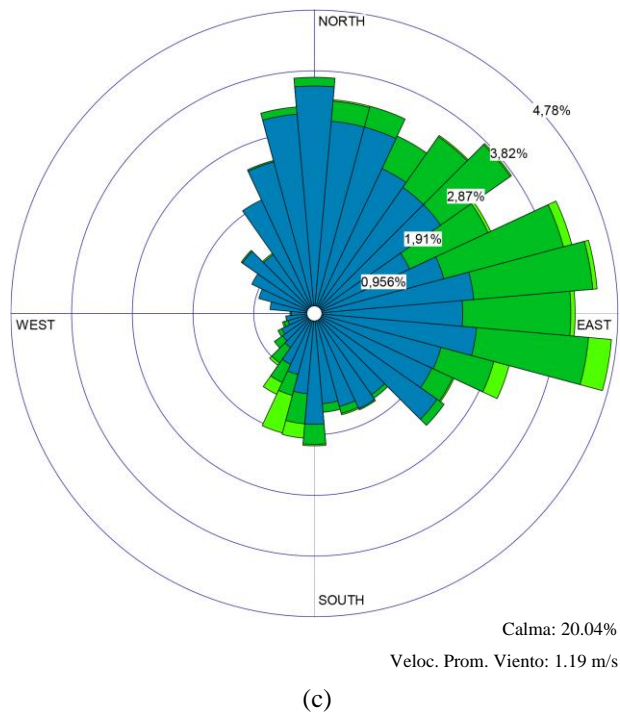


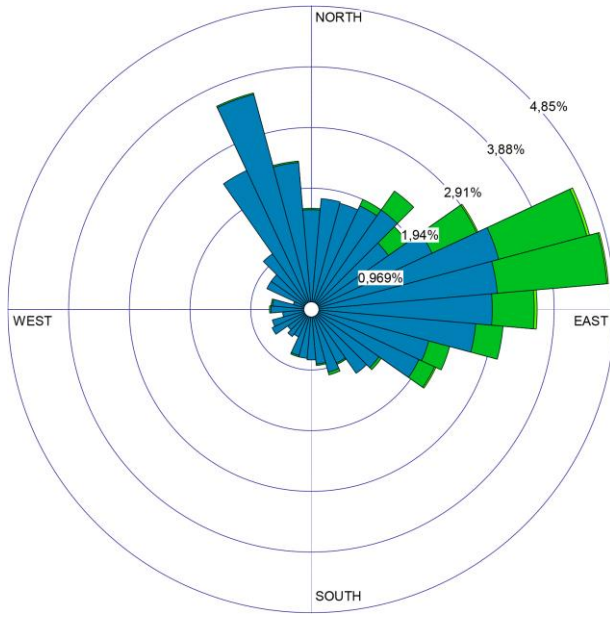
Figura 4-27: Rosa de los vientos en la zona: Sinicay; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016, respectivamente.

La **Figura 4-26** y la **Figura 4-27** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados entre los años 2014 y 2019 en la estación meteorológica de Sinicay. En todos los casos se observa un comportamiento caótico pero similar de los vientos que van en casi todas las direcciones, excepto al O (270°) fuertemente localizados entre el N (0°) y el E (90°), excepto en el primer semestre de 2017 donde se aprecia un predominio de los vientos localizados entre el E (90°) y el S (180°); alcanzando velocidades que oscilan entre los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar en ocasiones máximas superiores a los 11.1 m/s, pero que en promedio rondan los 1.14 m/s.

Los períodos de calma durante los meses de enero – junio son muy variados observándose en 2014 grandes ciclos de calma que llegan a ser de 34% del tiempo graficado; en 2015, 2016 y 2018 los periodos de calma representan el 22.27% del tiempo graficado y en 2017 los mismos disminuyen drásticamente llegando a ser de un 11.99% del tiempo graficado.

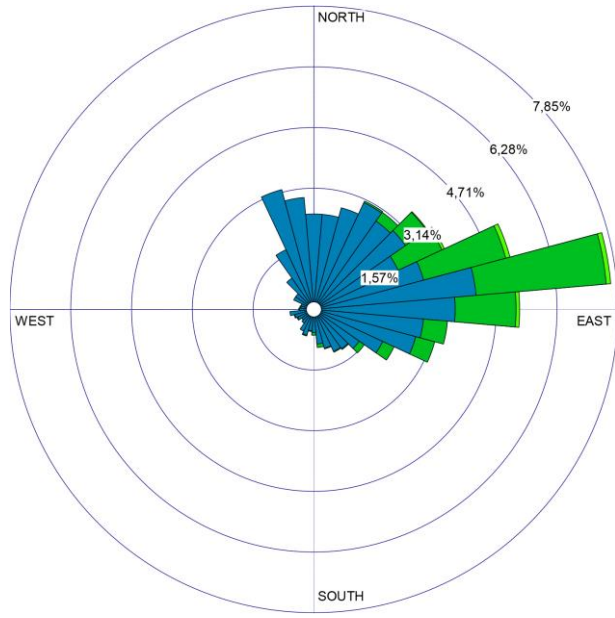
Durante el segundo semestre de los años documentados se evidencian ciclos de calma regulares que en promedio representan el 19.7% del tiempo graficado.

En general, puede decirse que Sinicay es una zona que muestra gran inestabilidad en las variables analizadas para los vientos.



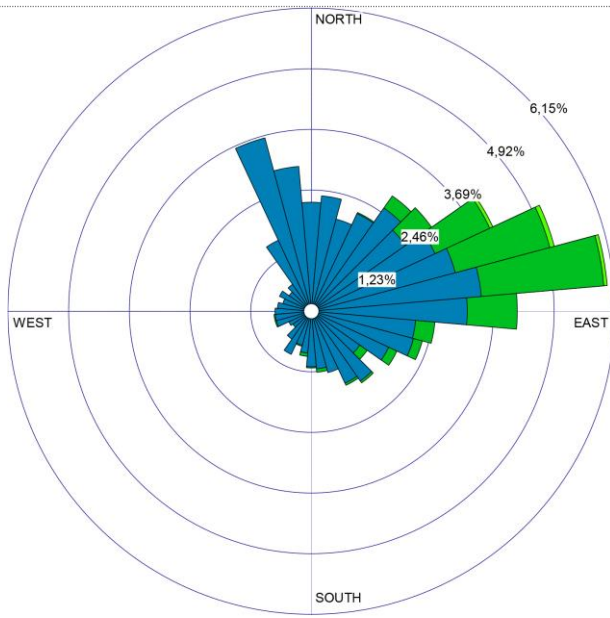
Calma: 35.45%
 Veloc. Prom. Viento: 0.74 m/s

(a)



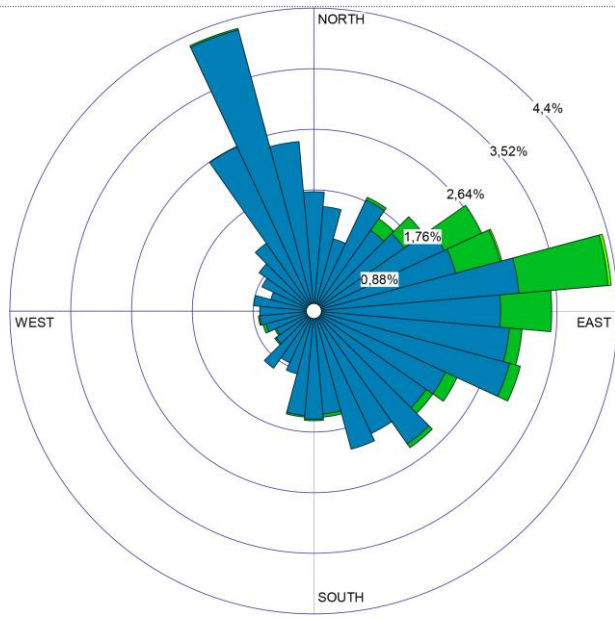
Calma: 29.48%
 Veloc. Prom. Viento: 0.90 m/s

(b)



Calma: 32.99%
 Veloc. Prom. Viento: 0.80 m/s

(c)



Calma: 35.06%
 Veloc. Prom. Viento: 0.69 m/s

(d)

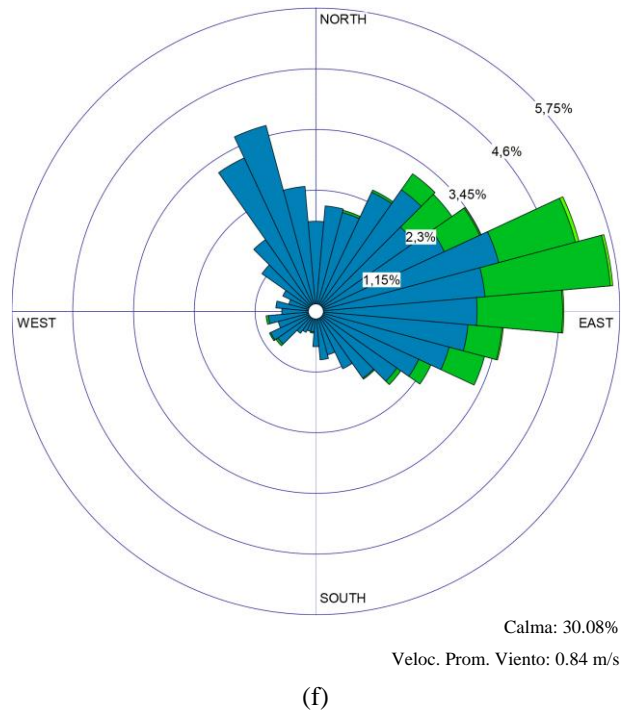
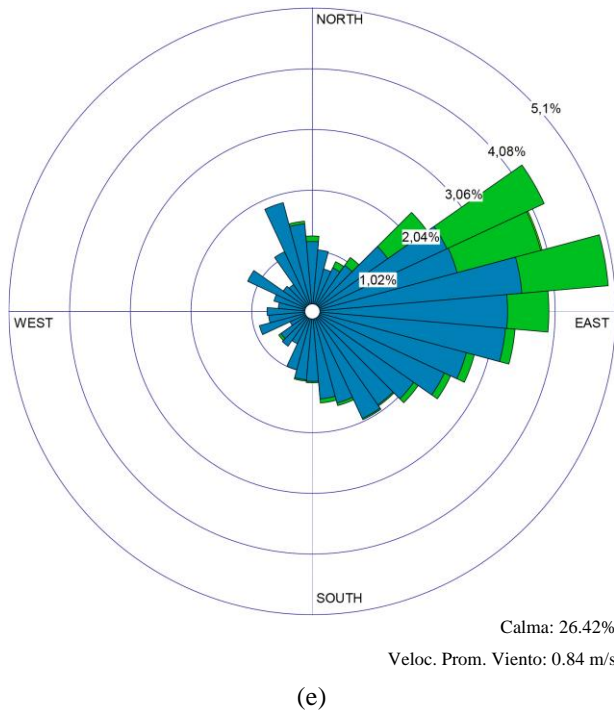
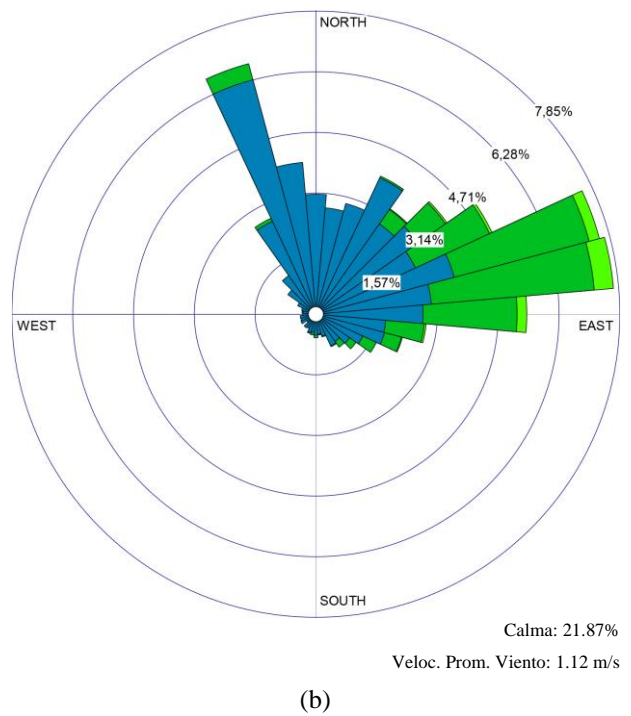
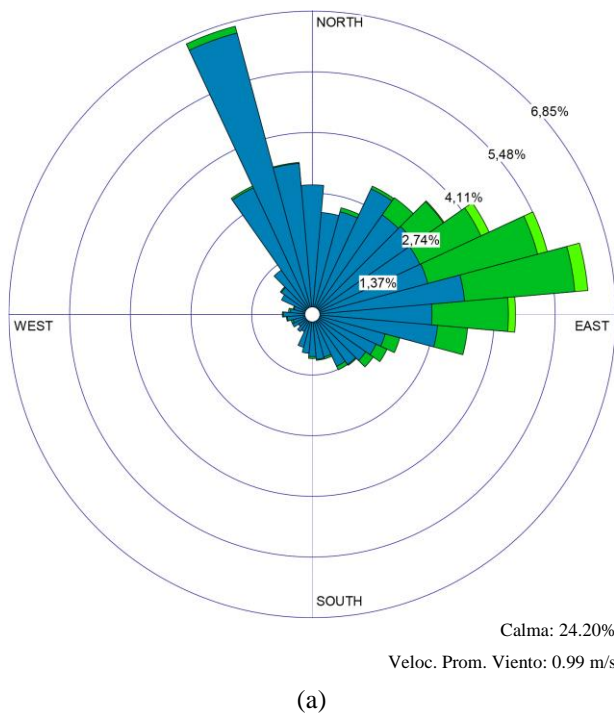
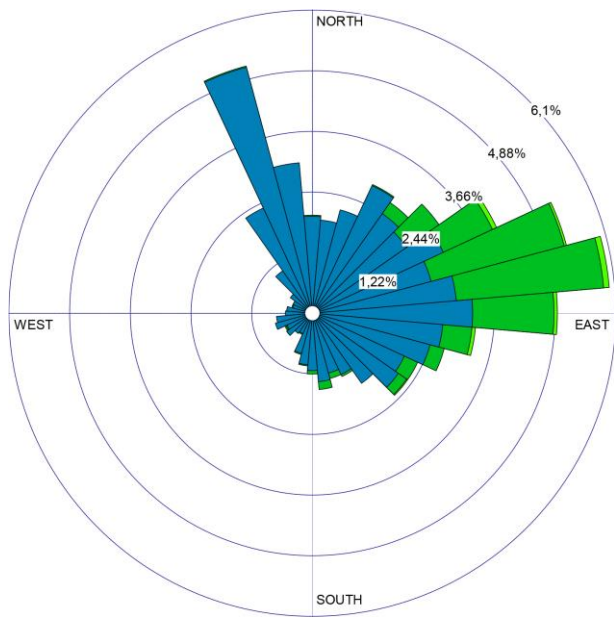


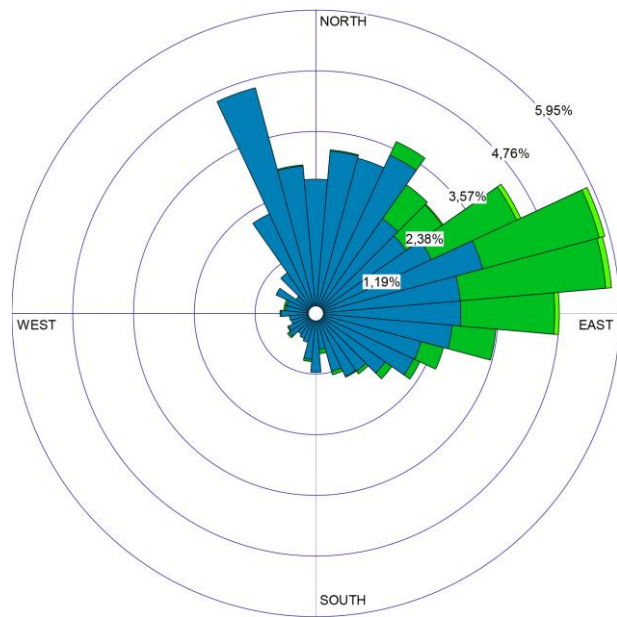
Figura 4-28: Rosa de los vientos en la zona: Tixan; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.





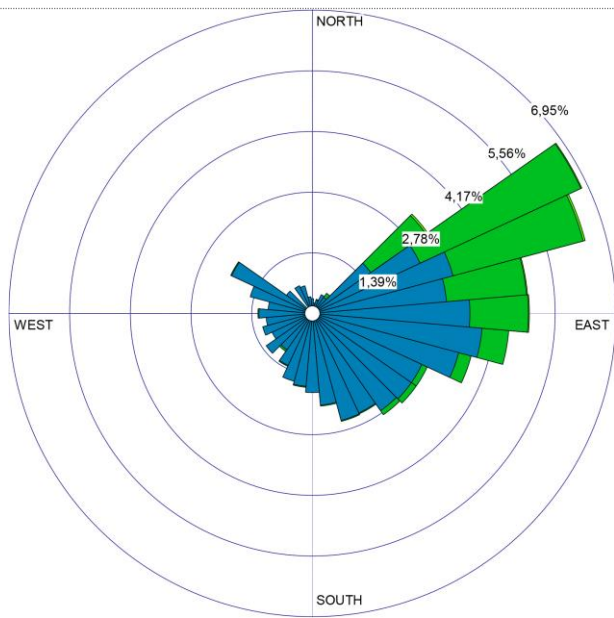
Calma: 27.48%
Veloc. Prom. Viento: 0.92 m/s

(c)



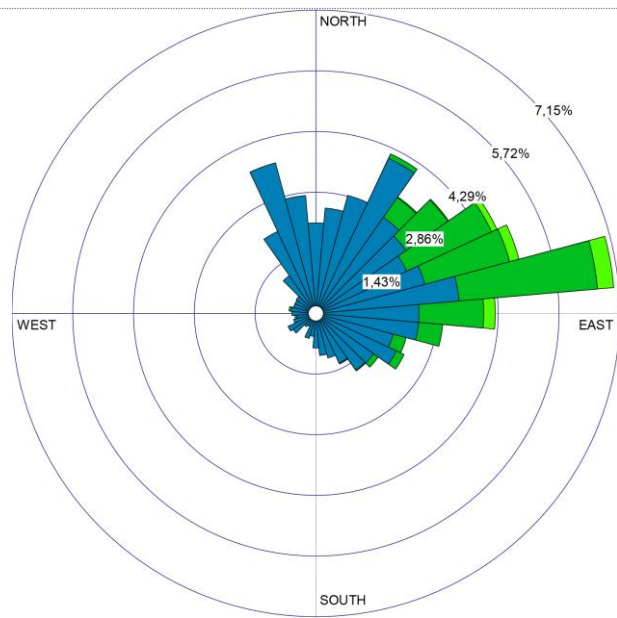
Calma: 25.33%
Veloc. Prom. Viento: 0.97 m/s

(d)



Calma: 27.08%
Veloc. Prom. Viento: 1.00 m/s

(e)



Calma: 28.41%
Veloc. Prom. Viento: 0.94 m/s

(f)

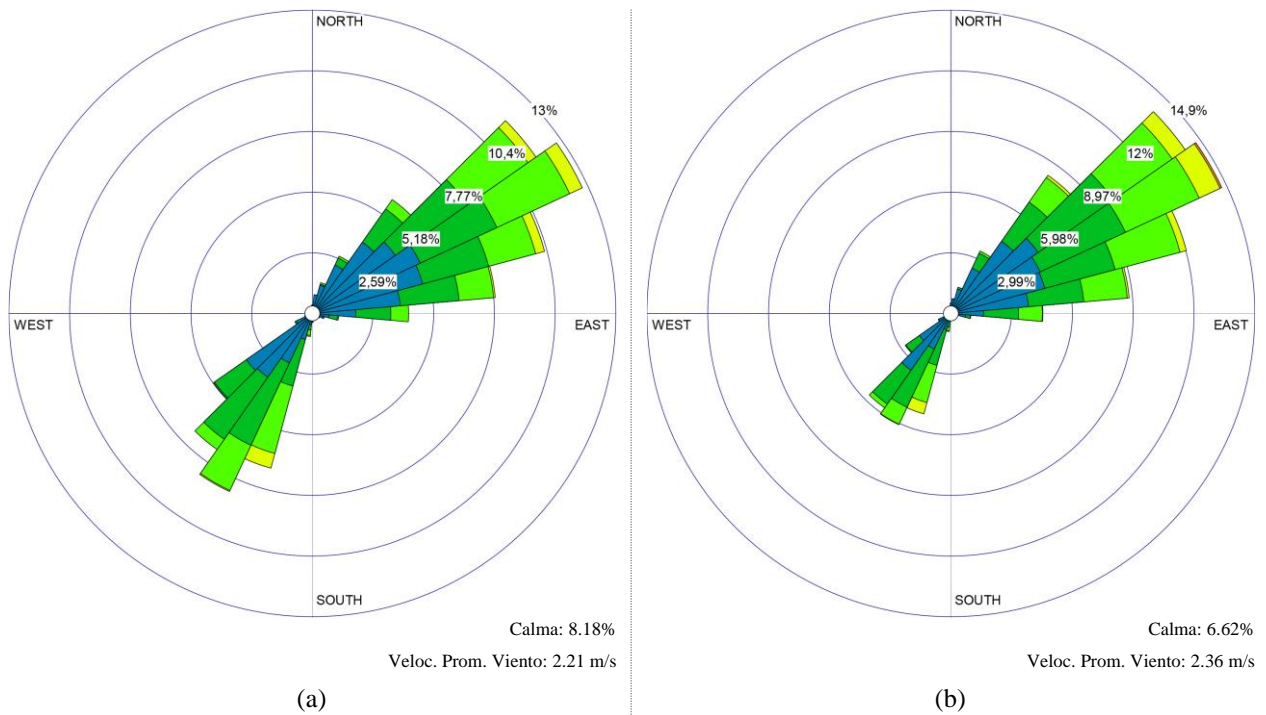
Figura 4-29: Rosa de los vientos en la zona: Tixan; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

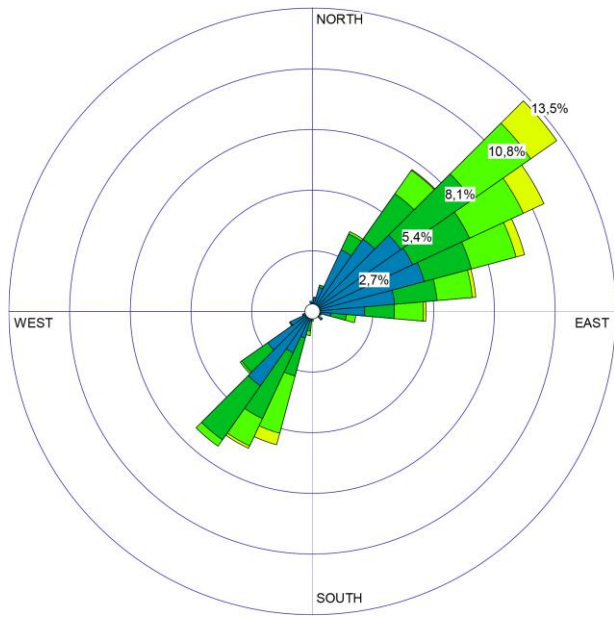
La **Figura 4-28** y la **Figura 4-29** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados de 2014-2019 en la estación meteorológica de Tixan.

En todos los casos se observa un comportamiento análogo de los vientos con direcciones localizadas entre el *NNE* (22.5°) y el *SSE* (157.5°), fuertemente orientados al *EpNE* (78.75°). Se registran, además, vientos frecuentes localizados al *NNO* (337.5°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-3.6 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 5.7 m/s; pero que en promedio rondan los .90 m/s. A pesar de existir vientos que viajan en diferentes direcciones, existe una mayor frecuencia de los vientos localizadas al *EpNE* (78.75°).

Los períodos de calma son estables en ambos semestres de los años monitoreados y representan en promedio el 28.65% del tiempo graficado.

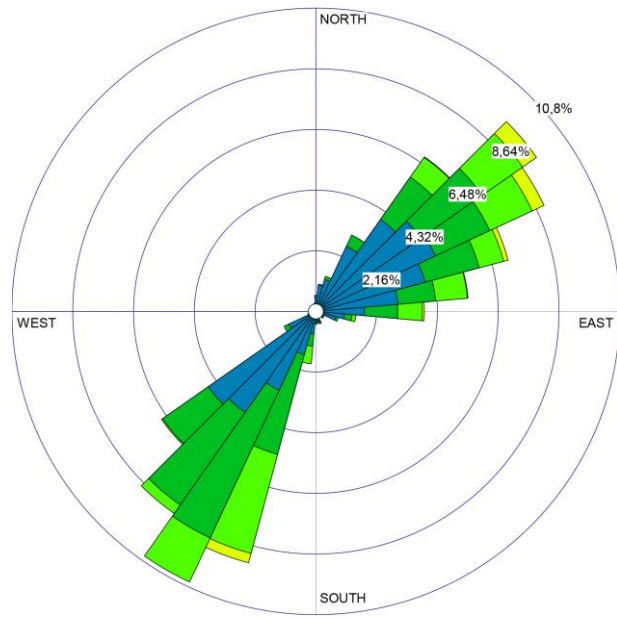
Puede decirse que la zona de Tixan presenta un comportamiento estable de sus vientos.





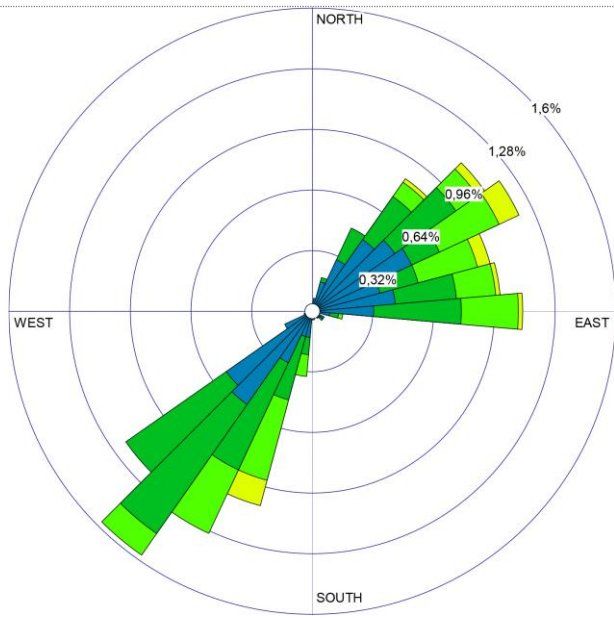
Calma: 6.52%
Veloc. Prom. Viento: 2.29 m/s

(c)



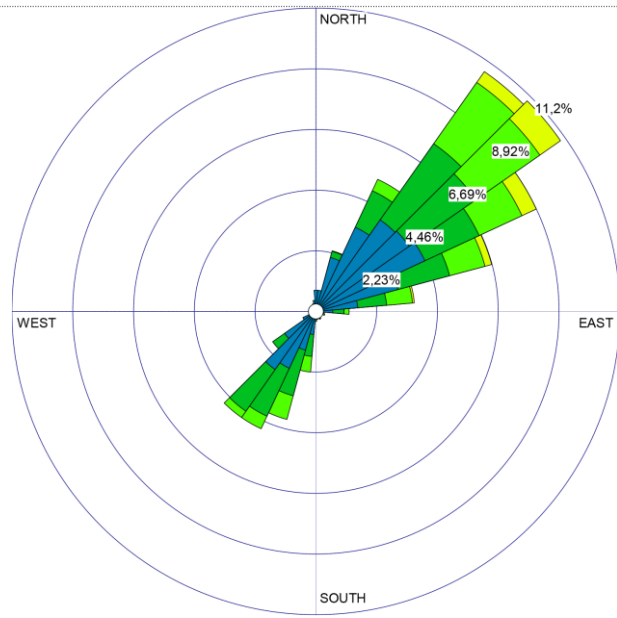
Calma: 7.86%
Veloc. Prom. Viento: 2.06 m/s

(d)



Calma: 1.13%
Veloc. Prom. Viento: 2.33 m/s

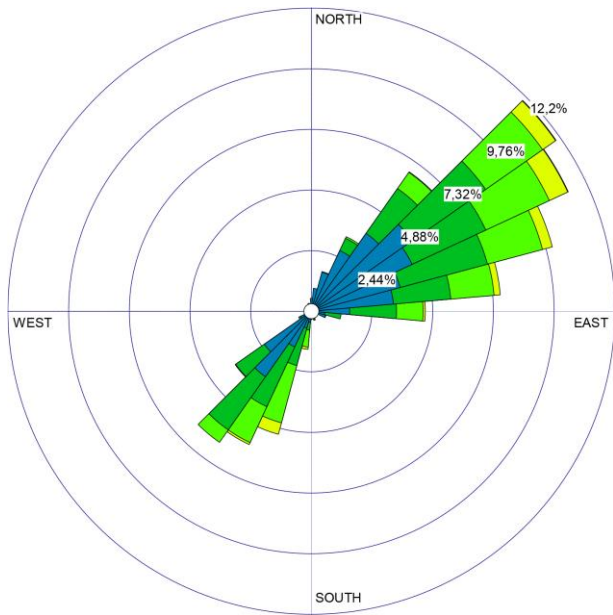
(e)



Calma: 26.58%
Veloc. Prom. Viento: 1.72 m/s

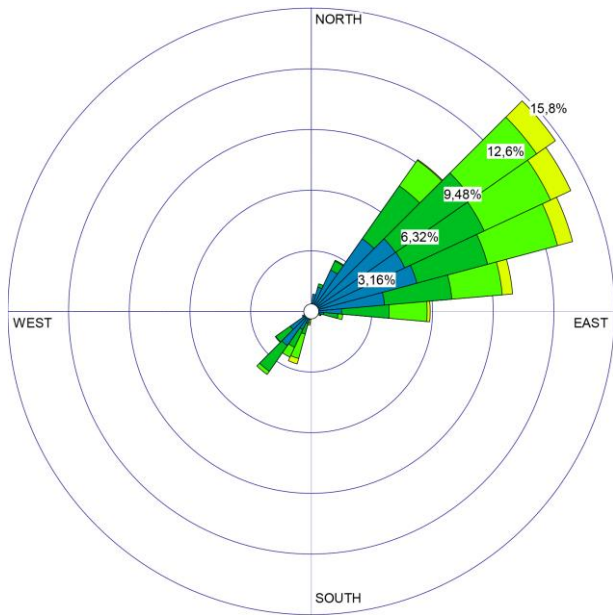
(e)

Figura 4-30: Rosa de los vientos en la zona: Turi; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.



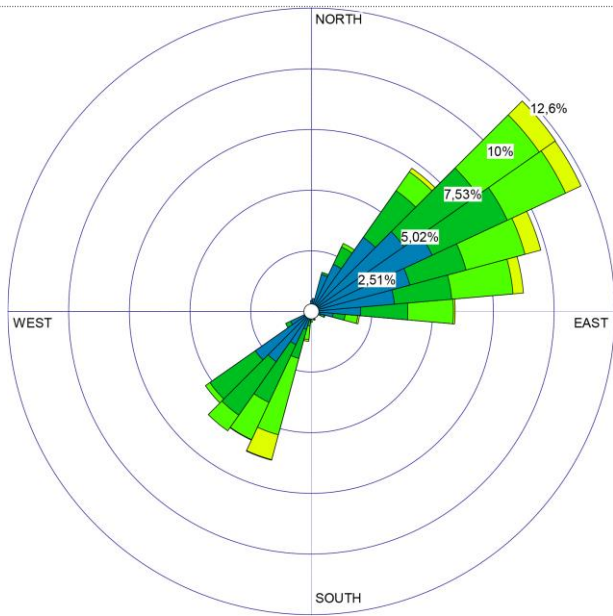
Calma: 5.68%
 Veloc. Prom. Viento: 2.33 m/s

(a)



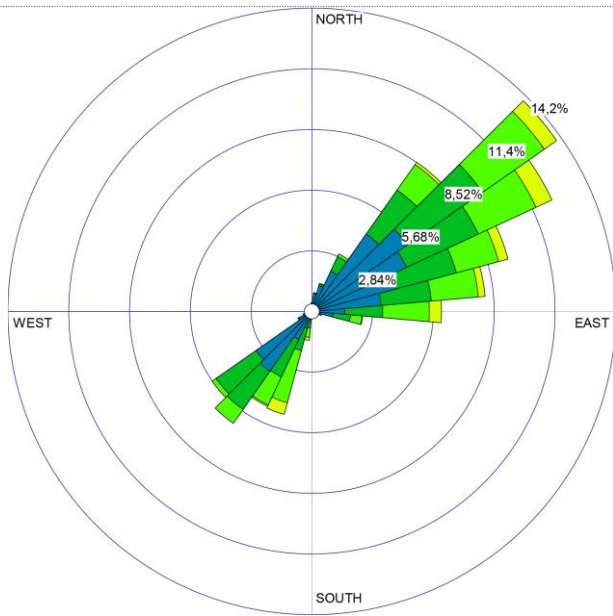
Calma: 6.20%
 Veloc. Prom. Viento: 2.47 m/s

(b)



Calma: 5.73%
 Veloc. Prom. Viento: 2.47 m/s

(c)



Calma: 5.91%
 Veloc. Prom. Viento: 2.44 m/s

(d)

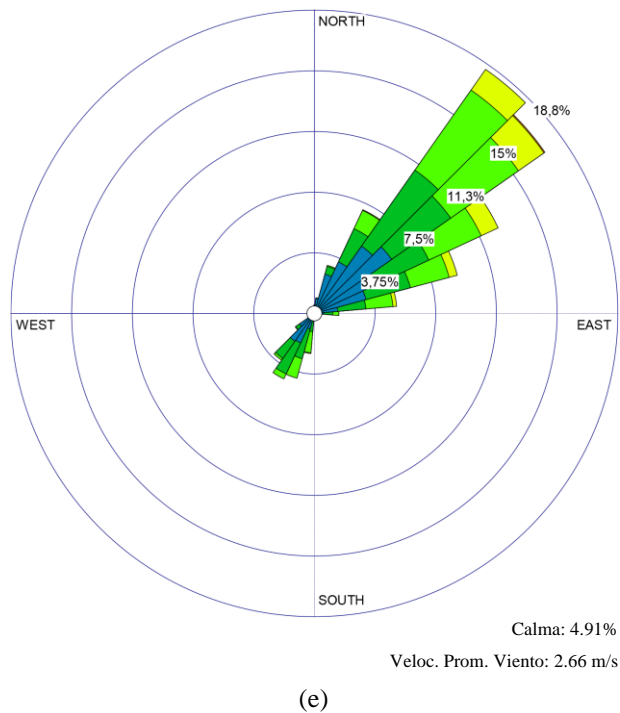
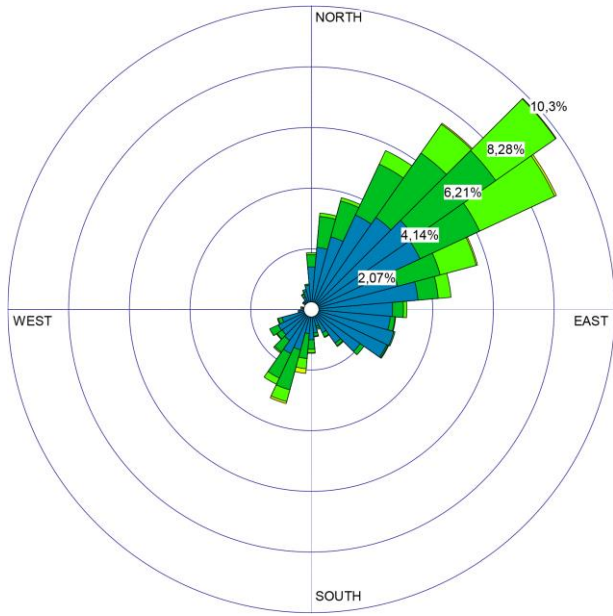


Figura 4-31: Rosa de los vientos en la zona: Turi; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2019, respectivamente.

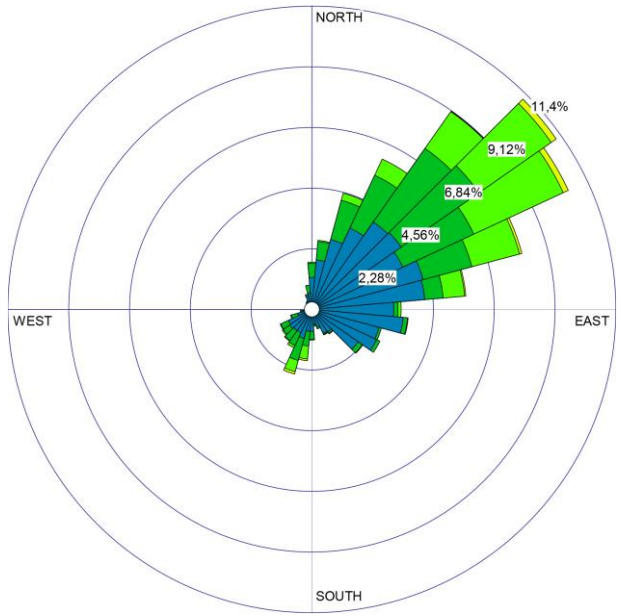
La **Figura 4-30** y la **Figura 4-31** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados de 2014-2019 en la estación meteorológica de Turi. En todos los casos se observa un comportamiento semejante de los vientos con direcciones localizadas entre el *NNE* (22.5°) y el *EpNE* (78.75°), fuertemente orientados al *NE* (45°). Se registran, además, vientos de igual frecuencia localizados al *SOpS* (213.75°) y al *SOpO* (236.25°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s mayormente en dirección *NE* (45°) e incluso llegando a reportarse ráfagas de hasta 11.1 m/s en los meses de enero – junio de 2015; pero que en promedio rondan los 2.36 m/s. A pesar de existir vientos que viajan en diferentes casi opuestas, existe una mayor frecuencia de estos localizadas al *NE* (45°).

Los períodos de calma durante el primer semestre de los años documentados son algo inestables, por ejemplo, de 2014-2017 estos representan en promedio 7.3% del tiempo graficado. En 2018 los ciclos de calma son mínimos y figuran solo el 1.13% del tiempo graficado. En 2019, por el contrario, estos ciclos aumentan hasta un 26.58% del tiempo graficado. Por otra parte, durante el segundo semestre de los años muestreados se observan periodos de calma estables que representan en promedio el 5.69% del tiempo graficado.



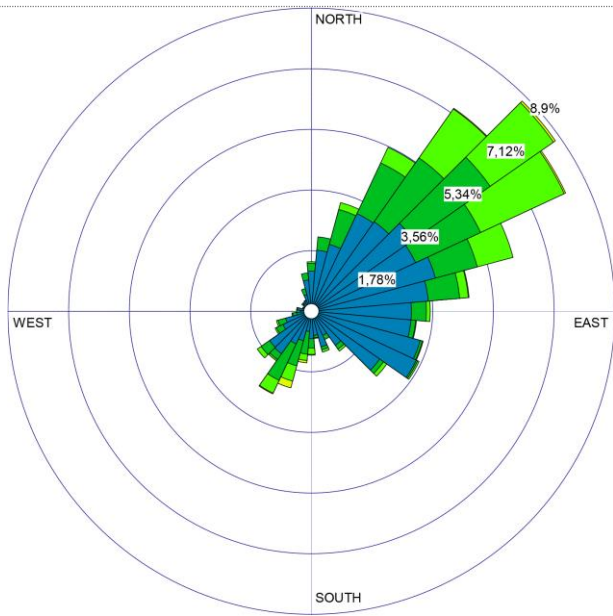
Calma: 8.21%
 Veloc. Prom. Viento: 1.71 m/s

(a)



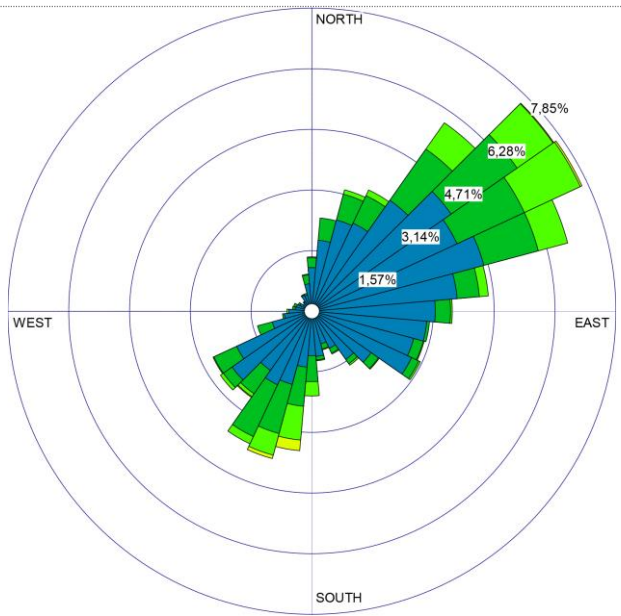
Calma: 5.23%
 Veloc. Prom. Viento: 1.91 m/s

(b)



Calma: 6.29%
 Veloc. Prom. Viento: 1.76 m/s

(c)



Calma: 7.98%
 Veloc. Prom. Viento: 1.57 m/s

(d)

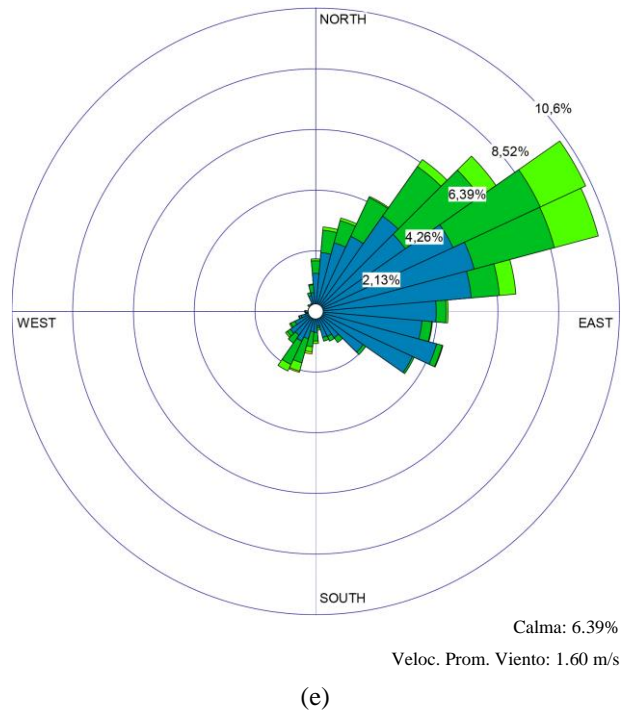
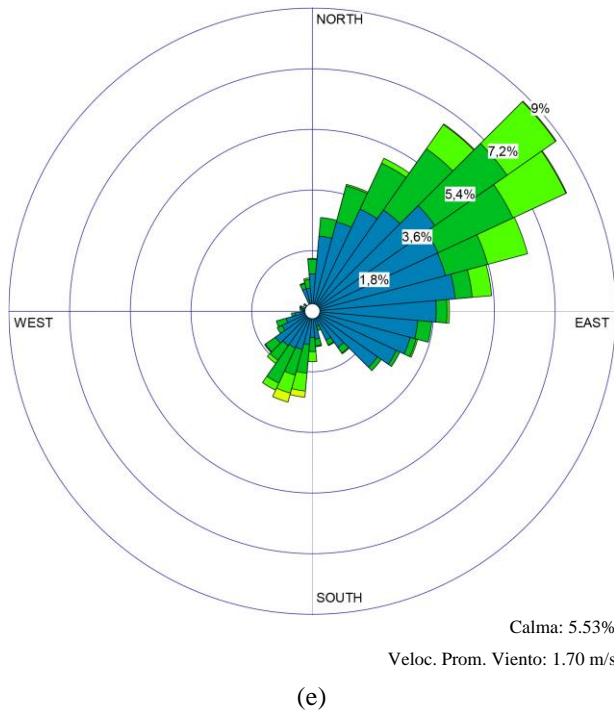
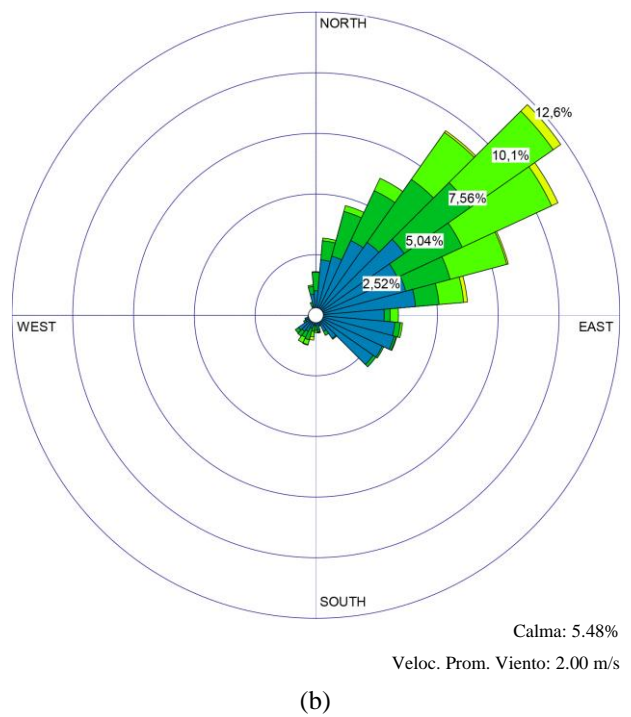
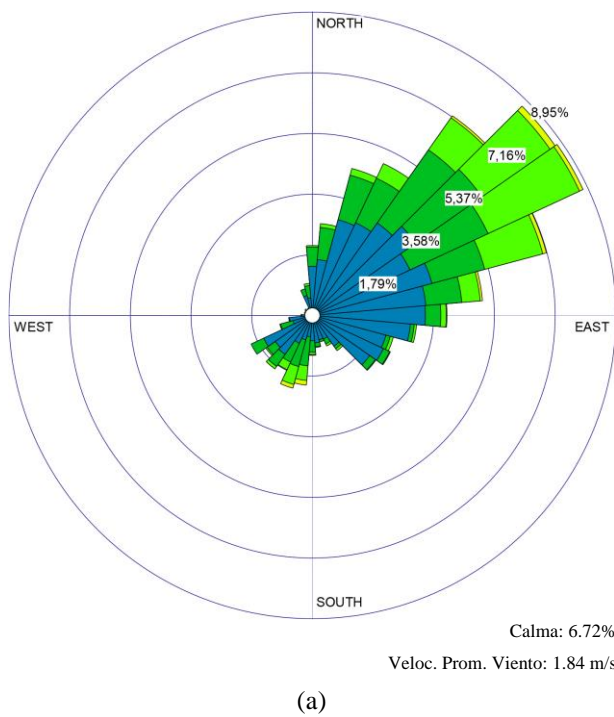
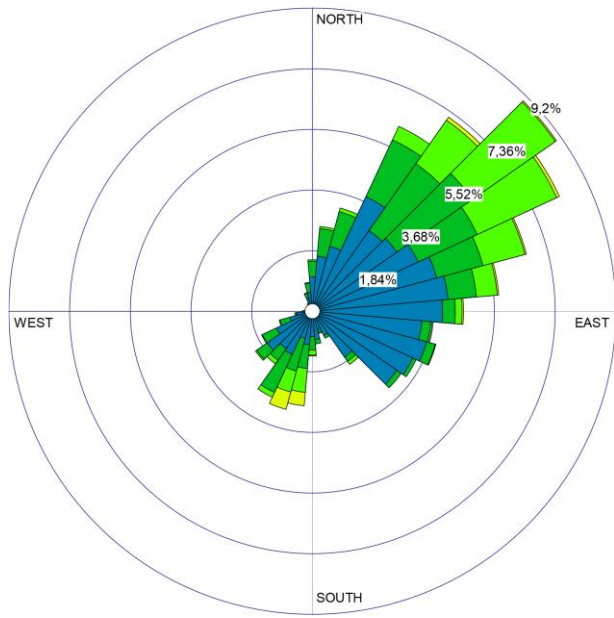


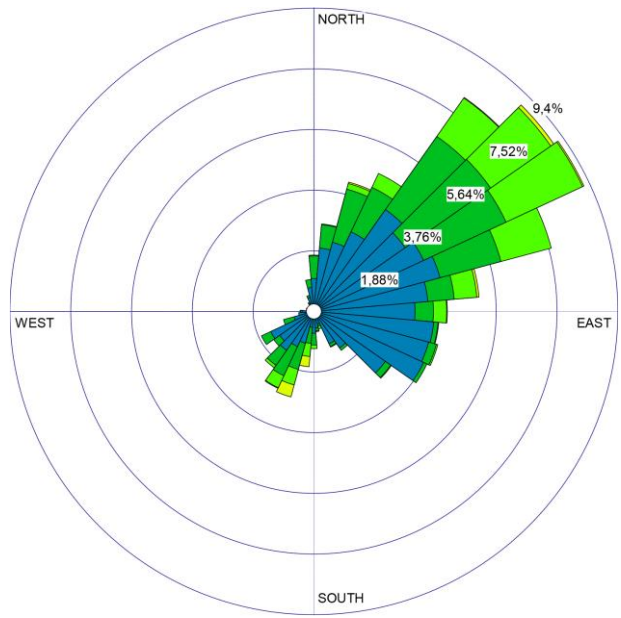
Figura 4-32: Rosa de los vientos en la zona: UPS; durante el período enero - junio de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.





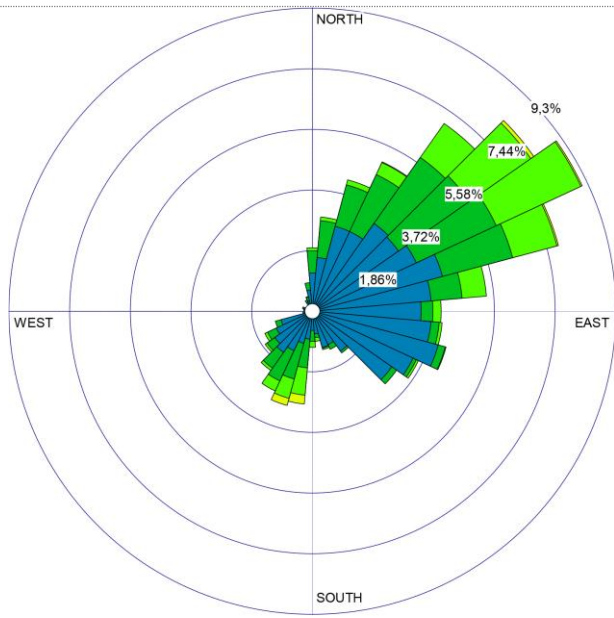
Calma: 5.84%
Veloc. Prom. Viento: 1.85 m/s

(c)



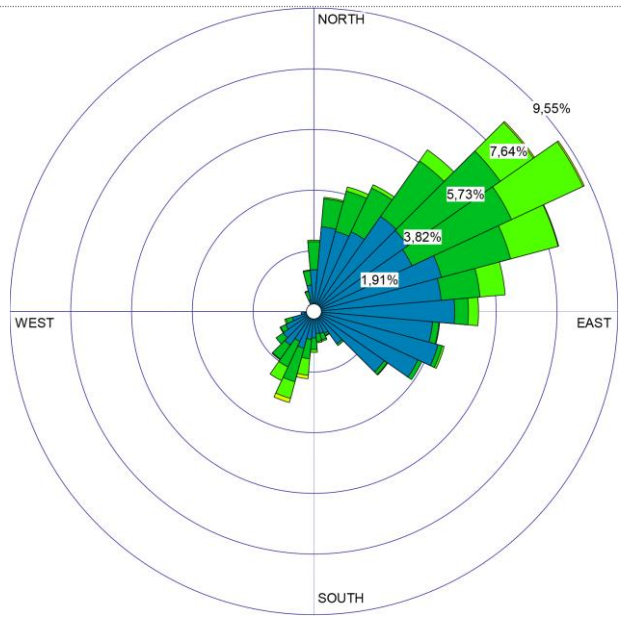
Calma: 6.68%
Veloc. Prom. Viento: 1.82 m/s

(d)



Calma: 4.98%
Veloc. Prom. Viento: 1.85 m/s

(e)



Calma: 5.73%
Veloc. Prom. Viento: 1.74 m/s

(e)

Figura 4-33: Rosa de los vientos en la zona: Ups; durante el período julio - diciembre de: (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

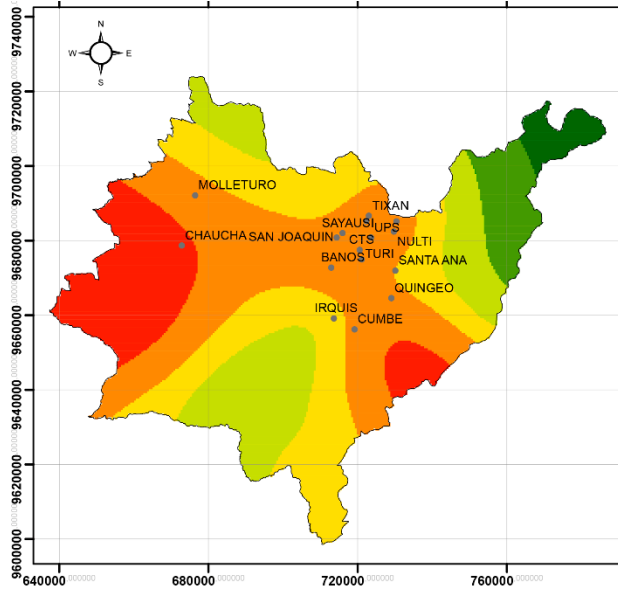
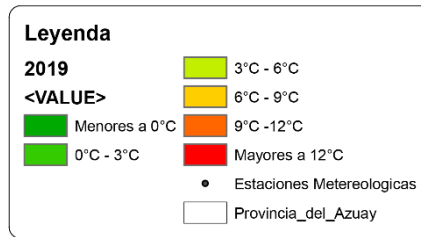
La **Figura 4-32** y la **Figura 4-33** muestran las rosas de los vientos de los periodos documentados de 2014-2019 en la estación meteorológica de la UPS.

En todos los casos se observa un comportamiento semejante de los vientos con direcciones localizadas entre el *NpNE* (11.25°) y el *SE* (135°), fuertemente orientados al *NEpE* (56.25°). Se registran, además, vientos fuertes, pero con menor frecuencia localizados al *SSO* (202.5°) y al *SO* (225°). En ambas direcciones los vientos alcanzan velocidades regulares que oscilan entre los 0.5-5.7 m/s llegando a alcanzar máximas de hasta 8.8 m/s; pero que en promedio rondan los 1.69 m/s y los 1.85 m/s respectivamente en ambos semestres de los años registrados, observándose un ligero incremento durante el segundo periodo del año. A pesar de existir vientos que viajan en diferentes casi opuestas, existe una mayor frecuencia de estos localizadas al *NEpE* (56.25°).

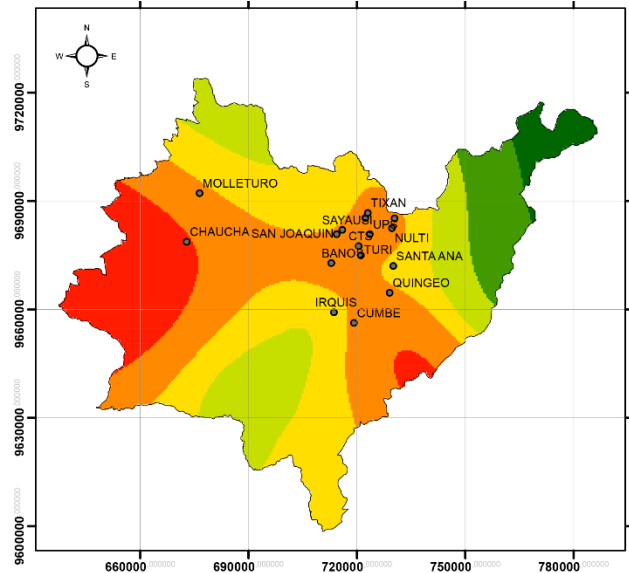
Los períodos de calma en todos los casos durante 2014-2019 son estables y representan en promedio el 6.26% del tiempo graficado.

En general, puede decirse que la zona monitoreada por la UPS es estable en cuanto a la frecuencia y velocidad de sus vientos.

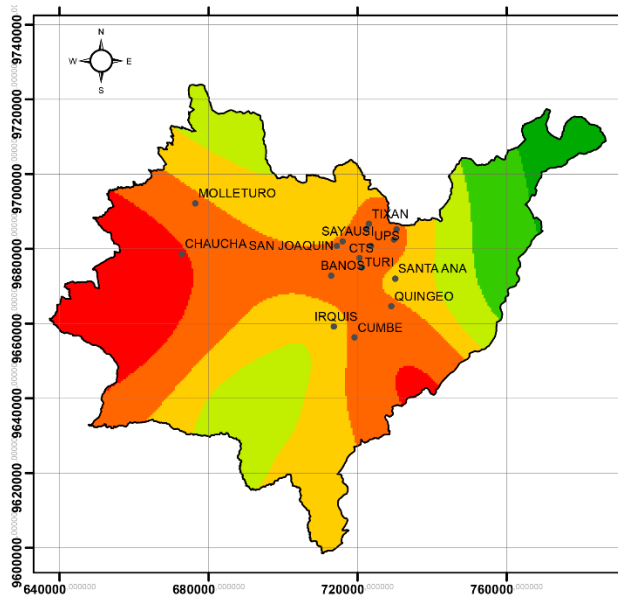
4.2. Mapas de Temperatura Mínima



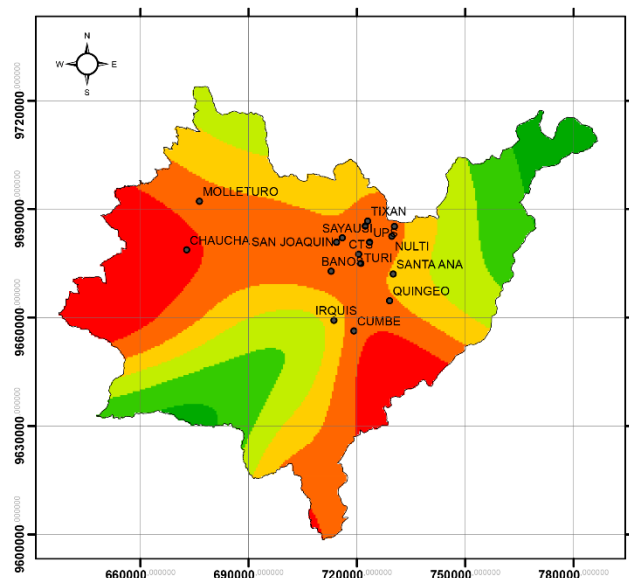
(a)



(b)



(c)



(d)

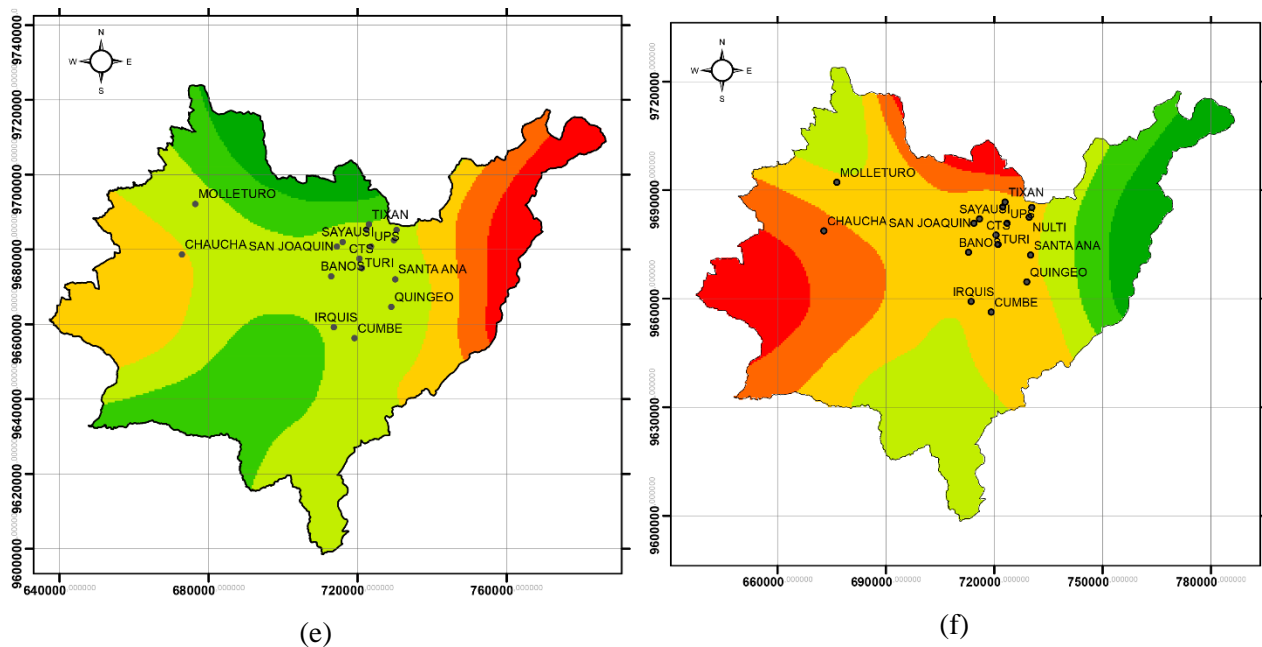


Figura 4-34: Gráficos de temperaturas mínimas (a) 2014; (b) 2015; (c) 2016; (d) 2017; (e) 2018; (f) 2019, respectivamente.

La **Figura 4-34** muestra las gráficas de temperaturas mínimas creadas a partir de los datos registrados de 2014-2019 en las estaciones meteorológicas tomadas como caso de estudio en el presente trabajo de investigación.

De 2014-2017 se observa un comportamiento similar, mostrándose que las temperaturas mínimas más frías (menores a 3 °C) se localizan al este del país y las temperaturas mínimas más cálidas (superiores a los 9 °C) se encuentran al oeste, centro y sureste.

Particularmente, en 2017 se destaca el incremento de las temperaturas mínimas hacia el sureste de la estación meteorológica de Cumbe, respaldado por el incremento de la región enmarcada con temperaturas mínimas superiores a los 12 °C, según la leyenda de los gráficos, es decir, que la región en cuestión pasó de tener una temperatura promedio de 9 °C (en años anteriores) a una temperatura mínima superior a los 12 °C en 2017. Este aumento de 3 °C puede estar asociado a múltiples factores entre los que se encuentra el cambio climático.

En 2018 se nota un cambio radical de las temperaturas mínimas encontrándose, en este caso, las máximas de estas hacia el este y una disminución notable de las mismas en el resto del país, sobre todo en las zonas que particularmente eran más cálidas en años anteriores.

En 2019, sin embargo, las temperaturas mínimas tienden a tener un comportamiento semejante a las documentadas entre 2014 y 2017, localizándose las máximas de estas al oeste y al norte del país,

mostrándose en el resto temperaturas mínimas inferiores a los 9 °C hacia la región central e inferiores a 3 °C hacia el sur y el este.

En general los registros de temperatura muestran un comportamiento estable de las temperaturas mínimas entre los años 2014 a 2017, sin embargo, se observó variabilidad de las temperaturas mínimas durante 2018 y 2019.

4.3. Análisis estadístico

El Análisis de Componentes Principales (ACP)⁵ fue realizado en el software RStudio empleando la librería *Factoshiny* de R; para ello se emplearon los promedios anuales de los datos documentados en las diferentes estaciones para las variables de estudio: velocidad, temperatura y dirección del viento.

Se analizó el comportamiento de cada una de las variables por separado y luego en conjunto para observar si existe correlación entre ellas

Tabla 4-2: Velocidades promedios máximas y mínimas anuales (m/s) de las estaciones meteorológicas documentadas.

Estación Meteorológica	AÑO					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Vprom	Vprom	Vprom	Vprom	Vprom	Vprom
Baños	1,23	1,24	1,11	0,99	1,80	4,20
Chaucha	1,30	1,34	2,45	6,31	1,32	1,27
CTS	1,67	1,80	1,68	1,60	1,42	0,09
Cumbe	2,65	2,94	2,74	2,54	2,65	0,20
Irquis	2,55	2,70	2,45	2,65	1,87	2,43
Llacao	1,48	1,60	1,47	1,39	1,46	1,40
Molleturo	2,49	3,16	2,75	2,41	2,65	3,01
Nulti	1,76	1,79	1,71	1,69	1,75	1,35
Quingeo	1,91	1,96	1,98	2,07	1,71	1,92
San Joaquín	1,00	2,08	2,09	2,02	1,97	2,04
Santa Ana	1,19	1,24	1,26	1,28	0,97	1,02
Sayausí	1,00	1,09	1,05	1,01	1,01	0,90
Sinincay	1,03	1,23	1,19	0,89	1,32	1,05

⁵ Análisis de Componentes Principales (ACP)

Tixán	0,87	1,01	0,86	0,83	0,92	0,89
Turi	2,27	2,42	2,38	2,25	2,33	2,19
UPS	1,78	1,96	1,81	1,70	1,78	1,67

Tabla 4-3: Temperaturas promedios máximas y mínimas anuales (°C) de las estaciones meteorológicas documentadas.

Estación Meteorológica	AÑO											
	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018	2019	2019
	T _{máx}	T _{mín}	T _{máx}	T _{mín}	T _{máx}	T _{mín}	T _{máx}	T _{mín}	T _{máx}	T _{mín}	T _{máx}	T _{mín}
Baños	20,20	4,30	20,70	4,90	22,30	3,30	20,40	4,40	19,80	3,60	15,53	0,23
Chaucha	22,60	12,00	22,80	12,70	17,58	0,03	21,90	11,70	22,50	12,20	20,80	0,31
CTS	24,60	4,40	24,60	4,30	25,53	0,50	24,30	3,60	25,26	2,75	25,18	4,37
Cumbe	19,80	3,40	20,50	3,90	20,81	3,67	20,20	3,00	20,54	2,93	20,36	3,69
Irquis	21,60	0,10	21,70	0,10	23,10	0,10	21,60	0,10	22,66	0,00	21,57	0,49
Llacao	24,70	4,80	25,10	4,10	26,30	1,90	25,60	6,60	26,00	3,07	25,54	4,27
Molleturo	16,10	4,60	18,08	4,36	15,10	4,23	18,47	0,27	22,79	0,00	15,87	2,18
Nulti	25,20	5,30	24,80	4,80	26,70	2,40	23,50	5,90	26,19	3,57	24,13	4,26
Quingeo	22,40	3,70	23,10	3,70	24,30	0,70	22,60	2,70	23,34	1,99	21,38	3,93
San Joaquín	22,40	3,40	22,70	3,00	24,30	0,50	22,10	2,60	22,98	0,74	22,46	2,56
Santa Ana	23,70	1,00	24,40	1,00	25,00	0,10	25,40	0,60	25,00	1,50	24,34	0,46
Sayausí	23,30	3,50	23,30	3,30	24,50	0,20	24,20	2,50	24,31	1,46	23,32	2,58
Sinincay	22,80	5,00	23,00	4,30	24,57	2,50	22,70	8,20	19,54	0,02	19,56	1,95
Tixán	22,60	4,80	23,70	4,30	23,80	2,40	23,80	3,80	24,67	3,25	23,06	4,60
Turi	23,60	4,00	24,90	4,00	25,09	0,90	24,30	4,30	24,36	3,22	23,96	4,26
UPS	25,10	6,10	24,70	5,40	25,95	3,50	24,90	4,80	25,09	4,68	24,91	5,91

Tabla 4-4: Dirección promedio del viento semestral (°) de las estaciones meteorológicas documentadas.

Estación Meteorológica	AÑO											
	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018	2019	2019
	1er pdo	2do pdo	1er pdo	2do pdo	1er pdo	2do pdo	1er pdo	2do pdo	1er pdo	2do pdo	1er pdo	2do pdo
Baños	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	22,50	22,50	90,00	90,00

Chaucha	292,50	292,50	292,50	292,50	295,50	295,50	292,50	292,50	292,50	292,50	292,50	292,50
CTS	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75
Cumbe	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25	101,25
Irquis	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Llacao	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
Molleturo	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00	135,00
Nulti	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
Quingeo	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50	245,50
San Joaquín	112,50	112,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50
Santa Ana	168,75	168,75	168,75	168,75	168,75	168,75	168,75	168,75	168,75	168,50	168,75	168,75
Sayausí	118,25	118,25	118,25	118,25	118,25	118,25	118,25	118,25	118,20	118,20	118,25	118,20
Sinincay	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	135,00		45,00	45,00	45,00	45,00
Tixán	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75	78,75
Turi	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	4,00	45,00	45,00
UPS	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25	56,25

En cada uno de los análisis realizados se comprueba en primer lugar que las correlaciones entre las variables de estudio son distintas de cero de modo significativo, para esto se aplicó el Test de Bartlett; el cual verifica si el determinante de la matriz R es distinto de uno; para lo cual se contrasta (Ferrelli F, 2019):

$$\begin{cases} H_0: |R| = 1 \\ H_1: |R| \neq 0 \end{cases}$$

A valores altos, el test rechaza la hipótesis nula, lo que determina que el ACP no es adecuado; pues la matriz de correlaciones no es la matriz identidad (Manosalvas C, 2015).

ACP para la velocidad

En el caso de la *velocidad*, el Test de Bartlett (**Figura 4-35**), muestra que con un nivel de significación de 0.001412 rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar a esta variable.

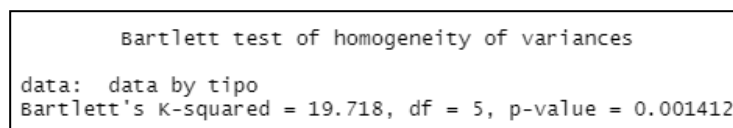


Figura 4-35: Test de Bartlett para la Velocidad

A continuación, se muestran las desviaciones estándar de las variables de análisis de componentes principales reportadas en el software estadístico RStudio para posteriormente calcular la varianza:

Desviación Estándar:

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>
[I]	1.94720302	1.06719819	0.91510615	0.40749794	0.24854497	0.06511525

La proporción de la varianza explicada por cada uno de los Componentes Principales (CP)⁶ generados por RStudio para decidir cuáles son los componentes que mejor predicen el comportamiento de los vientos se muestra a continuación:

Importancia de los componentes:

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>
Desviación estándar	1.9472	1.0672	0.9151	0.40750	0.2485	0.06512
Proporción de varianza	0.6319	0.1898	0.1396	0.02768	0.0103	0.00071
Proporción acumulativa	0.6319	0.8217	0.9613	0.98900	0.9993	1.00000

Se puede observar que los **Componente Principal 1 (CP1)** y **2 (CP2)** explican el 63.19% y el 18.98% de la variabilidad total, respectivamente. Cada componente explica por sí sólo una porción de la variabilidad total que los demás componentes no pueden reproducir, por tanto, es importante considerar los más representativos. Es importante mencionar que estos componentes son expresados como combinaciones lineales de las variables originales.

Tomando en cuenta que a medida que aumenta el número de componentes principales la reproducibilidad de la varianza total disminuye, se decidió trabajar con los dos componentes principales que en conjunto acumulan una proporción satisfactoria del 82.17% de la varianza total.

Para sustentar la decisión tomada anteriormente, los autores se basaron el criterio de Kaiser (1958) que sugiere que sabiendo que la transformación ortogonal se le ha realizado a la matriz de correlación de los datos reales, la varianza de cada una de las variables originales debe ser uno, por tanto, la varianza de cada uno de los componentes principales no debe ser menor a uno ya que no explicarían con suficiente

⁶ Componentes Principales (CP)

nivel de confianza la variabilidad original. Para esto se determinó la varianza de cada uno de los componentes principales:

<i>Varianza</i>						
	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>
[1]	3.791599591	1.138911979	0.837419264	0.166054567	0.061774603	0.004239995

Del cuadro anterior se puede observar que, efectivamente, sólo los primeros dos componentes principales tienen una varianza mayor a uno, describiendo con suficiente nivel de confianza la variabilidad total del fenómeno estudiado perdiendo la mínima información.

Suele ser bastante útil graficar los PC vs varianza (**Figura 4-36**) para tener una representación visual del ACP y poder decidir los componentes principales que son significativos, es decir escoger los CP con una varianza > 1 según el criterio de Kaiser (1958). Otro criterio a emplear en este tipo de gráfico puede ser la “*Técnica del Codo*”, empleada por diferentes autores; básicamente explica que la línea graficada tenderá a formar un *codo* suficientemente grande a tener en cuenta, por lo que se suele escoger solo hasta ese *codo*. Esta teoría coincide perfectamente con el número de componentes principales escogidos.

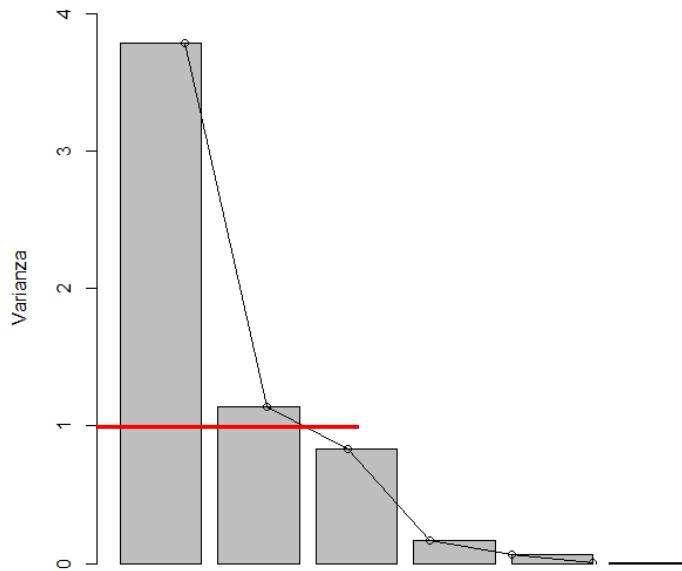


Figura 4-36: Grafico de sedimentación para la velocidad del viento: PC vs varianza

Para interpretar los resultados obtenidos se utilizaron gráficos denominados Círculo de Correlaciones. El Círculo de Correlaciones (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); muestra la correlación entre las variables, para lo cual se analiza el ángulo que se forma entre estas.

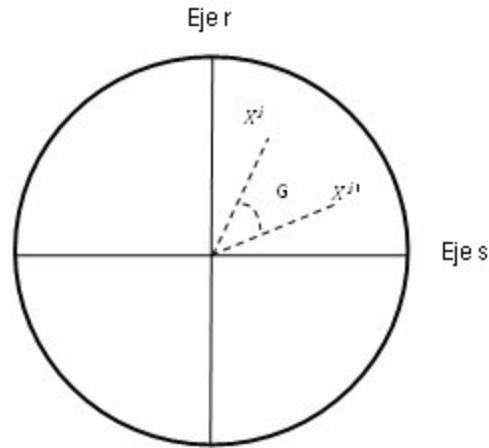


Figura 4-37: Círculo de correlación

Si X_j y $X_{j'}$ están cercanas entre sí, entonces se presenta una correlación fuerte y positiva, si el ángulo es cercano a 90° no existe correlación entre las variables; y existe una correlación fuerte y negativa si X_j y $X_{j'}$ están opuestas al vértice (origen).

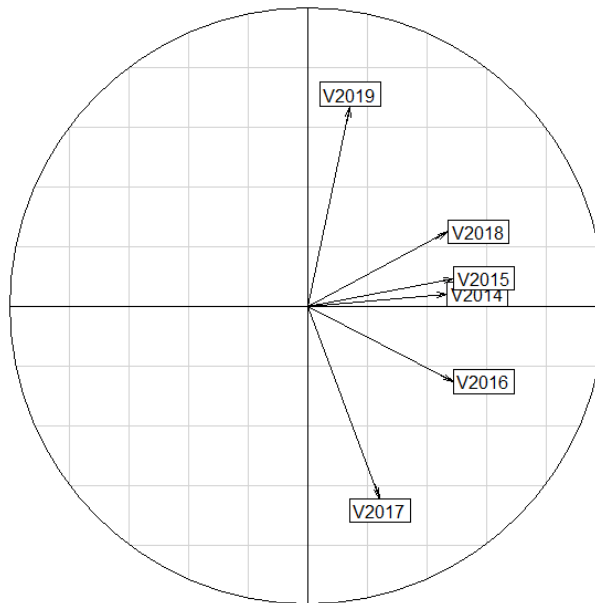


Figura 4-38: Círculo de correlaciones entre componentes principales CP1 y CP2, pertenecientes a la variable original: Velocidad.

Se observa que existe una correlación fuerte y positiva entre las velocidades del viento para los años 2014, 2015, 2016 y 2018, sin embargo, debido a la presencia de componentes en ángulos cercanos a los 90°, la relación no existe de igual forma para todas las variables, siendo el caso de las velocidades del viento para los años 2017 y 2019. Por otra parte, se muestra que la proporción (entendido como la longitud del vector) de ambos Componentes Principales (1 y 2) explican por igual la variabilidad en la velocidad del viento durante los años documentados.

ACP para la temperatura

Por su parte, la prueba de Bartlett (**Figura 4-39**) realizado para la *temperatura*, muestra que con un nivel de significación de 0.097 no rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor > 0.05 por lo que el análisis de componentes principales no se puede aplicar a esta variable por si sola.

```
Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 17.38, df = 11, p-value = 0.09712
```

Figura 4-39: Test de Bartlett para la temperatura

ACP para la dirección del viento

En el caso de la variable *dirección del viento*, la prueba de Bartlett (**Figura 4-35**) realizado arrojó que con un nivel de significación de 1 no rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor > 0.05 por lo que el análisis de componentes principales no se puede aplicar a esta variable por si sola.

```
Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 0.18226, df = 11, p-value = 1
```

Figura 4-40: Test de Bartlett para la Dirección del Viento

Luego, se muestran las desviaciones estándar de las variables de análisis de componentes principales reportadas en el software estadístico RStudio para posteriormente calcular la varianza:

Desviación estándar:

<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>
[1] 3.416807e+0	4.316174e-1	3.155275e-1	1.589056e-1	1.194553e-1	7.538279e-3	1.780177e-4
[8] 5.179345e-17	4.222373e-17	8.263723e-18	1.422262e-18	7.853122e-21		

La proporción de la varianza explicada por cada uno de los Componentes Principales (CP)⁷ generados por RStudio para decidir cuáles son los componentes que mejor predicen el comportamiento de los vientos se muestra a continuación:

Importancia de los componentes:

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP8</i>
Desviación estándar	3.4168	0.43162	0.3155	0.1589	0.11946	0.007538	0.000178	5.179e-17
Proporción de varianza	0.9729	0.01552	0.0083	0.0021	0.00119	0.000000	0.000000	0.000e+00
Proporción acumulativa	0.9729	0.98841	0.9967	0.9988	1.00000	1.000000	1.000000	1.000e+00

	<i>PC9</i>	<i>PC10</i>	<i>PC11</i>	<i>PC12</i>
Desviación estándar	4.222e -17	8.264e -18	1.422e -18	7.853e -21
Proporción de varianza	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
Proporción acumulativa	1.000e+00	1.000e+00	1.000e+00	1.000e+00

Se puede observar que solo el **Componente Principal 1 (CP1)** explica el 97.29% de la variabilidad total.

Por lo que se decide trabajar solo con este componente principal, siendo consecuentes con el criterio de Kaiser (1958)

Varianza						
<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>

⁷ Componentes Principales (CP)

[1]	1.16745e+1	1.86293e-1	9.95576e-2	2.52509e-2	1.42695e-2	5.68256e-5	3.16902e-8
[8]	2.68256e-33	1.78284e-33	6.82891e-35	2.02282e-36	6.16715e-41		

Del cuadro anterior se puede observar que, efectivamente, sólo el primer componente principal tiene una varianza mayor a uno, lo que podría sugerir que describe el fenómeno estudiado con suficiente nivel de confianza la variabilidad total perdiendo la mínima información, hecho que se ve corroborado visualmente por el grafico de sedimentación de la **Figura 4-41**.

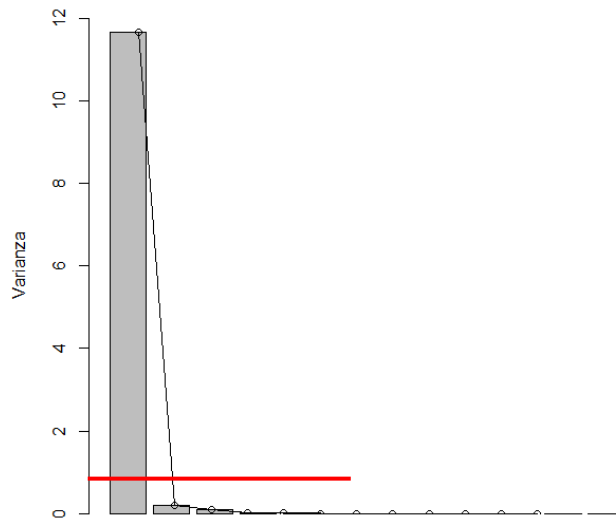


Figura 4-41: Grafico de sedimentación para la dirección del viento: PC vs varianza

En este caso no podemos utilizar Círculo de Correlaciones para interpretar los resultados obtenidos ya que solamente contamos con un componente principal.

ACP para el conjunto: velocidad, temperatura y dirección del viento

Como en los casos anteriores, primeramente, se comprobó que las correlaciones entre las variables de estudio son distintas de cero de modo significativo, para esto se aplicó el Test de Bartlett.

El Test de Bartlett (**Figura 4-42**), muestra que con un nivel de significación menor al $2.2e-16$ rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar.

```

Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 1676.6, df = 30, p-value < 2.2e-16

```

Figura 4-42: Test de Bartlett

Luego, se obtuvieron las desviaciones estándar de las variables de análisis de componentes principales reportadas en el software estadístico RStudio para posteriormente calcular la varianza:

Desviación estándar (1, .., p=16):

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>
<i>[1]</i>	3.719272e+00,	2.710645e+00,	1.770405e+00,	1.650054e+00,	1.153144e+00,	8.924520e-01
<i>[7]</i>	8.261514e -01,	6.842086e -01,	4.889770e -01,	4.342002e -01,	3.367471e -01,	2.567543e-01
<i>[13]</i>	2.020812e-01,	1.636146e -01,	1.047296e -01,	3.116057e -16		

La proporción de la varianza explicada por cada uno de los Componentes Principales (CP)⁸ generados por RStudio para decidir cuáles son los componentes que mejor predicen el comportamiento de los vientos se muestra a continuación:

<i>Importancia de los componentes:</i>								
	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP 8</i>
<i>Desviación estándar</i>	3.7193	2.7106	1.7704	1.65005	1.15314	0.89245	0.82615	0.6842
<i>Proporción de varianza</i>	0.4462	0.2370	0.1011	0.08783	0.04289	0.02569	0.02202	0.0151
<i>Proporción acumulativa</i>	0.4462	0.6832	0.7843	0.87218	0.91508	0.94077	0.96278	0.9779
	<i>CP9</i>	<i>CP10</i>	<i>CP11</i>	<i>CP12</i>	<i>CP13</i>	<i>CP14</i>	<i>CP15</i>	<i>CP16</i>
<i>Desviación estándar</i>	0.48898	0.43420	0.33675	0.25675	0.20208	0.16361	0.10473	3.116e-16
<i>Proporción de varianza</i>	0.00771	0.00608	0.00366	0.00213	0.00132	0.00086	0.00035	0.000e+00

⁸ Componentes Principales (CP)

Proporción acumulativa 0.98560 0.99168 0.99534 0.99747 0.99878 0.99965 1.00000 1.000e+00

Se puede observar que el **Componente Principal 1 (CPI)** explica el 44.62% de la variabilidad total, mientras que los **CP2, CP3, CP4 y CP5** explican el 23.70, 10.11, 8.78 y 4.28%, respectivamente. Cada componente explica por sí sólo una porción de la variabilidad total que los demás componentes no pueden reproducir, por tanto, es importante considerar los más representativos. Es importante mencionar que estos componentes son expresados como combinaciones lineales de las variables originales.

Tomando en cuenta que a medida que aumenta el número de componentes principales la reproducibilidad de la varianza total disminuye, se decidió trabajar con los primeros cinco componentes principales que en conjunto acumulan una proporción satisfactoria del 91.50% de la varianza total.

Para sustentar la decisión tomada anteriormente, los autores se basaron el criterio de Kaiser (1958):

Varianza	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
[1]	1.383299e+01	7.347598e+00	3.134334e+00	2.722677e+00	1.329742e+00	7.964707e-01
[7]	6.825261e-01	4.681415e-01	2.390986e-01	1.885298e-01	1.133986e-01	6.592279e-02
[13]	4.083680e-02	2.676975e-02	1.096829e-02	9.709812e-03		

Del cuadro anterior se puede observar que, efectivamente, sólo los primeros cinco componentes principales tienen una varianza mayor a uno, describiendo con suficiente nivel de confianza la variabilidad total del fenómeno estudiado perdiendo la mínima información.

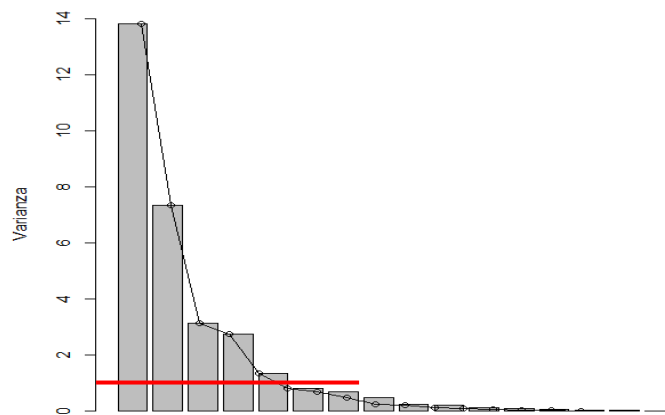
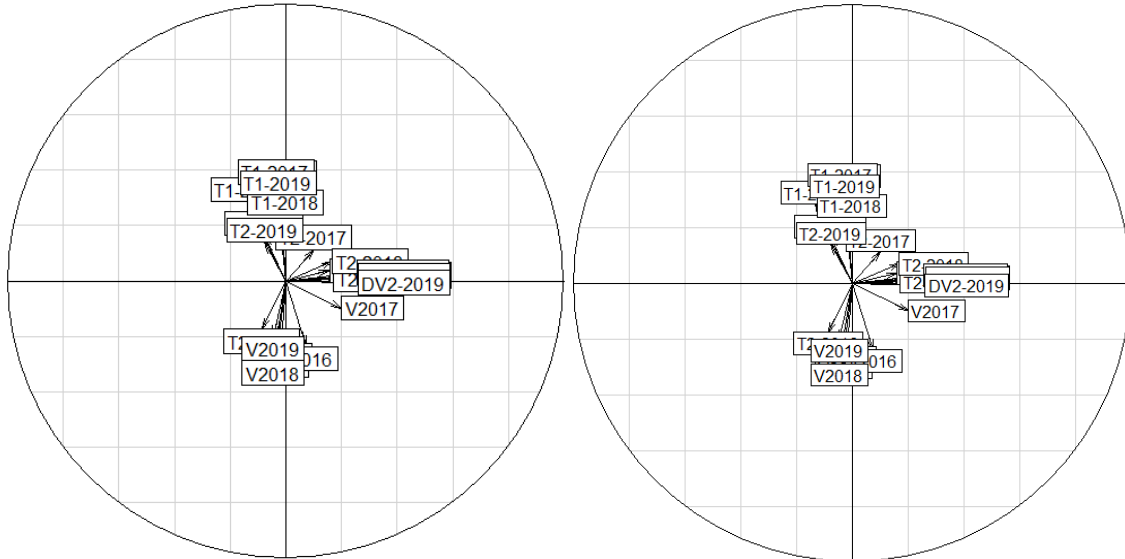


Figura 4-43: Grafico de sedimentación: PC vs varianza

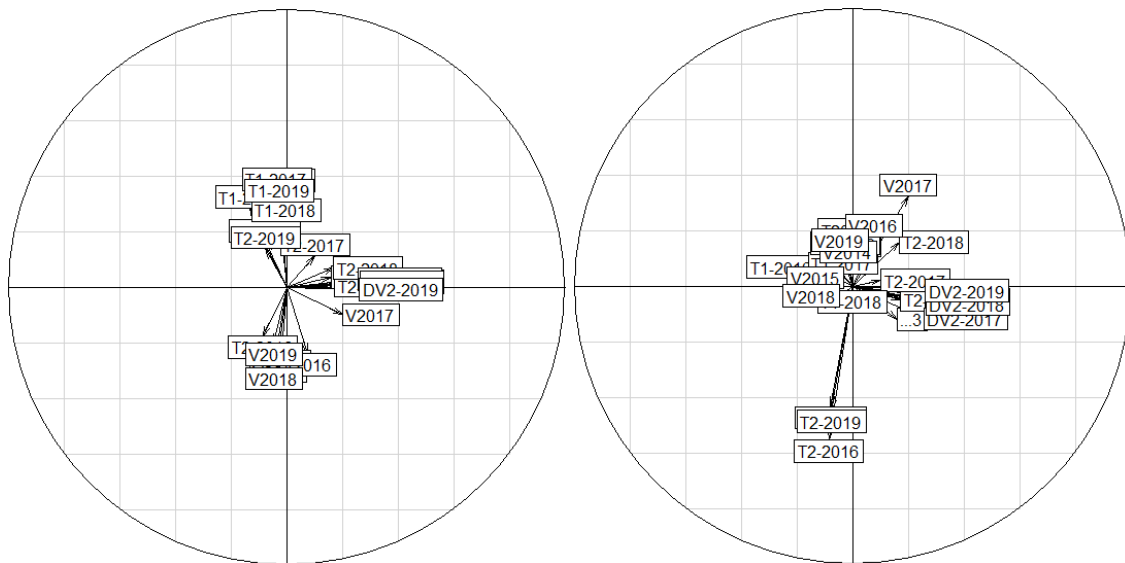
Al graficar los PC vs varianza (**Figura 4-43**) para tener una representación visual del ACP y poder decidir los componentes principales que son significativos según la “*Técnica del Codo*”, observamos que esta teoría coincide perfectamente con el número de componentes principales escogidos.

Para interpretar la relación entre los CP escogidos se utilizaron gráficos de Círculo de Correlaciones.



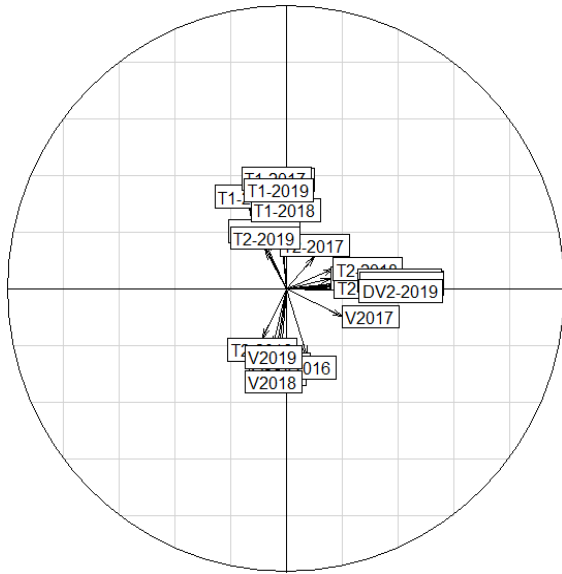
(a)

(b)

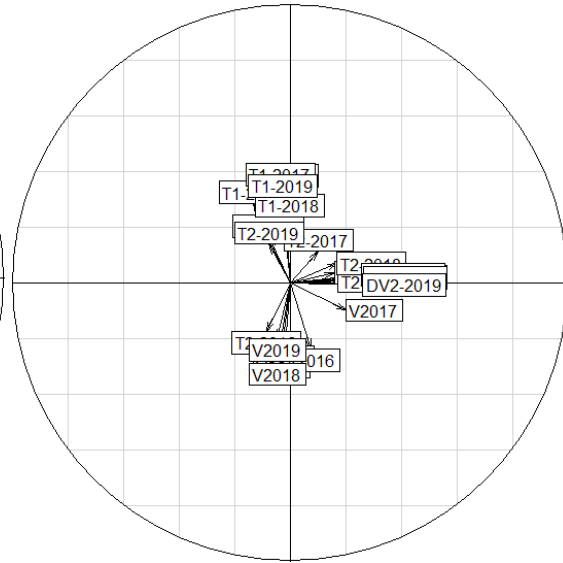


(c)

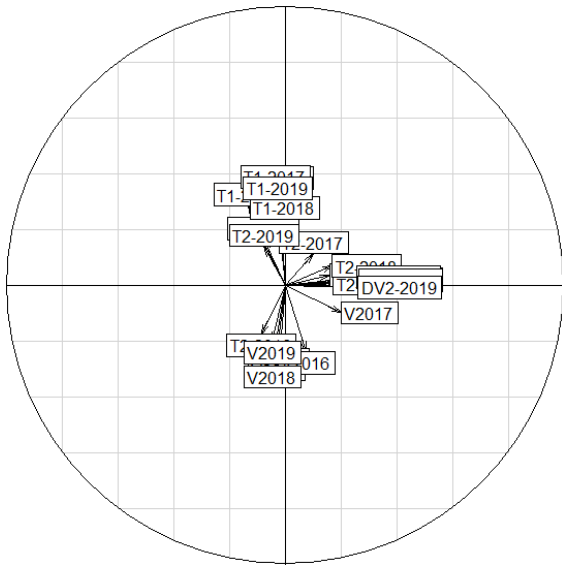
(d)



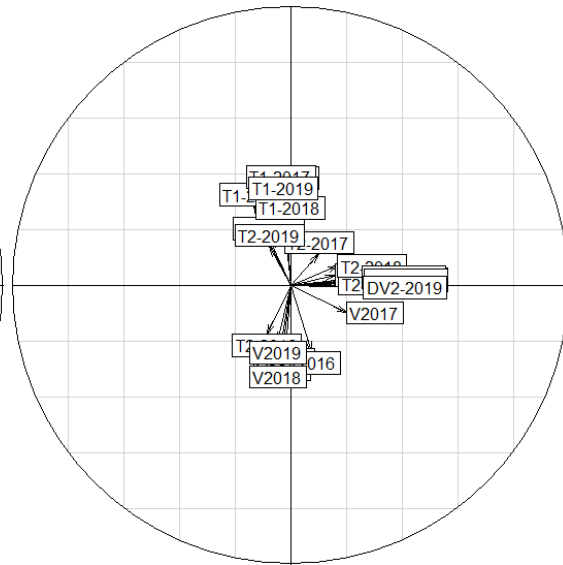
(e)



(f)



(g)



(h)

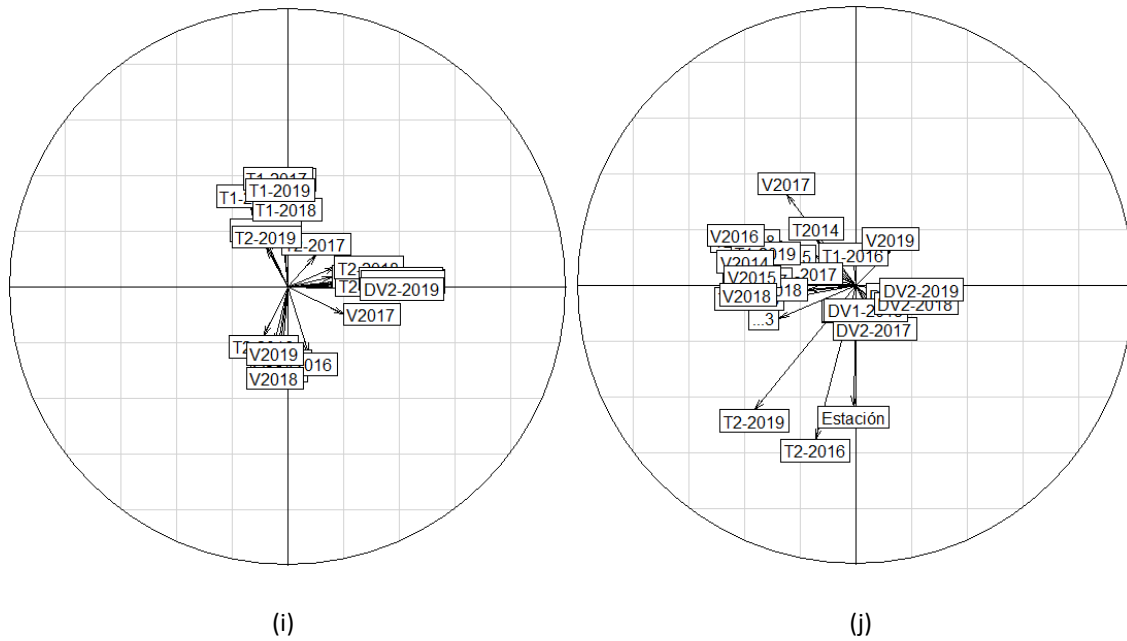


Figura 4-44: Círculo de correlaciones entre componentes principales: (a) CP1 y CP2; (b) CP1 y CP3; (c) CP1 y CP4; (d) CP1 y CP5; (e) CP2 y CP3; (f) CP2 y CP4; (g) CP2 y CP5; (h) CP3 y CP4; (i) CP3 y CP5; (j) CP4 y CP5.

En casi todos los casos mostrados en la **Figura 4-44**, la correlación entre componentes es proporcional.

Se observa que existe una correlación fuerte y positiva entre la temperatura, la velocidad y la dirección del viento para variables cercanas entre sí, sin embargo y debido a la presencia de CP en ángulos de 90° , la relación no existe de igual forma para todas las variables, llegando a ser, en algunos casos, fuertemente negativas, atribuido muy seguramente, a la posición de las estaciones teniendo en cuenta que algunas están muy alejadas entre sí y por tanto no tienen ningún tipo de relación estadística. A medida que las estaciones van siendo más cercanas entre sí, el ángulo formado entre PC es menor denotando una correlación fuerte y positiva entre las variables de estudio.

En el caso de la correlación entre CP1 y CP5 (d) se evidencia con mayor proporción que CP5 explica mejor la variabilidad de las variables independientes de temperatura durante el segundo semestre de los años 2014, 2016 y 2019 (**T2-2014**, **T2-2016** y **T2-2019**).

Otro comportamiento relevante es el mostrado por la correlación entre CP4 y CP5 (j) donde se evidencia que CP5 también explica mejor la variabilidad de las variables independientes de temperatura durante el segundo semestre de los años 2016 y 2019 (**T2-2016** y **T2-2019**) en función de las estaciones meteorológicas (**Estación**).

En general y debido a la baja proporción en la que se explican las variables independientes (no se evidencian flechas alargadas) puede decirse que los componentes principales no reproducen con suficiente efectividad este fenómeno natural altamente no lineal. Posteriormente, se realizó un segundo Análisis de Componentes Principales (ACP) transponiendo la matriz de datos registrados, con el objetivo de observar en comportamiento de las variables en función de las estaciones (**Tabla 4-5**).

De igual forma, se analizó el comportamiento de cada una de las variables por separado y luego en conjunto para observar si existe correlación entre ellas.

Tabla 4-5: Temperaturas (°C) máximos y mínimas, Velocidades (m/s) y Dirección promedio del viento (°) de las estaciones meteorológicas documentadas.

		ESTACIONES																
		Baños	Chaucha	CTS	Cumbe	Irquis	Llacao	Molleturo	Nulti	Quingeo	San Joaquín	Santa Ana	Sayausí	Sinincay	Tixán	Turi	UPS	
VARIABLES	Temperatura	2014 T_{máx}	20.20	22.60	24.60	19.80	21.60	24.70	16.10	25.20	22.40	22.40	23.70	23.30	22.80	22.60	23.60	25.10
		2014 T_{mín}	4.30	12.00	4.40	3.40	0.10	4.80	4.60	5.30	3.70	3.40	1.00	3.50	5.00	4.80	4.00	6.10
		2015 T_{máx}	20.70	22.80	24.60	20.50	21.70	25.10	18.08	24.80	23.10	22.70	24.40	23.30	23.00	23.70	24.90	24.70
		2015 T_{mín}	4.90	12.70	4.30	3.90	0.10	4.10	4.36	4.80	3.70	3.00	1.00	3.30	4.30	4.30	4.00	5.40
		2016 T_{máx}	22.30	17.58	25.53	20.81	23.10	26.30	15.10	26.70	24.30	24.30	25.00	24.50	24.57	23.80	25.09	25.95
		2016 T_{mín}	3.30	0.03	0.50	3.67	0.10	1.90	4.23	2.40	0.70	0.50	0.10	0.20	2.50	2.40	0.90	3.50
		2017 T_{máx}	20.40	21.90	24.30	20.20	21.60	25.60	18.47	23.50	22.60	22.10	25.40	24.20	22.70	23.80	24.30	24.90
		2017 T_{mín}	4.40	11.70	3.60	3.00	0.10	6.60	0.27	5.90	2.70	2.60	0.60	2.50	8.20	3.80	4.30	4.80
		2018 T_{máx}	19.80	22.50	25.26	20.54	22.66	26.00	22.79	26.19	23.34	22.98	25.00	24.31	19.54	24.67	24.36	25.09
		2018 T_{mín}	3.60	12.20	2.75	2.93	0.00	3.07	0.00	3.57	1.99	0.74	1.50	1.46	0.02	3.25	3.22	4.68
		2019 T_{máx}	15.53	20.80	25.18	20.36	21.57	25.54	15.87	24.13	21.38	22.46	24.34	23.32	19.56	23.06	23.96	24.91
		2019 T_{mín}	0.23	0.31	4.37	3.69	0.49	4.27	2.18	4.26	3.93	2.56	0.46	2.58	1.95	4.60	4.26	5.91
VARIABLES	Velocidad	2014 v_{prom}	1.23	1.30	1.67	2.65	2.55	1.48	2.49	1.76	1.91	1.00	1.19	1.00	1.03	0.87	2.27	1.78
		2015 v_{prom}	1.24	1.34	1.80	2.94	2.70	1.60	3.16	1.79	1.96	2.08	1.24	1.09	1.23	1.01	2.42	1.96
		2016 v_{prom}	1.11	2.45	1.68	2.74	2.45	1.47	2.75	1.71	1.98	2.09	1.26	1.05	1.19	0.86	2.38	1.81
		2017 v_{prom}	0.99	6.31	1.60	2.54	2.65	1.39	2.41	1.69	2.07	2.02	1.28	1.01	0.89	0.83	2.25	1.70
		2018 v_{prom}	1.80	1.32	1.42	2.65	1.87	1.46	2.65	1.75	1.71	1.97	0.97	1.01	1.32	0.92	2.33	1.78
		2019 v_{prom}	4.20	1.27	0.09	0.20	2.43	1.40	3.01	1.35	1.92	2.04	1.02	0.90	1.05	0.89	2.19	1.67
VARIABLES	Dirección	2014 1^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	112.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
		2014 2^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	112.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
		2015 1^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
		2015 2^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
		2016 1^{er} pdo	10.00	295.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
		2016 2^{er} pdo	10.00	295.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25

2017 1^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	135.00	78.75	45.00	56.25
2017 2^{er} pdo	10.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	135.00	78.75	45.00	56.25
2018 1^{er} pdo	22.50	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.20	45.00	78.75	45.00	56.25
2018 2^{er} pdo	22.50	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.50	118.20	45.00	78.75	4.00	56.25
2019 1^{er} pdo	90.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.25	45.00	78.75	45.00	56.25
2019 2^{er} pdo	90.00	292.50	78.75	101.25	45.00	90.00	135.00	90.00	245.50	67.50	168.75	118.20	45.00	78.75	45.00	56.25

Análisis de CP para la *Temperatura*

Por su parte, la prueba de Bartlett (**Figura 4-45**) realizado para la *Temperatura*, muestra que con un nivel de significación de 0.9939 no rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor > 0.05 por lo que el análisis de componentes principales no se puede aplicar a esta variable por si sola.

Bartlett test of homogeneity of variances

data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 4.7765, df = 15, p-value = 0.9939

Figura 4-45: Test de Bartlett para la *Temperatura*

No aplica. Pueba rechazada p-value > 0.05

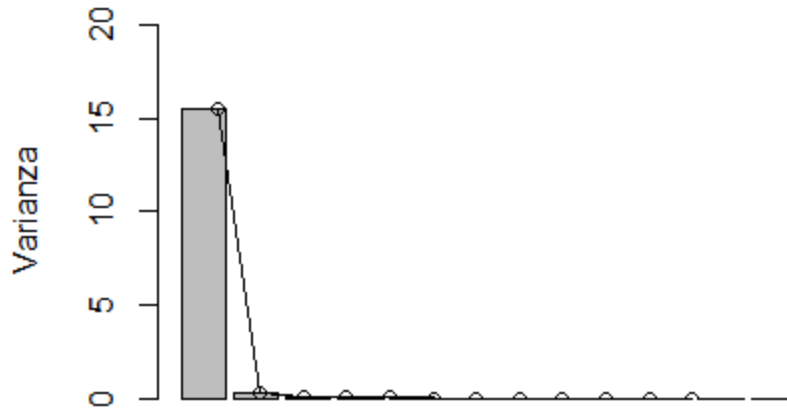
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Baños	-0.2493675	-0.07382463	-0.1473806819	-0.64208903	-0.58828760	-0.198917829	0.009022785
Caucha	-0.2204551	-0.95582784	0.1139713085	0.09567731	0.01589454	0.049970422	-0.003677010
CTS	-0.2529921	0.03935285	-0.0258417382	0.25795982	0.08755392	-0.208004605	-0.098853498
Cumbe	-0.2526318	0.13187565	0.0419176763	0.06578970	-0.17926385	0.383358021	-0.049383825
Irquis	-0.2527766	0.12420930	-0.0001236031	0.07216121	-0.23631448	0.244992481	0.286524699
Llacao	-0.2529356	0.02976329	-0.1128770337	0.12305685	0.24386036	0.231983839	0.351846259
Molleturo	-0.2436215	0.11945788	0.8277824016	-0.37300817	0.28530475	0.003654643	0.017017158
Nulti	-0.2530294	0.03246250	-0.0911368616	0.04250833	0.05254239	-0.321374230	0.730804979
Quíngo	-0.2530490	0.07844372	-0.0326482655	0.06532840	-0.03445981	-0.481735020	-0.267061535
San Joaquín	-0.2531886	0.07340209	-0.0645704517	0.07065158	0.10007962	-0.198346144	0.015218211
Santa Ana	-0.2529075	0.06233198	0.0332575045	0.10725183	-0.29814111	0.464788602	-0.090339693
Sayausí	-0.2533785	0.03988346	0.0051032645	0.10472488	0.04144725	-0.057847927	-0.222539276
Sinincay	-0.2482363	-0.01086313	-0.4873797769	-0.48641855	0.55421726	0.227947975	-0.164311666
Tixán	-0.2531898	0.07330998	0.0788031784	0.11859988	0.02156860	-0.010368849	-0.133529544
Turí	-0.2531451	0.03485047	-0.0746465916	0.18280476	0.01643113	-0.045567974	-0.198818368
UPS	-0.2530412	0.08149399	-0.0300874994	0.17489272	-0.06848771	-0.075125987	-0.183959085

	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
Baños	0.1280062687	0.07744510	-0.13477719	0.013674482	-0.24503295
Caucha	-0.0655803053	-0.03914350	0.02538139	0.003640516	0.05078540
CTS	-0.1784578073	0.01042088	-0.07568103	-0.346274162	-0.45991558
Cumbe	-0.4110970199	-0.45028754	-0.22736364	-0.189371798	-0.12284677
Irquis	-0.1094667513	-0.04162978	0.26148021	-0.172251971	0.16501852
Llacao	0.4956369689	0.21623840	-0.26617689	-0.063154850	-0.10326301
Molleturo	-0.0006353245	-0.01161233	0.05410942	-0.024798097	0.01105378
Nulti	-0.0991108050	-0.07457915	0.17471642	-0.011206132	0.05425965
Quíngo	0.1869139655	-0.18844444	0.07925001	-0.246171066	0.57118715
San Joaquín	-0.3713665662	0.03126369	-0.53504785	0.567484714	0.21838767
Santa Ana	0.1525102753	0.19180301	0.03496610	0.131532425	0.38869726
Sayausí	-0.0020998038	0.50291615	-0.29548759	-0.386147315	0.01290057
Sinincay	-0.1183926688	-0.05227550	0.18595553	-0.033905105	0.07638435
Tixán	0.3055753849	-0.04176156	0.09013174	0.449025069	-0.29928404
Turí	0.3587566757	-0.51299024	0.06775635	0.079492255	-0.14954685
UPS	-0.2806957385	0.37626598	0.56807300	0.226915783	-0.16381602

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Standard deviation	3.9434	0.51520	0.30596	0.23210	0.14182	0.08818	0.06631	0.05166	0.03438	0.02125
Proportion of Variance	0.9719	0.01659	0.00585	0.00337	0.00126	0.00049	0.00027	0.00017	0.00007	0.00003
Cumulative Proportion	0.9719	0.98848	0.99434	0.99770	0.99896	0.99944	0.99972	0.99989	0.99996	0.99999
	PC11	PC12								
Standard deviation	0.01348	1.005e-16								
Proportion of Variance	0.00001	0.000e+00								
Cumulative Proportion	1.00000	1.000e+00								

. varianza

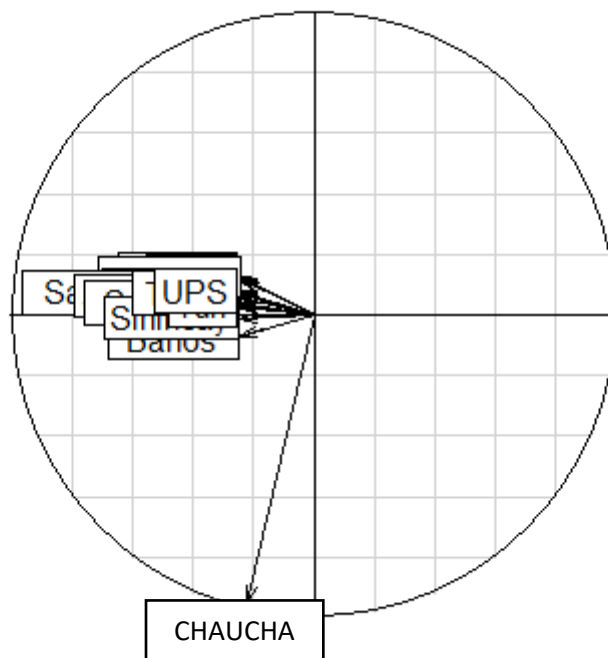
- [1] 1.555032e+01 2.654314e-01 9.360950e-02 5.386820e-02 2.011268e-02 7.775186e-03 4.396375e-03
- [8] 2.669089e-03 1.181747e-03 4.515290e-04 1.816677e-04 1.010913e-32



Se evidencia que solo el CP1 describe el comportamiento de la temperatura en las estaciones documentadas, en un 97.19%.

A efectos de obtener el círculo de correlaciones, se tomará el CP1 y CP2

CP1 y CP2



Del gráfico anterior se puede concluir que:

Casi todas las estaciones tienen un comportamiento que puede ser interpretado como una correlación fuerte y positiva descrita por el CP1.

La estación Chaucha presenta un ángulo cercano a 90° respecto a las demás estaciones, lo que sugiere que no existe correlación con las demás estaciones y que su comportamiento es fuertemente descrito por la CP2. Teniendo en cuenta que CP2 no es representativo, esta estación podría obviarse.

Análisis de CP para la Velocidad del Viento

En el caso de la *Velocidad del viento*, el Test de Bartlett (Figura 4-46), muestra que con un nivel de significación de $2.2e-16$ rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar a esta variable.

```
Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 162.42, df = 15, p-value < 2.2e-16
```

Figura 4-46: Test de Bartlett para la Velocidad

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Baños	0.307417281	-0.23024101	-0.16546213	-0.03844928	-0.0009157354	-0.251467069
Caucha	0.020018842	0.39397778	-0.03533199	0.40276410	-0.4503248282	0.115292962
CTS	-0.335166207	0.16559344	0.15615823	-0.01039199	-0.0178713246	0.419004635
Cumbe	-0.337056526	0.11897340	0.20912432	0.04585708	-0.0650082123	-0.755915302
Iruquis	-0.069618234	0.25646651	-0.46589030	-0.28797974	-0.0427621685	-0.127723203
Llacao	-0.304829962	-0.18970994	-0.18344915	-0.23450265	-0.1313594169	0.266205398
Molleturo	-0.038413881	-0.32545326	-0.44169917	0.01397383	0.0697050653	0.004383805
Nulti	-0.337101265	0.07568618	0.23407940	-0.04368012	-0.2093119063	-0.038501551
Quíngo	-0.018809312	0.34386189	-0.41525226	0.03122526	0.1709978375	-0.099987703
San Joaquín	0.004557267	-0.10535016	-0.26927762	0.76442689	-0.0431969881	0.041613500
Santa Ana	-0.200305776	0.33455502	-0.25302979	-0.04542224	0.2893373954	-0.023096211
Sayausí	-0.364618029	0.04104632	-0.02598503	0.15391092	0.0472704072	0.043006331
Sinincay	-0.170662035	-0.37704658	0.14201298	0.19071876	0.3150978842	0.004836917
Tixán	-0.184367649	-0.33456118	-0.21660531	-0.06163506	-0.6175408309	-0.175280522
Turi	-0.343692698	-0.12019565	-0.03882652	0.17660852	0.3551175162	-0.140804614
UPS	-0.334042781	-0.15902129	-0.15626793	-0.10782621	-0.0331424825	0.152098981

```
> summary(acp)
Importance of components:
      PC1      PC2      PC3      PC4      PC5      PC6
Standard deviation  2.6855 2.1594 1.5909 1.14346 0.5351 3.631e-16
Proportion of variance 0.4508 0.2914 0.1582 0.08172 0.0179 0.000e+00
Cumulative Proportion 0.4508 0.7422 0.9004 0.98210 1.0000 1.000e+00
```

La proporción de la varianza acumulada evidencia que el comportamiento descrito por los cuatro primeros CP en una 98.21%, corroborado a su vez por la varianza cuyos cuatro primeros valores están por encima de 1 como explica la varianza de los CP en el cuadro siguiente y en la Figura 4-47:

```
> varianza
[1] 7.212101e+00 4.662990e+00 2.531075e+00 1.307497e+00 2.863376e-01 1.318427e-31
```

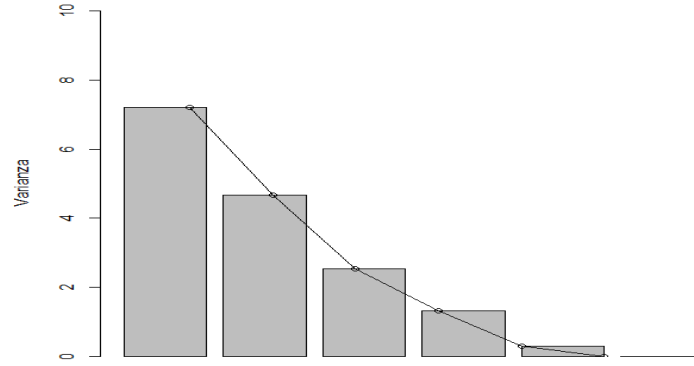
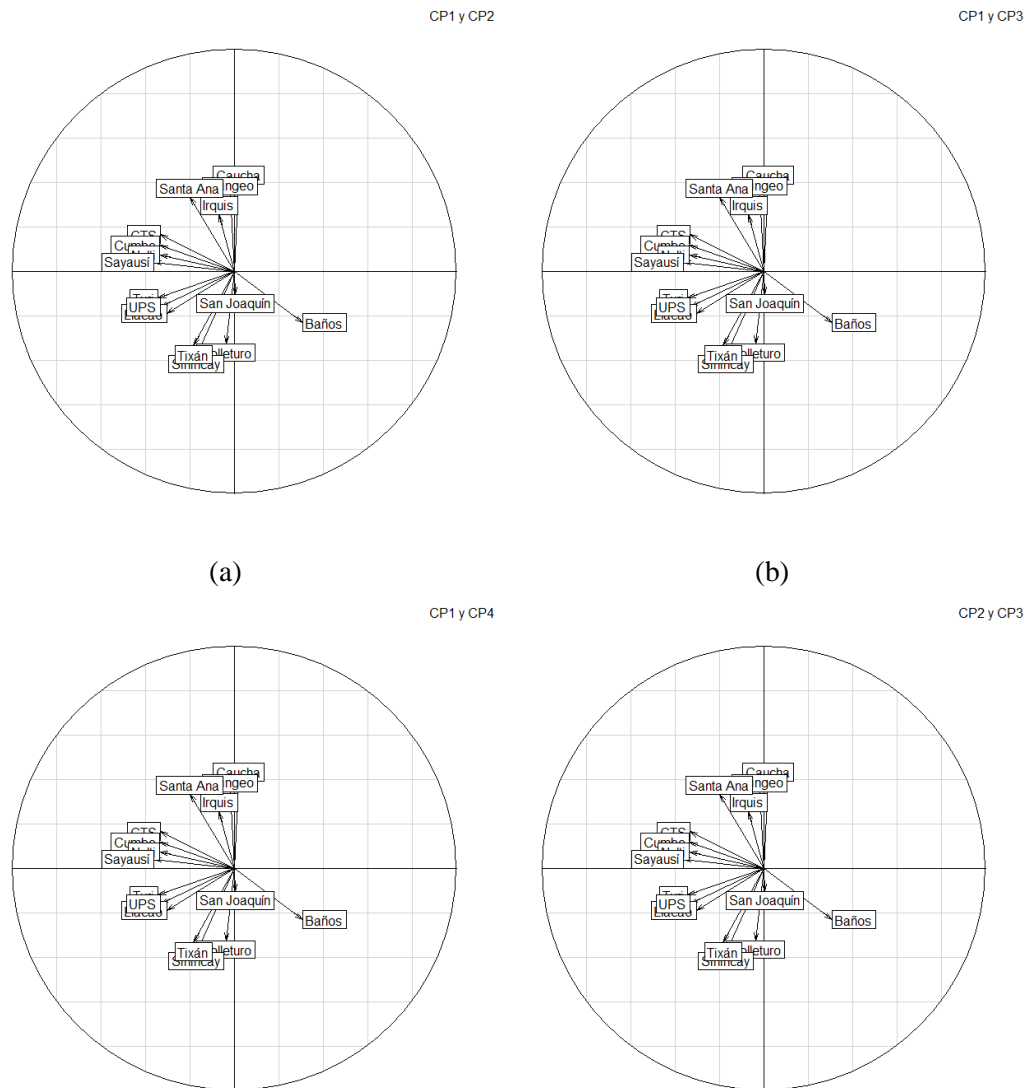


Figura 4-47: Grafico de sedimentación: PC vs varianza para la velocidad del viento

Para interpretar los resultados obtenidos se utilizaron gráficos denominados Círculo de Correlaciones (Figura 4-48).



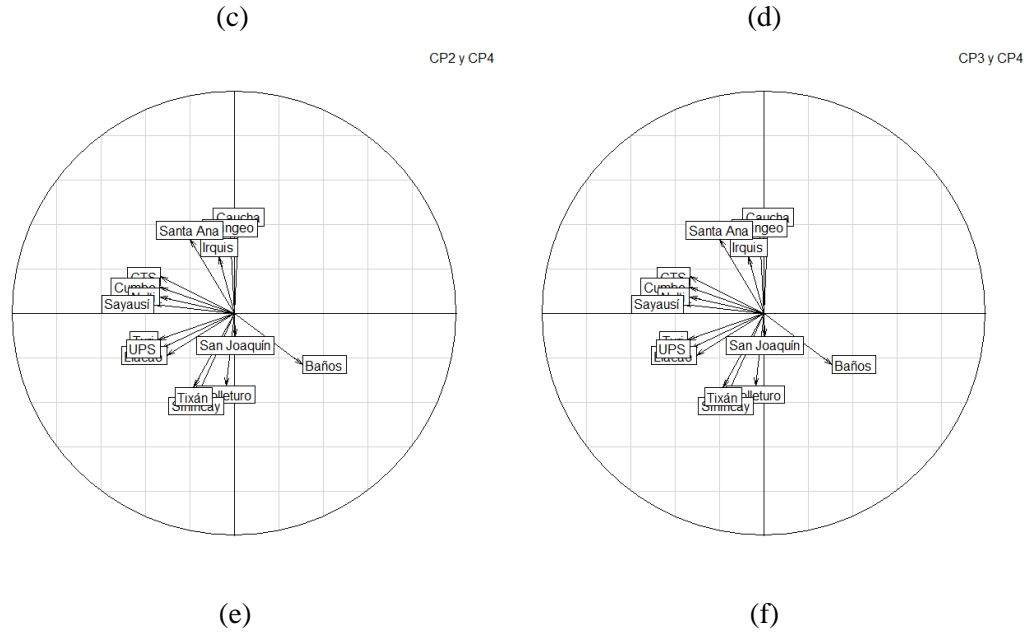


Figura 4-48: Círculo de correlaciones entre componentes principales: (a) CP1 y CP2; (b) CP1 y CP3; (c) CP1 y CP4; (d) CP2 y CP3; (e) CP2 y CP4; (f) CP3 y CP4.

En todos los casos se observó el mismo comportamiento:

- Estaciones agrupadas en tres grandes grupos al tener cercanía entre sí en el círculo de correlaciones mostrando una correlación fuerte y positiva entre ellas. Grupo 1: Chaucha, Quingeo, Santa Ana e Irquis. Grupo 2: CTS, Cumbe, Nulti, Sayausi, Turi, UPS y Llaaco. Grupo 3: San Joaquín, Tixán, Sinincay, Moleturo y Baños.
- A su vez, estos grupos al estar separados entre sí por ángulos cercanos a 90° no existe correlación entre ellos, llegando a ser fuerte y negativa cuando algunas de sus estaciones están opuestas al vértice.

Análisis de CP para la Dirección del Viento

En el caso de la *Dirección del viento*, el Test de Bartlett (**Figura 4-49**), muestra que con un nivel de significación de $2.2e-16$ rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar a esta variable.

```

Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = Inf, df = 15, p-value < 2.2e-16

```

Figura 4-49: Test de Bartlett para la Dirección del viento

Debido a que la mayoría de los datos tienen el mismo valor, no existe desviación estándar y por tanto no se puede realizar el ACP

```

      Santa Ana   Sayausí   Sinincay   Tixán   Turi   UPS
Baños    0.03007451 -0.3866643 -0.2357836   NA 0.03007451 NA
Caucha   0.13483997  0.2581989 -0.2000000   NA 0.13483997 NA
CTS      NA         NA         NA         NA   NA   NA
Cumbe    NA         NA         NA         NA   NA   NA
Irquis   NA         NA         NA         NA   NA   NA
Llacao   NA         NA         NA         NA   NA   NA
Molleturo NA         NA         NA         NA   NA   NA
Nulti    NA         NA         NA         NA   NA   NA
Quingeo  NA         NA         NA         NA   NA   NA
San Joaquín 0.13483997  0.2581989 -0.2000000   NA 0.13483997 NA
Santa Ana 1.00000000  0.5222330  0.1348400   NA 1.00000000 NA
Sayausí  0.52223297  1.0000000  0.2581989   NA 0.52223297 NA
Sinincay 0.13483997  0.2581989  1.0000000   NA 0.13483997 NA
Tixán    NA         NA         NA         1   NA   NA
Turi     1.00000000  0.5222330  0.1348400   NA 1.00000000 NA
UPS      NA         NA         NA         NA   NA   1
warning message:
In cor(datos) : the standard deviation is zero

```

Análisis de CP para la Temperatura, Velocidad y Dirección del Viento

Para el ACP de todas las variables documentadas (*Temperatura, Velocidad y Dirección del Viento*), el Test de Bartlett (**Figura 4-50**), muestra que con un nivel de significación de $2.2e-16$ rechazamos la hipótesis nula de esfericidad debido a que el p-valor < 0.05 por lo que el análisis de componentes principales se puede aplicar a esta variable.

```

      Bartlett test of homogeneity of variances
data: data by tipo
Bartlett's K-squared = 333.66, df = 15, p-value < 2.2e-16

```

Figura 4-50: Test de Bartlett para el total de variables documentadas: Temperatura, Velocidad y Dirección del viento

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Baños	-0.1212767	0.954781412	-0.15713187	-0.177926683	0.068407244	-0.11246951	-0.001724861
Caucha	-0.2593307	-0.060465821	0.15607323	-0.239175081	-0.223104122	-0.19609131	0.057838534
CTS	-0.2631708	-0.004143832	0.03585069	0.025097677	0.042591181	0.18754240	0.146974847
Cumbe	-0.2625218	-0.032648749	0.09709589	-0.110301158	-0.086188123	-0.00571585	-0.057310310
Irquis	-0.2585264	0.040413174	-0.05763806	0.237118833	0.257179445	0.49740515	-0.700046207
Llacao	-0.2632517	-0.012243250	0.05294876	-0.015983544	0.004253124	0.12769430	0.177732561
Molleturo	-0.2610762	-0.047190509	0.12941151	-0.180876988	-0.153797344	-0.10835228	-0.208673044
Nulti	-0.2632412	-0.013718020	0.05670621	-0.024363940	-0.002738923	0.11599652	0.173820955
Quingeo	-0.2603077	-0.053791025	0.14223759	-0.211260607	-0.183847669	-0.15444240	-0.125324721
San Joaquín	-0.2515616	-0.071547364	0.18239830	0.264946466	0.695160891	-0.58722572	0.003362473
Santa Ana	-0.2618066	-0.041075174	0.11539666	-0.150182119	-0.126060428	-0.06638889	-0.189720947
Sayausí	-0.2627334	-0.029520887	0.09035631	-0.096010388	-0.072673160	0.01239795	-0.037236030
Sinincay	-0.2080552	-0.251718610	-0.87499607	-0.304676081	0.141484234	-0.12194445	-0.002774854
Tixán	-0.2632293	-0.007894110	0.04462093	0.003851238	0.022119997	0.15718313	0.241323283
Turi	-0.2386134	0.069320419	-0.26609476	0.737145814	-0.507700313	-0.25738434	-0.006682223
UPS	-0.2610384	0.025572054	-0.02742813	0.160385790	0.173188275	0.38171911	0.514748971

	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
Baños	0.0008601337	-0.0006649921	-0.0015996657	-2.042886e-04	0.0000581452	0.0004799093
Caucha	0.4246493020	-0.5381098903	-0.4521324524	7.810156e-02	-0.1578144302	0.1563372101
CTS	0.1420284493	0.1024939566	-0.2889110866	-7.010534e-01	0.3997137122	-0.1583204279
Cumbe	-0.0769702432	0.5642916316	-0.1272639288	-2.037974e-01	-0.2938116028	0.6053189374
Irquis	0.1206752942	-0.1438981961	-0.0611275736	6.499227e-02	-0.0751809321	0.0087034762
Llacao	0.2212536398	-0.1314715779	0.5648987195	1.152285e-01	0.4417398108	0.4062279109
Molleturo	-0.7565421742	-0.3469468698	0.0512487725	-1.801047e-01	0.0082928747	0.0018383557
Nulti	0.1678785918	-0.1484206614	0.5028570543	-2.878265e-01	-0.6157103146	-0.1848130134
Quingeo	0.0852194816	0.3513569531	0.1571472300	1.195115e-01	0.0021642627	-0.5103266332
San Joaquín	0.0019460783	-0.0031433678	-0.0043813755	4.016038e-04	-0.0007119004	0.0017355274
Santa Ana	0.0881718721	0.2436274267	-0.0630121062	3.998166e-01	0.0614324225	0.0225308060
Sayausí	0.0491446485	0.0604729706	-0.0003385213	6.573646e-02	0.2617614932	-0.2988912765
Sinincay	0.0005708483	-0.0014379341	-0.0024776145	2.150678e-05	-0.0002142191	0.0005253119
Tixán	-0.2790421570	-0.0934945512	0.0104492875	2.134905e-01	0.1767168768	0.1017656993
Turi	-0.0024554244	0.0021180800	0.0022900424	-6.200117e-04	-0.0004241961	-0.0005355424
UPS	-0.1849168623	0.0767742131	-0.2979320507	3.226006e-01	-0.2133466739	-0.1555289031

	PC14	PC15	PC16
Baños	0.0001070015	-0.0002552328	-0.0002653514
Caucha	0.0158035357	-0.1261768890	-0.1001267471
CTS	0.1132967925	0.2508237197	-0.0633508803
Cumbe	-0.0726848550	-0.2371188762	0.0367862409
Irquis	0.0461105186	-0.1051812546	-0.0788578588
Llacao	-0.2235140497	0.0046561002	-0.2661114399
Molleturo	-0.1978220342	0.1223714568	-0.1386987868
Nulti	0.0831525051	0.1551689143	0.2299179510
Quingeo	0.1798676032	-0.2650554741	-0.5083189147
San Joaquín	0.0005434213	-0.0006209626	-0.0008526431
Santa Ana	0.0668521307	0.7419372629	0.2177894239
Sayausí	-0.4349979128	-0.3712416212	0.6407835921
Sinincay	0.0003388701	-0.0002389919	-0.0004145111
Tixán	0.7439688730	-0.2298502163	0.2549712512
Turi	-0.0003271520	-0.0005007058	-0.0001956799
UPS	-0.3224336078	0.0585407851	-0.2324635120

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Standard deviation	3.7938	0.9192	0.62546	0.48245	0.26555	0.24926	0.06747	0.02295	0.01543	0.01338
Proportion of variance	0.8995	0.0528	0.02445	0.01455	0.00441	0.00388	0.00028	0.00003	0.00001	0.00001
Cumulative Proportion	0.8995	0.9524	0.97680	0.99135	0.99575	0.99964	0.99992	0.99995	0.99997	0.99998
	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16				
Standard deviation	0.01050	0.009501	0.008944	0.00411	0.002078	0.001807				
Proportion of variance	0.00001	0.000010	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000				
Cumulative Proportion	0.99999	0.999990	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000				

La proporción de la varianza acumulada evidencia que el comportamiento de las variables puede ser descrito por los dos primeros CP en una 95.24%, corroborado a su vez por la varianza cuyo primer valor está por encima de 1 y su segundo valor también es muy próximo a la unidad, como explica la varianza de los CP en el cuadro siguiente y en la **Figura 4-51**:


```
> varianza
[1] 1.439275e+01 8.448453e-01 3.911977e-01 2.327600e-01 7.051640e-02 6.213050e-02 4.552863e-03
[8] 5.269023e-04 2.381560e-04 1.789385e-04 1.102086e-04 9.027763e-05 7.998908e-05 1.688894e-05
[15] 4.318031e-06 3.263538e-06
```

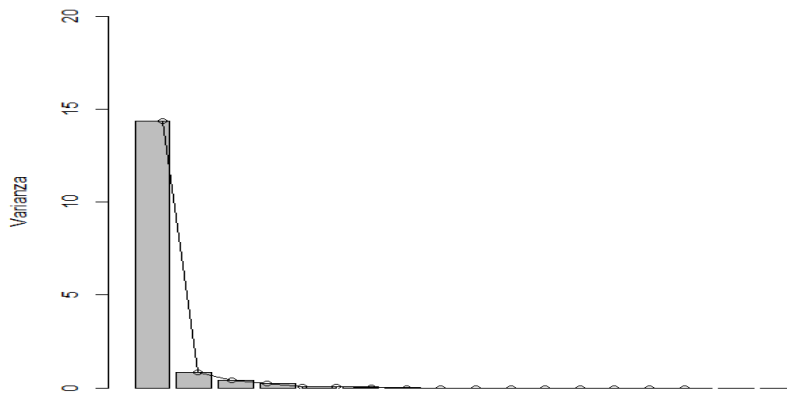


Figura 4-51: Grafico de sedimentación: PC vs varianza para el total de variables documentadas.

Para interpretar los resultados obtenidos se utilizaron gráficos denominados Círculo de Correlaciones (Figura 4-48).

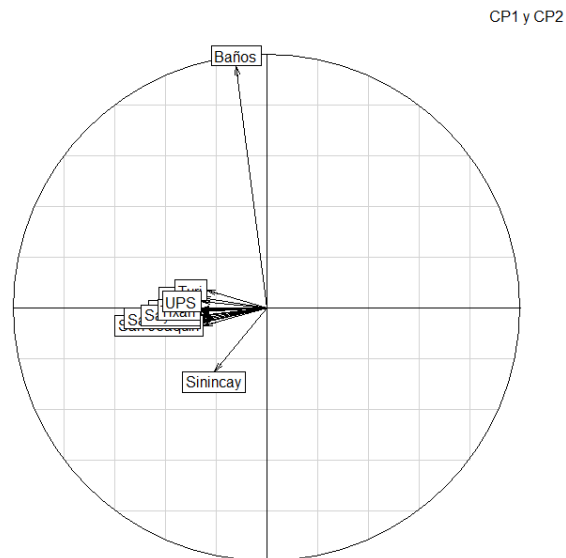


Figura 4-52: Círculo de correlaciones entre componentes principales: CP1 y CP2

Del gráfico anterior se concluye que el comportamiento de las variables documentadas en las estaciones meteorológicas reportadas en este trabajo de investigación, puede ser descrito mediante los CP1 y CP2 para casi el total de las estaciones debido a la cercanía de sus puntos coordenados en el gráfico anterior, lo que se interpreta como una correlación fuerte y positiva de los datos; no siendo así para la estación Baños debido a que por el ángulo que forma respecto a las demás estaciones (siendo cercano a los 90°) y la longitud del vector coordinado (fortaleza), no presenta correlación alguna respecto a las otras estaciones.

4.4. Análisis PLS aplicado a regresión lineal

Con Pl objetivo de desarrollar un modelo matemático que permita predecir el comportamiento de la velocidad y dirección del viento en función a la variable independiente como la temperatura, se empleó el método *Partial Least Squares (PLS)*. Este es un método de regresión que emplea las componentes principales resultantes de un análisis ACP como predictores. Este método incorpora la variable respuesta «Y» para determinar las combinaciones lineales y busca aquellas que, además de explicar la varianza observada, predicen «Y» lo mejor posible.

La matriz de datos a partir de la cual se trabajó consta de variables observadas y variables de respuesta estructuradas en 3 columnas y 504 filas para un total de datos muestreados de 1511. La matriz de Datos empleada se encuentra en Anexo I.

Para poder evaluar la capacidad predictiva del modelo, se dividen las observaciones disponibles en dos grupos: uno de entrenamiento para ajustar el modelo (80% de los datos) y uno de test (20% de los datos). Por tanto, si se cuentan con 504 (para cada variable), entonces tendremos que:

El 80% corresponde a un total de 1208 datos.

El 20% corresponde a un total de 303 datos.

- **Variables observadas:** *velocidad* (durante los años 2014-2019), *dirección del viento* (durante los años 2014-2019) y *temperatura promedio* (durante los años 2014-2018).
- **Variable de respuesta:** *temperatura*

Una vez realizado el análisis correspondiente, el software Rstudio arrojó los siguientes resultados:

TRAINING: % variance explained		
	1 comps	2 comps
X	99.9847	100.000
TEMP	0.8497	1.008

Como se aprecia en el cuadro anterior el primer componente por sí solo explica en un 99.9847% el comportamiento de los datos con una varianza en la temperatura de ± 0.849 °C. Por otra parte, al emplear dos componentes principales se observa que el modelo ajusta en un 100% a los datos introducidos, con una varianza en la temperatura de ± 1.008 °C.

En la **Figura 4-53** se evidencia claramente que el Error de los Mínimos Cuadrados (MSE) es mínimo al emplear dos componentes principales para describir el comportamiento de la temperatura, siendo $MSE_{\text{mínimo}} = 14.52$.⁹

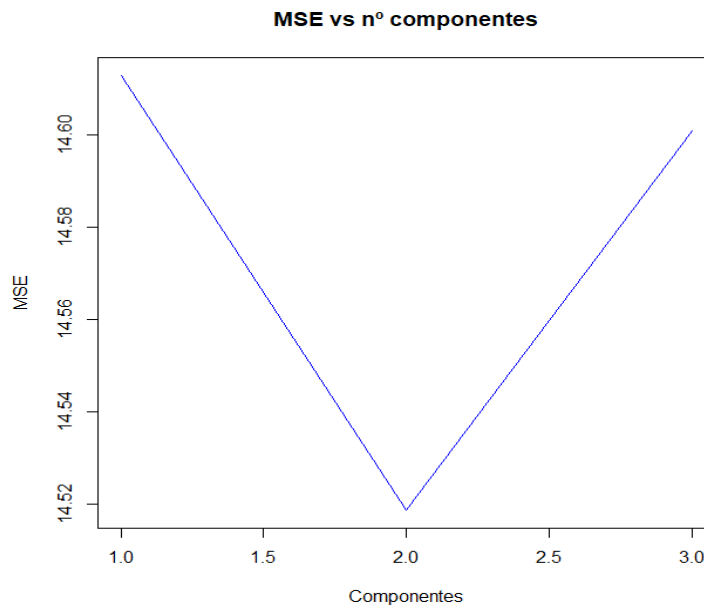


Figura 4-53: Error de los Mínimos Cuadrados (MSE) en función del número de componentes

Por tanto, y en concordancia con lo que arroja el sistema, el número óptimo de componentes principales identificado por *cross validation* es **2**.

El resultado obtenido del análisis anterior es coherente con los obtenidos en el Análisis de Componentes Principales (para todas las variables en conjunto) en el que el número de componentes es 2, a partir de los cuales se obtuvo el Circulo de correlaciones de la **Figura 4-52**. Además, la proporción de la varianza acumulada para CP1 y CP2 es de 95.24%. Por tanto, queda evidenciado que con ambos componentes principales se puede describir el comportamiento de la variable de respuesta (*temperatura*) en función de las observadas (*velocidad y dirección del viento*)

El modelo predictivo obtenido es el siguiente:

$$temperatura = CP1 + CP2 = 4.88e-03(dirección) + 4.87e-03(velocidad) + 2.61e-05(dirección) + 1.7e-01(velocidad)$$

⁹ Error de los Mínimos Cuadrados (MSE)

El *test-MSE* para las predicciones del modelo se realiza empleando el número de componentes óptimos (no. CP = 2) en el método *Partial Least Squares (PLS)* obteniéndose un valor $MSE_{\text{mínimo}} = 19.97$ a partir de los dos primeros componentes principales obtenidos de la combinación lineal de las variables estudiadas.

Se observa que el modelo tiene un MSE menor (14.52) cuando predice las mismas observaciones con las que se ha entrenado, pero 1.375 veces más alto (19.97) al predecir nuevas observaciones. Esto significa que el modelo no es útil, debido a que el error de los mínimos cuadrados es elevado, entonces se podría decir del ACP que la dirección y velocidad del viento están completamente ligadas a la temperatura. Por lo tanto, no se puede predecir esta (temperatura) en función de las variables indicadas, demostrándose la influencia de esta (temperatura) en la velocidad del viento y dirección.

CONCLUSIONES

- A partir de la información recopilada en 15 estaciones meteorológicas ubicadas al noreste de la provincia Azuay entre 2014 y 2019 se pudo determinar que debe ser depurada ya que presenta errores u omisiones (no se encuentra registrada la información) en las bases de datos, para la cual se consideraron ciertos criterios para depurar.
- A partir de la información documentada y recabada en 15 estaciones meteorológicas ubicadas al noreste de la provincia Azuay entre 2014 y 2019 se construyeron las rosas de los vientos para determinar su comportamiento en cuanto a dirección y velocidad de los mismos, observándose que en la mayoría de los casos los vientos están fuertemente orientados en direcciones próximas al *Este* (90°) siendo más intensos durante el segundo semestre del año y por tanto disminuyendo notablemente los periodos de calma durante esta etapa del año.
- El análisis de los gráficos de temperatura construidos en el software ArcMap 10.4 permitió evidenciar un aumento de 3 °C en 2017 hacia el sureste de la estación meteorológica de Cumbe, mostrándose nuevamente un comportamiento similar en 2019 al *Oeste* y al *Norte* del país.
- El análisis de componentes principales realizado en el software estadístico *RStudio* evidenció que existen dos componentes principales correlacionados entre sí, a través de los cuales se podría describir el comportamiento de la temperatura de la zona con combinaciones lineales de las variables independientes.
- Los círculos de correlaciones de componente principales mostraron que existe una correlación fuerte y positiva entre las variables climatológicas (temperatura, velocidad y dirección del viento) de las estaciones documentadas. En el caso de la temperatura, se observó que solamente la estación Chaucha no presenta correlación respecto al resto a las demás estaciones meteorológicas. Por su parte, los círculos de correlaciones obtenidos para la velocidad del viento presentaron correlaciones fuertes y positivas entre las estaciones las que se congregaron en tres grupos principales, debido, entre otros factores, a su cercanía geográfica y características de la zona donde se encuentran localizadas. En cuanto a la dirección del viento, no se encontró correlación entre los datos muestreados. Por último, el círculo de correlación obtenido para las tres variables en conjunto (temperatura, velocidad y dirección del viento) evidenció que solo la estación Baños no presenta una correlación fuerte y positiva respecto a las demás.
- Para determinar la relación existente entre las variables caso de estudio a partir del Análisis de Componentes Principales se utilizó el método de regresión lineal *Partial Least Squares (PLS)*, obteniéndose un modelo lineal compuesto por la suma de dos componentes principales que se

ajusta a los datos en un 95.24% y por lo tanto el modelo no es adecuado, ya que presenta un MSE de 19.97°C. Sin embargo, la variable de temperatura es muy importante para predecir tanto la dirección como la velocidad del viento, , ya que el viento se origina a partir de la temperatura, en consecuencia existe una correlación fuerte entre la velocidad del viento y el gradiente de temperatura.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Se debería depurar los datos que se obtienen periódicamente de las estaciones meteorológicas con el objetivo de contar con una base de información confiable a partir de la cual realizar los estudios de investigación
- Se recomienda realizar nuevos análisis con más variables independientes relacionadas a la geografía del terreno relativo a cada estación meteorológica entre otras, con el objetivo de contar con un mayor número de éstas que permitan obtener una correlación a través de un modelo matemático
- Realizar un análisis de componentes principales incluyendo a las nuevas variables documentadas con el objetivo de obtener un modelo confiable que permita predecir el comportamiento del clima en la región estudiada.
- Se recomienda continuar retroalimentando la base de datos depurada para tener mayor precisión en los modelos estadísticos de predicción de la temperatura.
- Divulgar los resultados del presente trabajo para que sirva como una nueva fuente de información a futuras investigaciones, dando respuesta al problema de investigación de presente trabajo.
- Se recomienda realizar una regresión lineal con una serie de tiempo para disminuir el MSE.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. H., Pacheco, K. P., Jiménez, F. R., & Ochoa, G. V. (2018). Análisis Estadístico Descriptivo e Inferencial de la Velocidad y Dirección del viento en la Costa Caribe Colombiana. *Espacios*, 39(19), 1-11.
- Alvarez, E. (2007). *Mediciones de Temperatura, Termómetros e Introducción*. Obtenido de <http://www.fi.uba.ar/laboratorios/lscm/SITIOCON.htm>
- Alvarez, O. (2009). *Curso de estadística aplicada para estudiantes de meteorología*.
- Álvarez, O., Maldonado, J., Montaña, T., & Tenechagua, L. (2019). Análisis Climático de la Velocidad del Viento en la Región Sur del Ecuador. *Revista Politécnica*.
- Andrades, M., & Múñez, C. (2012). *Fundamentos de climatología*. Meteorología y Climatología.
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). *PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/14%20Proyecciones%20de%20Clima%20Futuro%20para%20Ecuador%20en%20base%20a%20IPCC-AR5.pdf>
- ASCE. (2010). *Minimum design loads for building and structures*. Virginia: ASCE/SEI 7-10.
- Barros, J., & Troncoso, A. (2010). *Atlas climatológico del Ecuador*. Quito: QUITO/EPN/2010. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1720>
- Bayón, R., Cabecera, L., & Del Castillo, R. (2009). *Diseño de un parque eólico de 6 MW en Malpica de Bergantiños, La Coruña*. EOI Escuela de Negocios. Retrieved. Obtenido de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20369/proyecto-fin-de-master-diseno-de-un-parque-eolico-de-6-mw-en-malpica-de-bergantinos-la-coruna>
- Bazante, P. (2015). *Análisis de la concentración de contaminantes atmosféricos de origen primario y mixto en relación a la variación de las condiciones meteorológicas en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- BBC. (2013). Obtenido de BBC.

- Bermeo Moyano, H. (2010). *Análisis de Vulnerabilidad del cantón Cuenca*. Cuenca.
- Borges, M., Hastings, F., Rizzo, G., Garcia, G., & Jones, C. (2020). Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en la agricultura de Uruguay. En *Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en la agricultura de Uruguay* (pág. Roma). FAO.
- Bustamante, A. (2021). Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador. *Conservar Patrimonio*, 36, 90-105. doi:<https://doi.org/10.14568/cp2019034>
- Cárdenas, J. (2015). *Viento y ventilación natural en la arquitectura*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Castillo, R., & Johanning, D. (2016). Medición del viento y su aplicación en la ingeniería estructural. *Programa de Ingeniería Estructural*, 1(2).
- Chura, O. (2016). *Estadística Aplicada a la Climatología y Meteorología*.
- CIIFEN. (2014). *Conservación y Manejo de Recursos Naturales*. Guayaquil, Ecuador: Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño.
- Cochancela, J., & Astudillo, P. (2012). *Análisis Energético de Centrales Eólicas*. Cuenca, 7-60: Repositorio Institucional Universidad de Cuenca.
- Córdova, E. (2017). *Evaluación del producto de precipitación diaria TMPA 3B45 V7 para su aplicabilidad en la modelización hidrológica en el Ecuador utilizando diferentes metodologías de corrección de datos*. Escuela Politécnica Nacional.
- Duran Electronica. (2008). *Anemómetro de Hélice*.
- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., & yates, D. (2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades de La Paz y El Alto. *Aqua-LAC*, 5(aGUST, 2016), 1-13.
- FECYT. (2004). *Meteorología y climatología. Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Obtenido de <http://www.fecyt.es/es/publicacion/unidad-didactica-meteorologia-y-climatologia>

- Fitzcarrald, A. (2015). *Aplicación de un Sistema de Información Geográfico para el monitoreo de las condiciones oceanográficas del Fenómeno del Niño*. La Punta.
- GAD Provincial Loja. (21 de Enero de 2013). *Informe Técnico para la instalación y ubicación del “Radar Meteorológico GUAXX y CAXX” en la Provincia de Loja y Azuay*. Obtenido de Compras Publicas Ecuador: www.compraspublicas.gob.ec
- García, K. L. (2017). *Análisis estadístico de velocidades de viento para el cálculo de estructuras*. Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE .
- Garrat, J. R. (1992). *The atmospheric boundary layer, Cambridge Atmos*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- HIDRONAV. (2013). *Manual de procedimientos para la medición y procesamiento del viento en superficie*. Perú: Ministerio de Defensa. Dirección de hidrografía y navegación.
- Holmes, J. (2015). *Wind loading of structures*. CRC Press.
- ICARITO. (2009). *Los vientos y sus movimientos*.
- IDEAM. (2017). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Contaminantes del aire y sus efectos.
- IICA. (2014). *Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales*. San José, Costa Rica.
- INAMHI. (2009). *Anuario Meteorológico 2009*.
- INAMHI. (2013). *Atlas. Hidrológico y meteorológico estudiantil*. INAMHI. Obtenido de https://issuu.com/inamhi/docs/atlas_estudiantil/5
- INEC Panamá. (2006). *Generalidades de la meteorología*. INEC Panamá.
- IPCC. (2007). Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *CAMBIO CLIMÁTICO*, (pág. 5). Ginebra, Suiza.
- Johanning, D. (2019). *Análisis estructural de una nave industrial de acero con diferentes configuraciones de aberturas sujeta a fuerzas de viento*. Costa Rica: Univesidad de Costa Rica.

- Lopez, J. (2019). *Medidas de dispersión*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/medidas-de-dispersion.html>
- Madrid, C. (2013). *Una mirada al problema del Cambio Climático desde la Estadística*. Universidad Complutense de Madrid.
- Mahiques Z., J. L. (2013). La Meteorología: Conceptos básicos al alcance de todos. *3C Empresa. Investigación Y Pensamiento Crítico*, 2(5), 159. Obtenido de <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-empresa/article/view/159>
- Medina, L., Varela, R., & Velásquez, F. (2017). Comparación de la temperatura, precipitación, velocidad media y dirección del viento medidas por dos estaciones meteorológicas, ubicadas en Punta de Piedras, isla de Margarita. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 74(181-182), 61-80.
- Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hira, A., Samali, B., & Cheung, J. (2007). Wind loading on tall buildings. *Electronic Journal of Structural Engineering*.
- Mendoza, G. (2018). *MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO INTEGRADO A UN SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS*. Chiapas: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.
- Muñoz, A. (2010). *Validación y Análisis de Consenso de Modelos de Escenarios de Cambio Proyecto MAE-SCN-PRAA-PACC-INAMHI*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Informe-An%C3%A1lisis-de-Consenso.pdf>
- NIETO BARAJAS, L. E. (2013). *Diplomado en Estadística Aplicada. Módulo 6: Análisis Multivariado*. . Extensión Universitaria y Desarrollo Ejecutivo: ITAM.
- Nilsson, A. (2010). The sodar as a screening instrument: Comparison with cup anemometer measurements and long-term correction studies. *Uppsala University*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- OMM. (1966). *Ampliaciones de los servicios meteorología e hidrología*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Ossandón, R. (2008). *Determinación de la Acción del Viento Sobre las Estructuras en Chile*. Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103268>

- PCE Instruments. (2020). *PCE Instruments*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Peralta, J., Á. L., Barriga, A., Sosa, I., & Delgado, E. (2013). *Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador*. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la Región del Maule, Chile. *Aqua-Lac*, 1(2), 172-184.
- Planas, O. (10 de Diciembre de 2009). *Energía térmica*. Obtenido de Energía nuclear: <https://energia-nuclear.net/energia/energia-termica>
- Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Ramos, S., Magaña, E., & Carrera, J. (2011). *Manual para el manejo de software especializado*.
- Renom, M. (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas*. Estaciones meteorológicas. Unidad de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias-UdelaR.
- Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 44(2), 0-0.
- Saavedra, F. (2008). *Contribución al desarrollo de sensores de temperatura y redes de sensores en tecnología de fibra óptica*. Universidad de Cantabria.
- Salazar, C., & Del Castillo, S. (2018). *FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA*.
- Sancho, J. (2012). *Análisis multivariante. Introducción*. Programa de Formación Continuada. Societat Catalana de Cirurgia.
- Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica* (Vol. 239). Murcia: Universidad de Murcia.
- SensorGo. (2020). *Estaciones Meteorológicas. ¿Qué Son Y Cómo Funcionan?* Obtenido de <https://sensorgo.mx/estaciones-meteorologicas/>
- Serrano, J. (2011). *Regionalización espacial de series climáticas mensuales caso de estudio: Cuenca del río Guayllabamba*. Quito: QUITO/EPN/2011. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2659>

- Tamayo, E. (2014). *Estación de mediciones atmosféricas en la Universidad San Francisco de Quito (EMA) instalación de instrumentación de meteorología física de la estación terrena y evaluación de los tres primeros meses de datos*. Quito: Bachelor's thesis.
- topographihic-map.com. (10 de Mayo de 2020). *topographihic-map.com*. Obtenido de <https://es-ec.topographic-map.com/maps/et97/Cuenca/>
- Valerga, A. (18 de junio de 2021). *Análisis multivariado: aprende a dominar datos y variables*. Obtenido de crehana: <https://www.crehana.com/mx/blog/tech/analisis-multivariado/>
- Valladares, M. (2008). *Caso de estudio: procesamiento de la lámina de precipitación instantánea, diaria y mensual registrada en un dispositivo Data Logger Vitel VX1004*. Quito.
- Venegas, L., & Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV)*.
- Vergara, P. P., Rey, J. M., Osma, G. A., & Ordóñez, G. (2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. *Revista UIS ingenierias*, 13(2), 49-57.
- Vidal, R. (2014). *Evaluacion del recurso eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez*. Chihuahua: Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez.
- Villalta, H., & Sorto, G. (2013). *Implementación de una estación meteorológica*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Vincenti, S. S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el DMQ. *La Granja*, 16(2), 23-47.
- Viteri, F., & Guerrero, A. (2013). *Definición del año meteorológico típico en base a las variables temperatura, precipitación y velocidad del viento, de tres regiones naturales del Ecuador: Costa, Sierra y Oriente*. Ecuador.
- WMO. (2010). *WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization.
- Zlomusica, E. (2003). *Viento*. (D. Springer, Ed.) doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8939-8_119

Anexos

AÑO	ESTACION	DV	TEMP	VELOC
2014	Est2_Julio	227.93	16.24	1.41
	Est2_Agos	206.35	15.87	1.4
	Est2_Sep	208.47	16.22	1.45
	Est2_Oct	209.85	16.19	1.43
	Est2_Nov	200.54	16.73	1.37
	Est2_Dic	215.44	15.85	1.34
	Est3_Julio	111.99	14.17	1.89
	Est3_Agos	134.73	13.39	1.8
	Est3_Sep	166.33	14.53	1.86
	Est3_Oct	165.96	14.23	1.39
	Est3_Nov	114	15.02	1.6
	Est3_Dic	121.03	19.1	1.9
	Est4_Julio	143.3	9	3.35
	Est4_Agos	95.77	9.76	3.28
	Est4_Sep	98.39	9.7	2.98
	Est4_Oct	122.88	10.78	2.97
	Est4_Nov	148.25	10.67	2.5
	Est4_Dic	140.03	10.32	2.47
	Est5_Julio	199.9	10.78	1.59
	Est5_Agos	201.6	10.01	0.98
	Est5_Sep	216.2	11	0.91
	Est5_Oct	225.3	11.45	0.67
	Est5_Nov	2.15	11.02	0.91
	Est5_Dic	212.4	11.45	0.97
	Est6_Julio	102	8.93	0.9
	Est6_Agos	93.7	9.4	0.4
	Est6_Sep	139.9	10.5	1
	Est6_Oct	186.1	10.1	0.8
	Est6_Nov	188.5	9.78	1.2

Est6_Dic	132.4	9.35	0.9
Est7_Julio	113.14	13.02	0.9
Est7_Agos	100.15	13.5	0.5
Est7_Sep	116.31	13.24	1.1
Est7_Oct	136.7	12.99	1.1
Est7_Nov	162.38	12.56	2.5
Est7_Dic	173.33	13.54	3
Est8_Julio	79.18	11.72	1.71
Est8_Agos	110.63	11.49	1.66
Est8_Sep	136.2	10.97	1.6
Est8_Oct	155.23	11.03	1.74
Est8_Nov	157.27	10.93	1.79
Est8_Dic	227.93	11.26	1.77
Est9_Julio	99.36	10.93	2.38
Est9_Agos	105.95	10.28	2.5
Est9_Sep	129.55	11.61	2.42
Est9_Oct	159.29	11.43	1.89
Est9_Nov	181.34	12.53	2.02
Est9_Dic	154.53	12.61	2.13
Est10_Julio	116	10.9	0.8
Est10_Agos	136	11.05	0.8
Est10_Sep	140	11.15	0.9
Est10_Oct	84	11.32	0.9
Est10_Nov	35	11.3	1
Est10_Dic	179	11.04	2
Est11_Julio	253.36	10.33	1.2
Est11_Agos	219.73	10.61	1.1
Est11_Sep	100.84	0	0.9
Est11_Oct	113.84	0	1.2
Est11_Nov	128.61	0	1.4
Est11_Dic	108.62	10.36	1.7
Est12_Julio	61.49	11.15	1.2
Est12_Agos	65.49	9.82	1.3
Est12_Sep	58.12	10.1	1.3

	Est12_Oct	103.14	11.02	1.7
	Est12_Nov	121.22	11.5	1.2
	Est12_Dic	134.45	11.24	0.5
	Est13_Julio	233.39	11.01	0.4
	Est13_Agos	213.48	11.44	0.5
	Est13_Sep	213.05	12.53	0.7
	Est13_Oct	202.15	12.61	0.9
	Est13_Nov	194.95	12.16	0.8
	Est13_Dic	203.77	12.86	1.7
	Est14_Julio	203.1	9.61	1.52
	Est14_Agos	216.7	10.37	1.21
	Est14_Sep	210.1	10.48	0.79
	Est14_Oct	199.9	11.58	0.98
	Est14_Nov	201.6	11.72	0.71
	Est14_Dic	216.2	11.49	1.07
	Est15_Julio	98.9	16.2	1.141
	Est15_Agos	104.8	15.8	0.836
	Est15_Sep	129.6	16.3	1.156
	Est15_Oct	158.2	17.93	1.367
	Est15_Nov	51.8	16.5	1.305
	Est15_Dic	0	15.8	1.75
2015	Est2_Julio	213.48	16.03	1.3
	Est2_Agos	213.05	16.32	1.39
	Est2_Sep	202.15	16.57	1.43
	Est2_Oct	194.95	16.83	1.18
	Est2_Nov	203.77	16.94	1.28
	Est2_Dic	253.36	17.57	1.56
	Est3_Julio	111.92	14.26	1.73
	Est3_Agos	120.29	14.44	1.9
	Est3_Sep	140.5	14.92	1.99
	Est3_Oct	152.92	15.29	1.59
	Est3_Nov	152.92	15.82	1.72
	Est3_Dic	114.1	16	2.1
	Est4_Julio	95.03	10.5	3.29

Est4_Agos	154.4	10.1	2.6
Est4_Sep	164.1	9.78	2.1
Est4_Oct	164.5	9.35	1.8
Est4_Nov	136.8	8.89	2.78
Est4_Dic	155.9	8.1	3.1
Est5_Julio	196.6	11.45	3.98
Est5_Agos	198.6	11.9	1.81
Est5_Sep	211.2	11.19	1.56
Est5_Oct	279	12	2.17
Est5_Nov	272	0	1.74
Est5_Dic	272	11.12	2.01
Est6_Julio	105.5	17.57	3.1
Est6_Agos	76.5	11.04	3
Est6_Sep	122.8	11.63	2.1
Est6_Oct	160.7	11.1	1.3
Est6_Nov	168.9	10.98	1.8
Est6_Dic	159	16.37	1.5
Est7_Julio	138.86	16	0.8
Est7_Agos	106.45	16.5	1.8
Est7_Sep	133.84	16.5	1.7
Est7_Oct	124.36	16.2	2.1
Est7_Nov	150.64	15.92	0.9
Est7_Dic	172.99	14.94	1.5
Est8_Julio	220.28	10.35	2
Est8_Agos	215.42	10.68	1.8
Est8_Sep	206.68	10.88	1.6
Est8_Oct	204.86	10.78	0.5
Est8_Nov	299	10.82	0
Est8_Dic	78	10.89	1
Est9_Julio	97.39	11.34	2.24
Est9_Agos	94.66	11.4	2.68
Est9_Sep	117.76	11.98	2.44
Est9_Oct	151.73	12.41	1.98
Est9_Nov	171.64	13.09	2

Est9_Dic	111.02	12.96	2.59
Est10_Julio	211	12.34	2.5
Est10_Agos	208	12.6	2
Est10_Sep	192	12.49	2
Est10_Oct	232	11.38	1.5
Est10_Nov	230	11.64	1.2
Est10_Dic	245	11.44	1.5
Est11_Julio	140.3	11.04	3.6
Est11_Agos	144.9	11.63	1.9
Est11_Sep	137.7	11.1	1.2
Est11_Oct	129.1	10.98	0.6
Est11_Nov	140.6	11.15	1.2
Est11_Dic	82.99	9.82	1.2
Est12_Julio	88.04	11	2.6
Est12_Agos	66.89	11.67	1.8
Est12_Sep	79.18	11.44	1.7
Est12_Oct	110.63	11.52	1.7
Est12_Nov		11.87	1.4
Est12_Dic	185.9	11.32	0.8
Est13_Julio	107.31	11.89	2.3
Est13_Agos	61.49	11.9	1.9
Est13_Sep	65.49	12.1	1
Est13_Oct	58.12	12.34	1
Est13_Nov	147.3	12.08	1.3
Est13_Dic	152.9	12.08	0.7
Est14_Julio	0	9.12	2.70
Est14_Agos	0	10.33	2.49
Est14_Sep	0	10.61	2.06
Est14_Oct	196.6	0	2.67
Est14_Nov	198.6	0	2.01
Est14_Dic	211.2	0	0.85
Est15_Julio	76	0	2.812
Est15_Agos	71	0	1.133
Est15_Sep	101.9	0	1.086

	Est15_Oct	160.3	3.8	0.672
	Est15_Nov	193.7	15.9	0.703
	Est15_Dic	120.5	15.6	1.41
2016	Est2_Julio	61.49	10.1	1.34
	Est2_Agos	65.49	10.21	1.45
	Est2_Sep	58.12	11	1.39
	Est2_Oct	103.14	11.24	1.17
	Est2_Nov	121.22	11.88	1.12
	Est2_Dic	134.45	11.75	1.3
	Est3_Julio	100.15	13.92	1.34
	Est3_Agos	116.31	14.3	1.45
	Est3_Sep	136.7	14.32	1.39
	Est3_Oct	162.38	15.27	1.17
	Est3_Nov	173.33	14.78	1.12
	Est3_Dic	165.44	15.31	1.3
	Est4_Julio	154.53	11.23	1.26
	Est4_Agos	108.62	11	1.32
	Est4_Sep	107.31	10.89	1.09
	Est4_Oct	61.49	10.67	1.1
	Est4_Nov	65.49	10.43	1.21
	Est4_Dic	58.12	12.1	1.04
	Est5_Julio	81	7	1.38
	Est5_Agos	89	6.6	1.38
	Est5_Sep	293	5.4	1.99
	Est5_Oct	57	5.1	1.12
	Est5_Nov	288	4.4	0.42
	Est5_Dic	101	5.9	0.61
	Est6_Julio	80	0	1.6
	Est6_Agos	53	0	1.6
	Est6_Sep	305	0	1.3
	Est6_Oct	84	0	1.4
	Est6_Nov	154	0	1.2
	Est6_Dic	11	0	0.6
	Est7_Julio	93	11	0.6

Est7_Agos	80	11.25	0.7
Est7_Sep	69	10.13	1
Est7_Oct	50	9.83	1.4
Est7_Nov	84	9.22	1
Est7_Dic	65	10.49	1
Est8_Julio	290	10.6	0.7
Est8_Agos	302	8.93	0.6
Est8_Sep	73	9.4	1.1
Est8_Oct	82	7.4	1.7
Est8_Nov	97	10.4	2.1
Est8_Dic	107	8.4	2.6
Est9_Julio	97.01	10.89	2.43
Est9_Agos	100.36	11.14	2.5
Est9_Sep	144.84	11.51	2.03
Est9_Oct	171.55	12.69	2.11
Est9_Nov	186.95	12.65	2.24
Est9_Dic	165.72	12.64	1.83
Est10_Julio	19	11.9	0.9
Est10_Agos	101	12	1.5
Est10_Sep	72	10.89	1.3
Est10_Oct	233	12.56	0.5
Est10_Nov	323	13.33	0.8
Est10_Dic	245	12.5	1.1
Est11_Julio	100.84	15.99	0.6
Est11_Agos	113.84	15.91	0.9
Est11_Sep	128.61	15.91	0.9
Est11_Oct	108.62	15.91	1
Est11_Nov	66.89	15.91	0.5
Est11_Dic	79.18	15.91	0.7
Est12_Julio	100.36	13.2	1.66
Est12_Agos	144.84	15.51	1.6
Est12_Sep	171.55	15.5	1.74
Est12_Oct	186.95	14.4	1.79
Est12_Nov	165.72	14.6	1.77

	Est12_Dic	167.18	14.2	1.85
	Est13_Julio	164.5	0	0.2
	Est13_Agos	136.8	14.5	1.3
	Est13_Sep	155.9	15.3	1
	Est13_Oct	102.89	15.2	1
	Est13_Nov	99.36	15.3	2.6
	Est13_Dic	105.95	11.7	2.8
	Est14_Julio	99.36	9.2	1.00
	Est14_Agos	105.95	9.3	1.20
	Est14_Sep	129.55	10.4	0.70
	Est14_Oct	159.29	11.2	0.50
	Est14_Nov	181.34	11.5	0.40
	Est14_Dic	154.53	10.8	1.80
	Est15_Julio	164.5	9	0.74
	Est15_Agos	136.8	9.76	0.40
	Est15_Sep	155.9	9.7	0.92
	Est15_Oct	102.89	10.78	1.02
	Est15_Nov	99.36	10.67	1.33
	Est15_Dic	105.95	10.32	0.67
2017	Est2_Julio	206.17	16.23	1.37
	Est2_Agos	209.83	16.1	1.35
	Est2_Sep	204.22	15.91	1.48
	Est2_Oct	212.4	16.39	1.3
	Est2_Nov	212.6	16.5	1.45
	Est2_Dic	210.6	15.34	1.25
	Est3_Julio	106.45	13.25	1.83
	Est3_Agos	133.84	14.11	1.99
	Est3_Sep	124.36	14.71	1.63
	Est3_Oct	150.64	15.03	1.75
	Est3_Nov	172.99	14.96	1.9
	Est3_Dic	162.52	15.54	1.67
	Est4_Julio	71	13.33	1.27
	Est4_Agos	55	12.5	1.04
	Est4_Sep	128	13.5	1.01

Est4_Oct	19	13	0
Est4_Nov	86	12.56	0
Est4_Dic	291	12.5	0
Est5_Julio	279	14.6	3.27
Est5_Agos	285	14.2	5.96
Est5_Sep	274	13.9	4.38
Est5_Oct	281	13.9	4.31
Est5_Nov	281	14.5	3.40
Est5_Dic	276	15.3	1.1
Est6_Julio	263	15.3	1.4
Est6_Agos	275	15.2	1.2
Est6_Sep	273	15.3	1.7
Est6_Oct	285	11.7	1.9
Est6_Nov	294	11.8	2
Est6_Dic	306	11.1	1.8
Est7_Julio	272	11.79	2.1
Est7_Agos	96	10.18	1.7
Est7_Sep	32	11.25	4.6
Est7_Oct	236	11.77	2.8
Est7_Nov	163	0	3.8
Est7_Dic	152	12.55	3
Est8_Julio	279	15.3	2.7
Est8_Agos	276	15.2	2.3
Est8_Sep	95	15.3	1.7
Est8_Oct	302	11.7	1.6
Est8_Nov	96	11.8	1
Est8_Dic	71	11.1	1.8
Est9_Julio	88.19	10.18	2.56
Est9_Agos	126.66	11.25	2.28
Est9_Sep	124.65	11.77	2.4
Est9_Oct	0	0	0
Est9_Nov	173.49	12.55	1.99
Est9_Dic	172.06	12.68	2.06
Est10_Julio	97	10.4	2.7

Est10_Agos	92	0	2.1
Est10_Sep	72	0	1.4
Est10_Oct	240	0	1.1
Est10_Nov	244	0	1.1
Est10_Dic	262	0	1.2
Est11_Julio	167.11	14.71	7.4
Est11_Agos	134.45	15.03	1.9
Est11_Sep	124.98	14.96	3
Est11_Oct	107.31	15.54	3.4
Est11_Nov	44.87	14.67	3.3
Est11_Dic	100.29	15.51	3
Est12_Julio	126.66	11.7	1.8
Est12_Agos	124.65	11.8	1.6
Est12_Sep	0	11.1	0.5
Est12_Oct	173.49	11	0
Est12_Nov	172.06	11.25	1.8
Est12_Dic	173.06	11	1.3
Est13_Julio	73.28	9.22	3.5
Est13_Agos	70.62	10.49	2.7
Est13_Sep	106.94	10.4	1.4
Est13_Oct	140.3	11.32	1.9
Est13_Nov	149.97	12.32	1.7
Est13_Dic	130.9	13.32	0.6
Est14_Julio	227.93	5.1	3.70
Est14_Agos	206.35	4.4	1.80
Est14_Sep	208.47	5.9	0.00
Est14_Oct	209.85	6	1.70
Est14_Nov	200.54	6.8	1.10
Est14_Dic	215.44	7.2	0.90
Est15_Julio	111.99	10.36	0.586
Est15_Agos	134.73	11.23	2.5
Est15_Sep	166.33	10.9	0.609
Est15_Oct	165.96	9.9	2.516
Est15_Nov	114	10.4	1.977

	Est15_Dic	121.03	9.7	1.742
2018	Est2_Julio	203.1	16.2	1.4
	Est2_Agos	216.7	15.8	1.7
	Est2_Sep	210.1	16.3	1.6
	Est2_Oct	199.9	17.93	1.5
	Est2_Nov	201.6	16.5	1.3
	Est2_Dic	216.2	15.8	1.3
	Est3_Julio	98.9	13.9	1.86
	Est3_Agos	104.8	13.9	1.71
	Est3_Sep	129.6	14.5	1.66
	Est3_Oct	158.2	15.3	1.6
	Est3_Nov	51.8	15.2	1.74
	Est3_Dic	0	15.3	1.79
	Est4_Julio	99	9	2.4
	Est4_Agos	295	9.76	2.6
	Est4_Sep	290	9.7	2.2
	Est4_Oct	288	10.78	1.4
	Est4_Nov	287	10.67	1.2
	Est4_Dic	285	10.32	2
	Est5_Julio	50	11.25	0.6
	Est5_Agos	333	10.19	1.3
	Est5_Sep	75	10.6	2.9
	Est5_Oct	70	8.93	5.1
	Est5_Nov	348	9.4	4.4
	Est5_Dic	60	10.36	5.2
	Est6_Julio	7	10.4	0.9
	Est6_Agos	61	11.32	1.4
	Est6_Sep	299	10.67	1.4
	Est6_Oct	93	12.56	0.1
	Est6_Nov	216.2	12.44	0.9
	Est6_Dic	225.3	11.5	1.1
	Est7_Julio	216.7	12.5	1
	Est7_Agos	210.1	12.32	1.1
Est7_Sep	199.9	11.79	1.5	

Est7_Oct	201.6	10.18	0.7
Est7_Nov	216.2	11.25	0.7
Est7_Dic	225.3	11.77	1.3
Est8_Julio	75	10.4	0.5
Est8_Agos	306	11.32	0.9
Est8_Sep	78	11.32	1.3
Est8_Oct	301	15.51	1
Est8_Nov	216.2	15.5	0.8
Est8_Dic	225.3	14.4	0.7
Est9_Julio	102	10.7	2.4
Est9_Agos	93.7	10.7	2.6
Est9_Sep	139.9	11.5	2.2
Est9_Oct	186.1	12.6	2
Est9_Nov	188.5	13	1.7
Est9_Dic	132.4	12.3	2.1
Est10_Julio	261	12.89	0.8
Est10_Agos	250	13.5	1.2
Est10_Sep	284	14.5	1.4
Est10_Oct	266	15.3	1.5
Est10_Nov	255	15.2	1.4
Est10_Dic	272	15.3	1.4
Est11_Julio	104.4	14.5	1.5
Est11_Agos	134.54	14.5	1
Est11_Sep	145.6	10.36	0.9
Est11_Oct	220.4	11.23	0.8
Est11_Nov	189.6	10.9	1
Est11_Dic	108.62	9.9	0.9
Est12_Julio	121.22	10.1	0.9
Est12_Agos	134.45	10.21	1.6
Est12_Sep	82.51	11	1.9
Est12_Oct	156.15	11.24	1.1
Est12_Nov	209.88	11.88	1.8
Est12_Dic	346	11.75	2.2
Est13_Julio	65.49	16.03	1.4

	Est13_Agos	58.12	16.32	0.5
	Est13_Sep	103.14	16.57	0.9
	Est13_Oct	121.22	16.83	1.8
	Est13_Nov	134.45	16.94	2.5
	Est13_Dic	82.51	17.57	1.5
	Est14_Julio	213.48	14.26	1.90
	Est14_Agos	213.05	14.44	1.90
	Est14_Sep	202.15	14.92	1.20
	Est14_Oct	194.95	15.29	1.00
	Est14_Nov	203.77	15.82	2.20
	Est14_Dic	253.36	16	1.20
	Est15_Julio	111.92	6.6	1.156
	Est15_Agos	120.29	7.2	1.07
	Est15_Sep	140.5	7.4	0.633
	Est15_Oct	152.92	7	0.727
	Est15_Nov	152.92	6.6	1.094
	Est15_Dic	114.1	5.4	1.164
2019	Est2_Julio	0	0	1.3
	Est2_Agos	0	0	1.3
	Est2_Sep	0	0	1.3
	Est2_Oct	196.6	3.8	1.2
	Est2_Nov	198.6	15.9	1.3
	Est2_Dic	211.2	15.6	1.2
	Est3_Julio	76	9.83	1.9
	Est3_Agos	71	9.22	2
	Est3_Sep	101.9	10.49	1.8
	Est3_Oct	160.3	10.4	1.6
	Est3_Nov	193.7	11.32	0.5
	Est3_Dic	120.5	11.3	0
	Est4_Julio	305	7.4	2.34
	Est4_Agos	285	10.4	0.9
	Est4_Sep	299	8.4	1.1
	Est4_Oct	303	7.9	1.6
Est4_Nov	296	8.4	2.8	

Est4_Dic	298	10	1.5
Est5_Julio	200.54	9.3	2.6
Est5_Agos	215.44	10.4	2.9
Est5_Sep	210.24	10.78	3
Est5_Oct	220.28	10.45	1
Est5_Nov	215.42	10.76	1
Est5_Dic	206.68	11.19	1.2
Est6_Julio	0	13.6	4.7
Est6_Agos	0	12.02	3.9
Est6_Sep	196.6	11.99	3.4
Est6_Oct	198.6	11.5	3.2
Est6_Nov	200.34	11.02	2.4
Est6_Dic	189.3	11.1	1.7
Est7_Julio	0	11.5	5.8
Est7_Agos	0	10.45	0.4
Est7_Sep	196.6	11.89	3.5
Est7_Oct	198.6	11.77	1.4
Est7_Nov	0	10.33	1.6
Est7_Dic	0	10.32	1.5
Est8_Julio	0	15.2	3.3
Est8_Agos	0	15.3	3.5
Est8_Sep	196.6	11.7	2.7
Est8_Oct	198.6	11.8	3
Est8_Nov	0	11.1	1.8
Est8_Dic	0	11	1.3
Est9_Julio	105.5	10.7	2.4
Est9_Agos	76.5	10.4	2.7
Est9_Sep	122.8	11.6	2.4
Est9_Oct	160.7	11.8	1.9
Est9_Nov	168.9	12.6	1.8
Est9_Dic	159	13	1.9
Est10_Julio	147	9.83	4.6
Est10_Agos	123	9.22	3.6
Est10_Sep	119	10.49	2.7

Est10_Oct	162	10.4	2.7
Est10_Nov	145	11.32	2.1
Est10_Dic	123	11.5	1.5
Est11_Julio	134.45	11.5	5.5
Est11_Agos	82.51	10.8	4.8
Est11_Sep	156.15	6.6	5.1
Est11_Oct	209.88	7.2	3.5
Est11_Nov	200.33	7.4	3
Est11_Dic	189.32	7	2.3
Est12_Julio	80	14.21	1.7
Est12_Agos	99	15.21	1.2
Est12_Sep	222	12.34	0.7
Est12_Oct	244	11.45	0.9
Est12_Nov	61	11.6	1.1
Est12_Dic	102	13.21	1.02
Est13_Julio	66.89	14.2	2.8
Est13_Agos	79.18	13.76	3
Est13_Sep	110.63	15.43	2.3
Est13_Oct	136.2	14.7	1.7
Est13_Nov	155.23	13.4	2.1
Est13_Dic	157.27	14.65	2.3
Est14_Julio	61.49	14.23	1.20
Est14_Agos	65.49	13.24	1.10
Est14_Sep	58.12	12.34	1.70
Est14_Oct	103.14	14.5	1.60
Est14_Nov	121.22	14.67	0.70
Est14_Dic	134.45	13.54	0.40
Est15_Julio	100.15	0	6.445
Est15_Agos	116.31	0	3.594
Est15_Sep	136.7	0	2.633
Est15_Oct	162.38	0	3.422
Est15_Nov	173.33	0	2.664
Est15_Dic	165.44	0	1.695