

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA
PRECIPITACIÓN DURANTE LA ESTACIÓN DE VERANO EN LA
PROVINCIA DE CANDARAVE, DEPARTAMENTO DE TACNA
PERIODO (1965 – 2010)”**

Presentada por:

Amanda Yolanda Lapa Pocomucha

Trabajo monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Lima - Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS
“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA
PRECIPITACIÓN DURANTE LA ESTACIÓN DE VERANO EN LA
PROVINCIA DE CANDARAVE, DEPARTAMENTO DE TACNA
PERIODO (1965 – 2010)”**

Presentada por:

AMANDA YOLANDA LAPA POCOMUCHA

Trabajo monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente Jurado:

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
PRESIDENTE

M. Sc. Eusebio Cisneros Tarmeño
MIEMBRO

Mg. Sc. Victoria Calle Montes
MIEMBRO

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
ASESOR

DEDICATORIA

*Con todo mi cariño y mi amor:
A mis padres Máximo y Lucila,
a mi esposo Cayo, a mis hijos
Katherine, Jazmín, Gian Franco
y Camila por su apoyo incondicional
en la realización de la presente tesis.*

AGRADECIMIENTO

- Al Dr. Ever Menacho Casimiro por brindarme el apoyo en la elaboración de la presente tesis.
- Al M. Sc. Eusebio Cisneros Tarmeño por sus palabras de aliento.
- A la Mg. Sc. Victoria Calle Montes, por su revisión y sugerencias.
- De manera muy especial al M.Sc. Cayo Ramos por su apoyo y sugerencias durante la elaboración de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. LA PRECIPITACIÓN	3
2.1.1. Medición de la precipitación	3
2.1.2. Origen de la precipitación.....	4
2.1.3. Variación temporal de la precipitación.....	5
2.1.4. Variación espacial de la precipitación	6
2.1.5. La intensidad de la lluvia y duración de la lluvia	6
2.1.6. Determinación de la lluvia media en una cuenca	7
2.1.7. Lluvia Orográfica.....	7
2.1.8. Circulación General de la Atmósfera	10
2.2. CICLO ANUAL DE LA CIRCULACION ATMOSFERICA REGIONAL EN AMERICA DEL SUR.....	11
2.3. DISTRIBUCION CLIMATOLOGICA DE LAS ZONAS CONVECTIVAS	13
2.4. CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA ASOCIADO A LAS PRECIPITACIONES EN NIVELES BAJOS (500hPa).....	14
2.5. TORMENTAS	16
2.5.1. Definición	16
2.5.2. Formación de tormentas	17
2.5.3. Ciclo de vida de una tormenta ordinaria.....	19
2.5.4. Tipos de tormentas.....	23
2.5.5. Frentes.....	25
2.5.6. Distribución anual de las tormentas sobre la superficie terrestre	29
III. DESARROLLO DEL TEMA	31
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	31

3.2. MATERIALES	32
3.2.1. Información Meteorológica	32
3.3. METODOLOGIA.....	33
3.3.1. Análisis Exploratorio de Datos	33
3.3.2. Análisis de tendencia y quiebres.....	34
3.3.3. Análisis de Doble Masa	34
3.3.4. Cálculo de la frecuencia de ocurrencia de lluvias	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. CLIMATOLOGÍA DIARIA Y MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN	39
4.2. CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL.....	44
4.3. FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MENSUAL.	49
4.4. FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MENSUAL CON ACUMULADOS MAYORES A CERO (0)	54
4.5. VARIACIÓN ANUAL DE LA FRECUENCIA DIARIA MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LOS MESES DE VERANO.....	55
4.6. ANÁLISIS SINÓPTICO CLIMÁTICO DE LA OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES DURANTE LA ESTACIÓN DE VERANO.....	58
4.7. ANÁLISIS SINÓPTICO DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA EN AMÉRICA DEL SUR, VORTICIDAD RELATIVA Y DIVERGENCIA EN DIFERENTES NIVELES, DURANTE EL VERANO.....	63
4.8. ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA A NIVEL DE SUPERFICIE PARA EL VERANO (ENERO, FEBRERO Y MARZO), ALTA PRESIÓN (APS) Y BAJA PRESIÓN, LA ZCIT, ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL Y ZONA DE CONVERGENCIA DEL ATLÁNTICO SUR ZCAS	71
4.9. ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR.....	73
V. CONCLUSIONES	76
VI. RECOMENDACIONES	78
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
VIII. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones meteorológicas utilizadas para el presente estudio	32
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitación Orográfica.	8
Figura 2: Climas Monzónicos Americanos.	10
Figura 3: Distribución horizontal de la altitud de la cordillera de los Andes.	12
Figura 4: Sección Vertical A'B' en 15° S.	13
Figura 5: Climatología de la circulación atmosférica (periodo: 1971-2000) en Sudamérica a 500 hPa (aproximadamente a 5,5 km de altitud): a) en verano y b): en invierno.	15
Figura 6: Gráfico representativo de la distribución de cargas eléctricas en el Cumulonimbus (Cb)	17
Figura 7: Desarrollo del Cumulonimbus (Cb).	18
Figura 8: Fase de crecimiento.	20
Figura 9: Periodo de Madurez.	21
Figura 10: Fase final.	22
Figura 11: Los tres estados del Cumulonimbus (Cb).	22
Figura 12: Cumulonimbus.	24
Figura 13: Frente Frío.	26
Figura 14: Frente Caliente	27
Figura 15: Frente Ocluido	27
Figura 16: Chorro Polar y Frente Polar	28
Figura 17: Desarrollo de un complejo convectivo de mesoescala sobre EE.UU.	30
Figura 18: Frecuencia en número de días con tornado sobre la superficie terrestre.	30
Figura 19: Zona de estudio y estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.	31
Figura 20: Diagrama de la metodología.	33
Figura 21: Análisis de Doble Masa.	35

Figura 22: Climatología diaria mensual de la precipitación (1965-1997).....	40
Figura 23: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010).....	41
Figura 24: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010).....	42
Figura 25: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010)	43
Figura 26: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1965-1997).....	45
Figura 27: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1964-2010).....	46
Figura 28: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1964-2010).....	47
Figura 29: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1971-2010).....	48
Figura 30: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1965-1997.	50
Figura 31: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1964-2010.	51
Figura 32: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1964-2010.	52
Figura 33: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1971-2010.	53
Figura 34: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).....	54
Figura 35: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).....	54
Figura 36: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).....	55
Figura 37: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).....	55
Figura 38: Variación anual de la frecuencia de precipitación diaria mensual.....	57
Figura 39: Variación anual de la frecuencia de precipitación diaria mensual.....	58
Figura 40: Cartas de superficie: Presión Reducida a nivel medio del mar. ENE, FEB, MAR.....	60
Figura 41: Cartas de altura: Humedad relativa ponderada entre 850 y 200 hPa y el viento total a 200 hPa ENE, FEB, MAR.	62
Figura 42: Cartas de altura: Humedad relativa ponderada entre 850 y 200 hPa y el viento total a 200 hPa. JULIO	62
Figura 43: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). ENERO (1980-2010	63

Figura 44: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la Vorticidad relativa (color). FEBRERO (1980-2010)	64
Figura 45: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). MARZO (1980-2010).....	65
Figura 46: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). ENERO (1980-2010	66
Figura 47: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). FEBRERO (1980-2010)	67
Figura 48: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). MARZO (1980-2010).....	68
Figura 49: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. ENERO.....	69
Figura 50: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. FEBRERO.....	70
Figura 51: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. MARZO.....	71
Figura 52: Esquema de circulación atmosférica a nivel superficial en América de Sur para el verano austral (diciembre, enero y febrero). HP y BP representan los centros de alta y bajas presiones, respectivamente, ZCIT, la Zona de Convergencia Intertropical y ZCAS, la Zona de Convergencia del Atlántico Sur.....	72
Figura 53: Esquema de circulación atmosférica a nivel superficial en América de Sur para el invierno austral (junio, julio y agosto)	73
Figura 54: Comparación entre la variación anual de la frecuencia diaria-mensual y el Índice de Oscilación del Sur. Estación Sitajara	74
Figura 55: Comparación entre la variación anual de la frecuencia diaria-mensual y el Índice de Oscilación del Sur. Estación Candarave	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Climatología - Precipitación media diaria. Estación de Ilabaya. Período: 1964-1997	82
Anexo 2: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de Sitajara. Período: 1964-2010	83
Anexo 3: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de Candarave. Período: 1964-2010	84
Anexo 4: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de ca Irani. Período: 1971-2010	85
Anexo 5: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estacion de Ilabaya. Período: 1964-1997	86
Anexo 6: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Sitajara. Período: 1964-2010	87
Anexo 7: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Candarave. Período: 1964-2010	88
Anexo 8: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Cairani. Período: 1971-2010	89
Anexo 9: Distribución de frecuencia – estación de Ilabaya, mes de Enero (1965- 2010).....	90
Anexo 10: Tabla de distribución de frecuencia. Estación Ilabaya. Mes de febrero (1965-1997)	90
Anexo 11: Tabla de distribución de frecuencia. Estación Ilabaya. Mes de marzo (1965-1997)	90
Anexo 12: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Enero (1964-2010)	90
Anexo 13: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Febrero (1964-2010)	91

Anexo 14: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Marzo (1964-2010)	91
Anexo 15: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Enero (1964-2010)	91
Anexo 16: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Febrero (1964-2010)	91
Anexo 17: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Marzo (1964-2010)	92
Anexo 18: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de enero (1971-2010)	92
Anexo 19: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de Febrero (1971-2010)	92
Anexo 20: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de Marzo (1971-2010)	92
Anexo 21: Distribución de frecuencia de precipitación >0 mm	93

RESUMEN

El presente trabajo analiza el comportamiento diario de la precipitación desde 1965 hasta 2010 en la provincia de Candarave, con el propósito analizar su comportamiento diario y mensual, sus características pluviométricas y realizar un análisis estadístico de la frecuencia de ocurrencias de las precipitaciones; para tener una idea clara del inicio de la temporada de lluvias, identificar el periodo de tiempo con las mayores y menores precipitaciones y conocer la frecuencia con la que se presentan. Para ello se utilizaron 04 estaciones meteorológicas, las cuales corresponden al período 1965-2010, Fuente SENAMHI.

El estudio de la precipitación es muy importante en la evaluación y predicción de eventos que pueden convertirse en amenaza natural en el área de estudio, puesto que es uno de los principales factores desencadenantes de los procesos de erosión, desbordamiento e inundaciones. Para ello, es necesario la información sobre la magnitud de las precipitaciones ocurridas en el pasado y sobre todo los fenómenos meteorológicos que las producen.

La climatología mensual es importante, pero la más útil para la toma de decisiones, son las de mayor resolución temporal, como las diarias, pentadales o decadales. Sabemos que el agricultor para el buen manejo de su cultivo necesita conocer por ejemplo la cantidad de días con ocurrencias de lluvias para cada mes, el almacenamiento de agua de las represas. Por ello, el presente estudio será de gran utilidad para muchas actividades que realiza el hombre; entre ellas tenemos la Agricultura y el turismo, etc.

La metodología consiste en ordenar la data por mes en forma diaria de un record de años que van de 1964 – 2010 (estación Sitajara), 1965-2010 (estación Candarave); 1965-1997 (estación Ilabaya) y de 1971-2010 (estación Cairani). Esta disposición nos permite calcular la media diaria, los máximos diarios de varios años para un mes, así como clasificar la lluvia en intervalos y obtener la distribución de frecuencias diarias mensuales de precipitaciones.

Palabras Claves: Precipitación, comportamiento temporal, Tacna, Anticiclón del Pacífico Sur, Frecuencia de lluvia, tormentas, frentes, vorticidad relativa, divergencia.

ABSTRACT

The present work analyzes the daily behavior of precipitation from 1965 to 2010 in the province of Candarave, with the purpose of analyzing its daily and monthly behavior, its rainfall characteristics and performing a statistical analysis of the frequency of occurrences of rainfall; To have a clear idea of the beginning of the rainy season, identify the period of time with the highest and lowest rainfall and know the frequency with which they occur. To this end, 04 meteorological stations were used, which correspond to the period 1965-2010, source SENAMHI.

The study of precipitation is very important in the evaluation and prediction of events that can become a natural threat in the study area, since it is one of the main triggers of the processes of erosion, overflow and floods. For this, information is needed on the magnitude of the rainfalls that occurred in the past and especially the meteorological phenomena that produce them.

The monthly climatology is important, but the most useful for making decisions, are those with higher temporal resolution, such as daily, pentadales or decádales. We know that the farmer for the good management of his crop needs to know for example the number of days with occurrences of rains for each month, the water storage of the dams. Therefore, the present study will be very useful for many activities carried out by man; among them we have Agriculture and tourism, etc.

The methodology consists of ordering the data per month on a daily basis from a record of years that go from 1964 - 2010 (Sitajara station), 1965-2010 (Candarave station); 1965-1997 (Ilabaya station) and from 1971-2010 (Cairani station). This disposition allows us to calculate the daily average, the daily maximums of several years for a month, as well as to classify the rainfall into intervals and obtain the distribution of monthly daily frequencies of rainfall.

Key words: Precipitation, temporal behavior, Tacna, South Pacific anticyclone, rain frequency, storms, fronts, relative vorticity, divergence.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural abundante en la naturaleza, pero de distribución irregular, tanto en el espacio como en el tiempo; es un factor indispensable para desarrollo económico y social de las sociedades y del mundo. El conocimiento sobre el agua es un elemento fundamental en la planificación de estructuras para su aprovechamiento y protección.

Toda variación en el sistema climático influye en las actividades del ser humano, especialmente en las productivas como por ejemplo la agricultura, para la subsistencia de una población. Por ello, mientras que para algunas regiones del mundo es motivo de preocupación, para otros (por ejemplo, los países con economías e infraestructuras agrícolas más frágiles) es una necesidad la comprensión de los posibles impactos del cambio climático y su variabilidad.

Sabemos que la lluvia es uno de los elementos meteorológicos más variables y discontinuos que difiere considerablemente de una región a otra. Es necesario conocer la forma como se distribuye anualmente y durante los meses del año, el cual se conoce como “Régimen Pluviométrico”. Debido a su vital importancia en las actividades humanas y sobre todo en la agricultura, el régimen pluviométrico es el más significativo que el promedio anual.

La precipitación en el Perú está condicionada a una serie de factores climáticos que modifican generalmente su distribución. Por otro lado, las anomalías de la circulación general de la atmosfera repercuten en la frecuencia e intensidad de las lluvias, motivando que en algunos años sean excesivas y en otras escasas. (Valdivia Ponce, 2010)

El presente estudio tiene como aporte principal conocer el comportamiento climático de la precipitación y su variación temporal en la provincia de Candarave y explicar las razones por las cuales se presentaron déficit de lluvias en la estación de verano Enero – Marzo 2010. Este hecho, afecta fuertemente a la economía de la región, principalmente en la agricultura.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Determinar el comportamiento Climático diario y mensual de la precipitación en el Periodo 1965 – 2010, durante la estación de verano, en la provincia de Candarave, departamento de Tacna.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analizar la climatología diaria y mensual de la precipitación.
- Analizar la variación climática máxima diaria de la precipitación.
- Calcular la frecuencia de ocurrencia de la precipitación diaria, mensual y anual.
- Determinar índices atmosféricos que afectan las precipitaciones durante la Estación de verano.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, lleva agua dulce a la parte superior de la corteza terrestre y por ende, favorece la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales. La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Es posible inseminar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, acelerando la formación de gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación, aunque estas pruebas no han sido satisfactorias (Chow, 1994).

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). Es así como la precipitación, la cual es generada en la atmósfera depende de la circulación general de la misma (Davies, 2015). Si bien la lluvia es la más frecuente de las precipitaciones, no deben olvidarse los otros tipos: la nevada y el granizo, cada una de estas precipitaciones puede a su vez clasificarse en diversos tipos.

2.1.1. Medición de la precipitación

Los valores de la precipitación, para que sean válidos, deben ser científicamente comparables.

La precipitación se registra en los pluviómetros y los pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad. Estos instrumentos deben ser instalados en locales apropiados donde no se produzcan interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas. (Davies, 2015).

La precipitación pluvial se mide en mm, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno (l/m^2).

Desde 1960 se está popularizando cada vez más la medición de la lluvia por medio de un radar meteorológico, que generalmente están conectados directamente con modelos matemáticos que permiten determinar la intensidad de lluvia en una zona y los caudales en tiempo real, en una determinada sección de un río en dicha zona.

2.1.2. Origen de la precipitación

En esencia toda precipitación de agua en la atmósfera sea cual sea su estado (sólido o líquido) se produce por la condensación del vapor de agua contenido en las masas de aire, que se origina cuando dichas masas de aire son forzadas a elevarse y enfriarse. Para que se produzca la condensación es preciso que el aire se encuentre saturado de humedad y que existan núcleos de condensación.

- a. El aire está saturado si contiene el máximo posible de vapor de agua. Su humedad relativa es entonces del 100 por 100. El estado de saturación se alcanza normalmente por enfriamiento del aire, ya que el aire frío se satura con menor cantidad de vapor de agua que el aire caliente. Así, por ejemplo, 1 m^3 de aire a $25\text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, cuyo contenido en vapor de agua sea de 11 g, no está saturado; pero los 11 g lo saturan a $10\text{ }^\circ\text{C}$, y entonces la condensación ya es posible.
- b. Los núcleos de condensación (que permiten al vapor de agua recuperar su estado líquido), son minúsculas partículas en suspensión en el aire: partículas que proceden de los humos o de microscópicos cristales de sal que acompañan a la

evaporación de las nieblas marinas. Así se forman las nubes. La pequeñez de las gotas y de los cristales les permite quedar en suspensión en el aire y ser desplazadas por los vientos. Se pueden contar 500 por cm^3 y, sin embargo, 1 m^3 de nube apenas contiene tres gramos de agua.

Las nubes se resuelven en lluvia cuando las gotitas se hacen más gruesas y más pesadas. El fenómeno es muy complejo: las diferencias de carga eléctrica permiten a las gotitas atraerse; los «núcleos», que a menudo son pequeños cristales de hielo, facilitan la condensación. Así es como las descargas eléctricas se acompañan de violentas precipitaciones. La técnica de la «lluvia artificial» consiste en «sembrar» el vértice de las nubes, cuando hay una temperatura inferior a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, con yoduro de sodio; éste se divide en minúsculas partículas, que provocan la congelación del agua; estos cristales de hielo se convierten en lluvia cuando penetran en aire cuya temperatura es superior a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Davies, 2015).

2.1.3. Variación temporal de la precipitación

Las precipitaciones varían de acuerdo con ciertos ciclos temporales determinados por los movimientos de rotación y traslación terrestres y por la localización astronómica o geográfica del lugar de que se trate. Esos ciclos pueden ser: diarios, mensuales o estacionales o en ciclos anuales, en efecto, siempre hay meses en que las precipitaciones son mayores que en otros. Por ejemplo, en San Francisco, California (Estados Unidos), los meses de mayores precipitaciones se dan entre noviembre y marzo, mientras que, en Miami, Florida los meses de mayor precipitación son de mayo a octubre (Davies, 2015).

Para poder evaluar correctamente las características objetivas del clima, en el cual la precipitación, y en especial la lluvia, desempeña un papel muy importante, las precipitaciones mensuales deben haber sido observadas por un período de por lo menos 20 a 30 años, lo que se llama un período de observación largo.

La variación estacional de las precipitaciones, en especial de la lluvia, define el año hidrológico. Éste da inicio en el mes siguiente al de menor precipitación media de largo

período. Por ejemplo, en San Francisco, el año hidrológico se inicia en agosto, mientras que en Miami se inicia en enero (Davies, 2015).

2.1.4. Variación espacial de la precipitación

La distribución espacial de la precipitación sobre los continentes es muy variada, así existen extensas áreas como los desiertos, donde las precipitaciones son extremadamente escasas, del orden 0 a 200 mm de precipitación por año. En el desierto del Sahara la media anual de lluvia es de apenas algunos mm, mientras que, en las áreas próximas al Golfo de Darién entre Colombia y Panamá, la precipitación anual es superior a 3.000 mm, con un máximo de unos 10 metros (10.000 mm). El desierto de Atacama en el norte de Chile es el área más seca de todos los continentes (Davies, 2015).

La orografía influye fuertemente en las precipitaciones. Una elevación del terreno provoca muy frecuentemente un aumento local de las precipitaciones, al provocar la ascensión de las masas de aire saturadas de vapor de agua (lluvias orográficas).

2.1.5. La intensidad de la lluvia y duración de la lluvia

Estas dos características están asociadas. Para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia disminuye su intensidad media, la formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, con base en los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otros sitios próximos con las características hidrometeorológicas similares. Dicha formulación se conoce como relación Intensidad-Duración-Frecuencia o comúnmente conocidas como curvas IDF.

Las precipitaciones pluviales extremas período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 y hasta 10.000 años, para cada sitio particular o para una cuenca, o la precipitación máxima probable, o PMP, son determinadas con procedimientos estadísticos, con base a extensos registros de lluvia (Davies, 2015).

2.1.6. Determinación de la lluvia media en una cuenca

Las dimensiones de una cuenca hidrográfica son muy variadas y las precipitaciones también varían en el tiempo y en el espacio. Para tomar en cuenta estas diversidades y conocer el comportamiento de las lluvias, así como su magnitud en tales condiciones, es frecuente que en la misma se instalen varias estaciones pluviométricas (Davies, 2015).

Para determinar la precipitación media en la cuenca se elige un período de retorno determinado, se determina la lluvia en cada estación para el periodo de retorno seleccionado y luego se calcula la lluvia media, para esto se utiliza alguno de los procedimientos siguientes: método aritmético, polígonos de Thiessen y método de las isoyetas.

Es común encontrar regiones sin registros o con escasa información, por lo que se debe recurrir a criterios de evaluación regional. La hipótesis de la regionalización es que las lluvias importantes se presentaron en sitios próximos, lo cual genera la ventaja de aprovechar los datos de las estaciones donde si se registraron aquellos eventos.

2.1.7. Lluvia Orográfica

Es el tipo de lluvia producida por el ascenso de una columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña. En su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100%, que origina la lluvia (Figura 1).

Este patrón de onda nubosa se debe al ascenso orográfico de una masa de aire por el accidente geográfico (montaña, isla), produciendo bandas alternantes de humedad condensada e invisible, y frecuentemente puede hacer llover mientras asciende por condensación. (Whiteman, 2000).

La orografía juega un papel importante en la cantidad, intensidad, distribución espacial y duración de la precipitación. Sobre el lado de barlovento se producen la mayor cantidad de precipitaciones, mientras que el lado de sotavento es mucho más seco.



Figura 1: Precipitación Orográfica.

FUENTE: Geografía Argentina

2.1.8 Monzón Sudamericano

La caracterización de la circulación del monzón consiste en reversiones estacionales en la dirección de los vientos, que causan veranos lluviosos e inviernos secos (MORAN Y MORGAN, 1986), lo que solo se verifica en la región Centro Oeste del Brasil y en el Altiplano andino, y no en el resto de América del Sur (Figura 2).

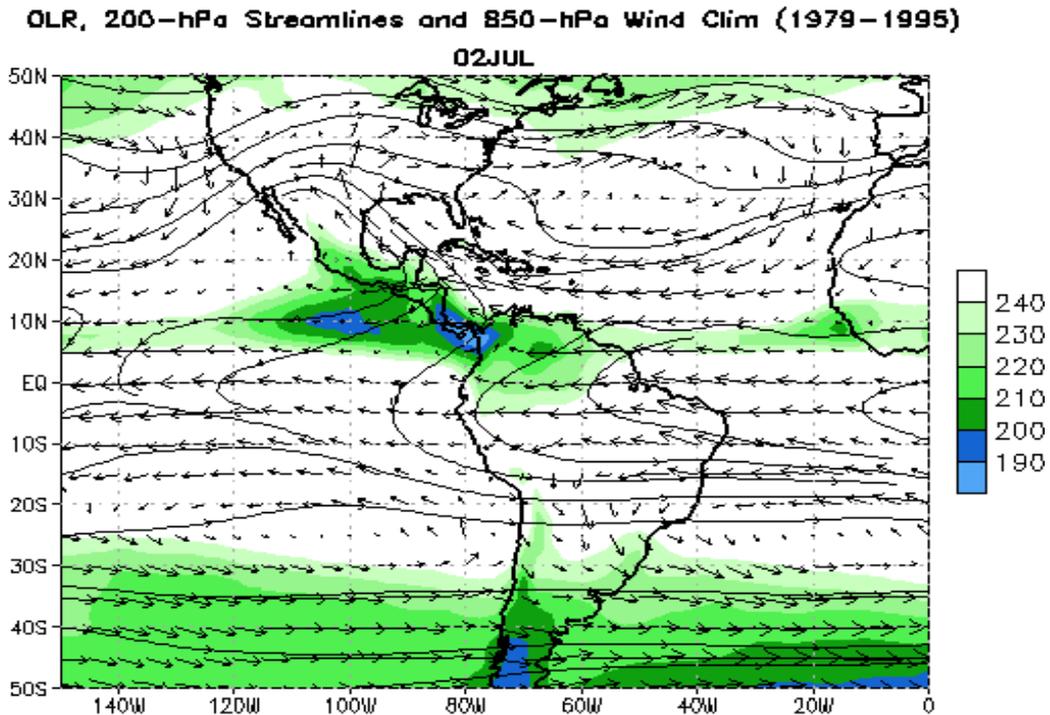
El desarrollo del sistema del monzón se inicia durante la primavera, debido al aumento de la convección profunda sobre el noroeste de la cuenca Amazónica, que avanza en dirección al sureste de Brasil en noviembre cuando ocurre un cambio en la dirección de los flujos de aire del oeste a uno del este a los 200 hPa cerca de los 20°S (GAN, RODRIGUES Y RAO, 2009). El inicio, basado en varios autores y diferentes métodos y técnicas, es identificado en la primera quincena de octubre, el más temprano, o en la primera quincena de noviembre el más tardío. En esa variabilidad parece influir el fenómeno ENOS (MARENGO et al. y sus referencias, 2012).

Entre la primavera y el verano los flujos de noreste de la Alta Subtropical del Atlántico Norte (ASAN) penetran en la región tropical del continente y, en parte por efecto de la Cordillera de los Andes, convergen hacia la llanura central de América del Sur, donde se encuentra la Baja del Chaco (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009). La Baja Térmica del Chaco (BCH) se activa en superficie por el calentamiento convectivo continental aumentando el gradiente de presión con el Atlántico,

generando desde la Alta Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) flujos lentos del Este que desplazándose en superficie llegan a los Andes. El cambio de dirección de los vientos también ocurre concomitantemente con el desplazamiento de la AB que en enero ya se posiciona más al sur, entre Bolivia y el Mato Grosso del Sur (ALVES, 2009).

Las estaciones secas y lluviosa son caracterizadas por la inversión de los vientos zonales al inicio y término de estas: los vientos son del este (oeste) en los bajos (altos) niveles atmosféricos durante la estación seca, y del oeste (del este) en la estación lluviosa (GAN, KOUSKY Y ROPELEWSKY, 2004). O sea, en la estación húmeda los vientos del noroeste de la Amazonia y los estes del océano convergen para la BCH, ascienden en su centro y divergen en los altos niveles atmosféricos del este sobre el continente, suministrando el aire húmedo de la convección tropical profunda que ocurre en la planicie continental a este de la Cordillera (ROMERO et al. 2011). En los altos niveles, debido al posicionamiento de la Alta de Bolivia a 200 hPa, el vapor de agua del este del continente logra superar la barrera de los Andes y transportar humedad hacia el altiplano del norte chileno.

Los máximos totales de precipitaciones entre los meses de diciembre y febrero sobre la mayor parte de la región tropical de América del Sur ocurren con el establecimiento de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), que representa al monzón bien configurado. La ZCAS es un escurrimiento convergente de humedad en la baja atmósfera que se presenta como una faja de nubosidad y lluvias con orientación noroeste-sureste, que se extiende desde la Amazonia hacia el sureste de Brasil y también con frecuencia sobre el océano Atlántico Subtropical (CARVALHO y JONES, 2009). El flujo transiente de humedad de la Amazonia es importante para la mantención de la ZCAS y su localización es influenciada por la topografía en el centro-este de Brasil, que a su vez influencia fuertemente la posición e intensidad de la AB (Vera et al. 2006a). Aunque la ZCAS sea observada en todos los veranos, hay variabilidad en su organización espacial, intensidad de las lluvias y circulación, que influyen en la ocurrencia de eventos extremos como anegamientos y deslizamientos de tierra. La ausencia de las ZCAS puede representar al revés largos periodos de sequías o de mala distribución de lluvias (CARVALHO y JONES, 2009).



Data Sources: OLR – NESDIS/ORR, Winds – NCEP CDAS/ Reanalysis

Figura 2: Climas Monzónicos Americanos.

FUENTE: Nacional Weather Service

2.1.8. Circulación General de la Atmósfera

Evidentemente no es posible referirse al movimiento general de la atmósfera sino se hace en términos de promedios estadísticos. Esto se debe a la irregularidad de las configuraciones observadas a diario sobre las cartas meteorológicas, que a menudo confunden toda significación de esta circulación.

Se ha visto que, en promedio, la cantidad de energía recibida del sol es igual a la devuelta por la tierra hacia el espacio exterior. Sin embargo, este equilibrio, que se mantiene para periodos suficientemente largos, no es válido en el corto plazo, pues en general este equilibrio de los elementos climáticos es función no solo de los factores como la latitud, la declinación y el ángulo horario ya conocido, sino también de la longitud y de la altitud, de la superficie, etc.

Esta redistribución del calor sobre el planeta no se puede producir más que por un tipo de transporte: el convectivo-advectivo, es decir, que va acompañado por un transporte

de masa. Las otras formas de transferencia de calor, radiación y conducción, son completamente despreciables para el transporte horizontal; los medios óptimos para el transporte de masa son los océanos y la atmósfera.

La atmósfera, que se mueve como una gigantesca máquina térmica, donde la fuente de calor está ubicada en una gran franja que rodea las zonas ecuatoriales, y el sumidero en las regiones polares. Esta máquina, cuyo rendimiento relativo es bajo, transforma la diferencia de calor entre las fuentes fría y caliente en energía de movimiento, o cinética, de las corrientes atmosféricas que caracterizan la circulación general; resulta además que la diferencia de calor entre las fuentes es una forma de representar la energía potencial.

Es importante hacer notar que el espesor de la atmósfera es significativamente menor que el radio terrestre por lo que es razonable estudiar ante todo los movimientos horizontales, surgiendo los movimientos verticales como el resultado de una necesidad de compensación, de acuerdo con el principio de conservación de la masa. Por otra parte, es sabido que en el hemisferio sur los vientos abandonan los centros de alta presión desviándose hacia la izquierda, debido a la fuerza de Coriolis; por lo tanto toda descripción del movimiento del aire conduce a la descripción de la distribución de la presión atmosférica.

2.2. CICLO ANUAL DE LA CIRCULACION ATMOSFERICA REGIONAL EN AMERICA DEL SUR

Durante el verano austral (diciembre, enero y febrero, DEF), el mayor porcentaje de precipitación que presenta el Perú es de origen convectivo (Quispe, 2004). Una de las características geográficas más resaltantes del territorio peruano es la cordillera de los Andes que se extiende a lo largo del país permitiendo que los vientos alisios, provenientes del Atlántico Norte que fluyen hacia el Oeste sean bloqueados por los Andes orientales de Colombia y Perú rotando gradualmente al noreste y al sureste de los Andes (Figuras 3 y 4). Así también cerca del 80% de la precipitación en la sierra central

se concentra entre los meses de noviembre y marzo, con un máximo climatológico en el mes de enero (Garreaud, 2001).



Figura 3: Distribución horizontal de la altitud de la cordillera de los Andes.

FUENTE: Garreaud (2008)

Asimismo, predomina un centro de circulación anticiclónica (circulación del aire en sentido antihorario), conocido como Alta de Bolivia (AB), cuyo centro se ubica en promedio en las coordenadas 66° de longitud oeste (O) y 17° de latitud sur (S). Se atribuye a este sistema la función de hacer converger, sobre el Perú y otros países de Sudamérica, la inestabilidad y humedad necesaria para la generación de lluvias, en particular sobre las zonas andinas (Garreaud *et al.* 2003, Vuille 1999, Figueroa *et al.* 1995). En este nivel también se observa una zona de vientos fuertes (magnitudes superiores a 34 m/s), conocida como Corriente de Chorro (CH) Subtropical, que define la transición entre las zonas tropical y subtropical ubicada sobre el Atlántico. La circulación de vientos a este nivel, en el sector central del Perú es marcadamente del

Este/Noreste, es decir, son flujos de aire húmedos y cálidos provenientes de la amazonia.

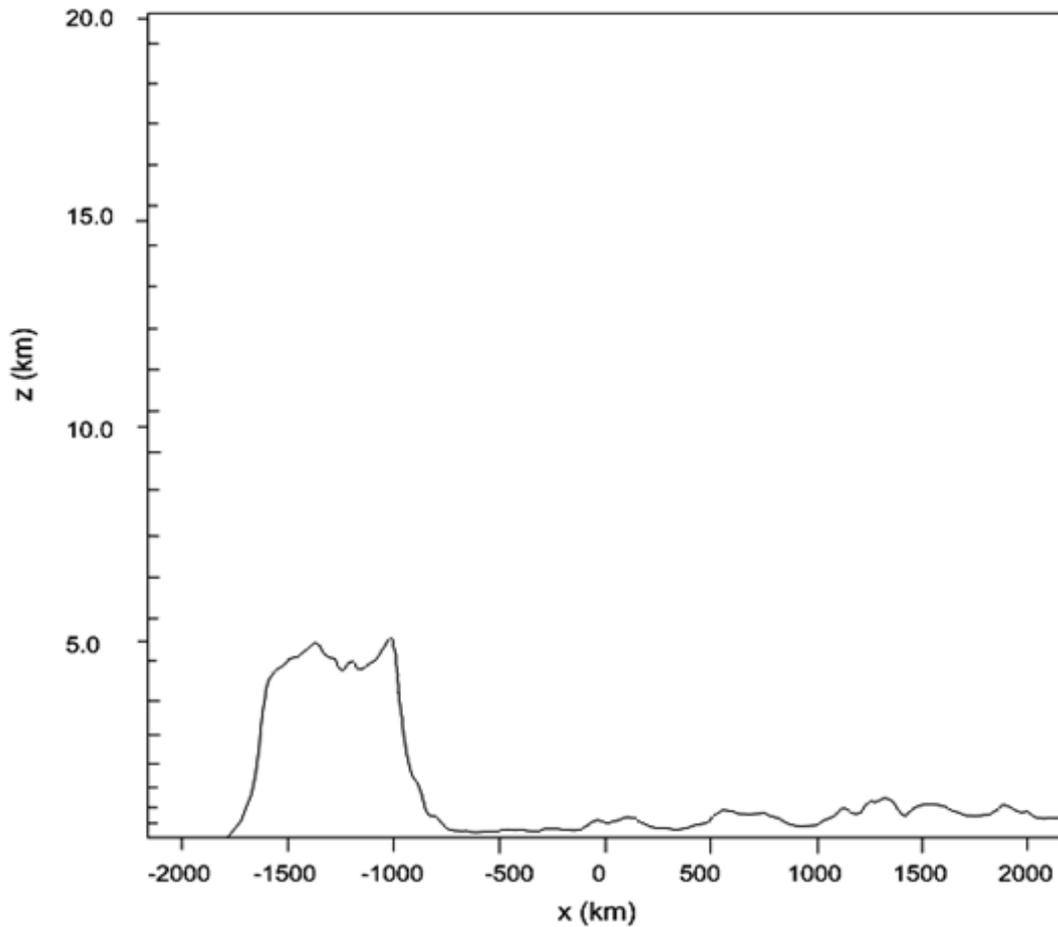


Figura 4: Sección Vertical A'B' en 15° S.

FUENTE: Garreaud (2008)

2.3. DISTRIBUCION CLIMATOLOGICA DE LAS ZONAS CONVECTIVAS

Para determinar la distribución de las lluvias sobre el continente sudamericano nos basamos en la Radiación Neta de Onda Larga ROL, donde se considera que valores inferiores a 220 W/m^2 corresponden a zonas convectivas (Yamina, 2005), de acuerdo a esto las precipitaciones durante el invierno austral (junio, julio, agosto) están concentradas mayormente en el extremo Nor-occidental del continente sudamericano, extendiéndose hacia América central. La isolinia de 220 W/m^2 apenas cruza el extremo Nor-oriental de Loreto, lo que quiere decir que solo esta r

egión presenta precipitaciones durante estos meses.

Durante la primavera (setiembre, octubre y noviembre) la zona convectiva migra hacia el sur-este, cubriendo la selva norte de Perú, la Amazonía central de Brasil, llegando en noviembre hasta los 42°W y 22°S (prácticamente cubre todo Brasil, excepto el nor-este y sur-este).

En los meses del verano austral las precipitaciones sobre el continente se intensifican, concentrándose mayormente sobre el extremo oriental de los Andes de Perú, centro-oriental de Colombia, norte de Bolivia, todo casi todo Brasil (excepto la región de Sao Paulo). En el Perú, en diciembre las precipitaciones están concentradas básicamente en la selva norte, central y sur; en enero cubren además la sierra central y sur, igual distribución se observa en febrero.

En marzo el sistema convectivo ubicado sobre América del sur aún se mantiene activo especialmente sobre la Amazonía central, los meses siguientes empieza su migración hacia el Nor-oeste, llegando en mayo a cubrir Colombia y parte de América central (Panamá, Costa, Nicaragua). En el Perú, las zonas convectivas se mantienen en marzo ligeramente más débiles en la sierra sur y central, mientras que en la selva aún persisten, especialmente en la selva norte. En abril y mayo las zonas de lluvias prácticamente se encuentran solo sobre la selva norte.

2.4. CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA ASOCIADO A LAS PRECIPITACIONES EN NIVELES BAJOS (500hPa)

Durante el verano (Figura 5a), en el nivel medio de la atmósfera se evidencia la aparición de dos centros de alta presión (circulación anticiclónica), ubicados uno sobre el océano Pacífico y el otro sobre el Atlántico, centralizados aproximadamente en las coordenadas 81°O/ 18°S y 15° O/ 22°S respectivamente, que generan un área bastante amplia de divergencia (DIV) sobre Bolivia, asociada a la formación de la AB en niveles más altos, lo cual favorece el desarrollo generalizado de lluvias en gran parte del centro del continente sudamericano. La zona de mayor convección y por consiguiente lluvias

(zonas de color entre naranja y rojo en la Figura 5b) se observan sobre Brasil, sobre la selva peruana y boliviana y en el sur de Colombia. En el Perú, el incremento y concentración de humedad se verifica en gran parte o casi todo el territorio y en la sierra en forma particular en el sector central y sur.

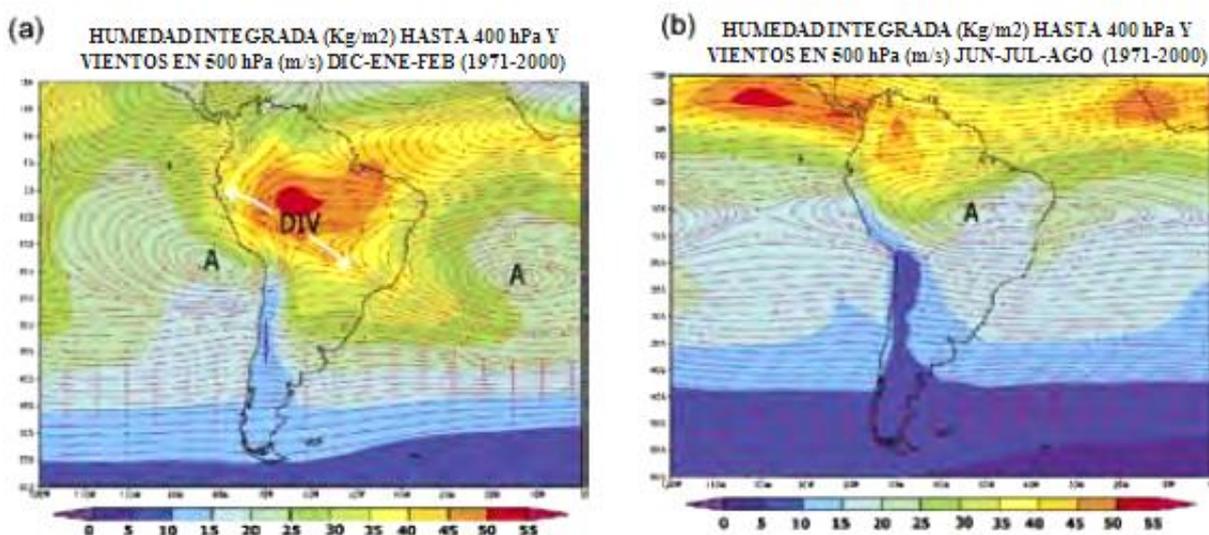


Figura 5: Climatología de la circulación atmosférica (periodo: 1971-2000) en Sudamérica a 500 hPa (aproximadamente a 5,5 km de altitud): a) en verano y b): en invierno.

FUENTE: IGP (Instituto Geofísico del Perú).

En la estación de invierno (Figura 5b), ya no existe la amplia zona de divergencia, ésta es reemplazada por un centro de alta presión que ocupa todo el centro-este del continente sudamericano (Brasil), conformado por dos núcleos adyacentes entre sí (uno alrededor de 54° O/ 12° S y el otro alrededor de 40° O/ 12° S), lo cual también contribuiría a la estabilización de la atmósfera sobre la zona central del continente sudamericano. La humedad, en estos meses, es la más baja del año en varios sectores al centro y sur del continente (colores entre celeste y morado en la Figura 5b), y por el contrario, la mayor humedad y lluvias se concentran al norte de Sudamérica, especialmente en el sector nororiental (Colombia, Venezuela, y noroeste de Brasil). En el Perú, la poca humedad que existe se concentra en el norte, particularmente en el sector nororiental, mientras que en el sector central y sur se consolida el período de estiaje.

2.5. TORMENTAS

2.5.1. Definición

Se denomina “tormenta” a un conjunto de nubes que produce lluvia. Cuando se desea señalar la importancia de otros elementos meteorológicos producidos por la tormenta, se suele agregar el adjetivo calificativo correspondiente: tormenta de rayos, tormenta de granizo. Las nubes que forman una tormenta pueden ser predominantemente del tipo estratiforme, o del tipo convectivo (de gran desarrollo vertical). La Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su “Vocabulario Meteorológico Internacional”, (publicación OMM N°182), define la tormenta como:

“Descarga brusca de electricidad atmosférica que se manifiesta por un resplandor breve e intenso (relámpago), y por un ruido seco o un estruendo sordo (trueno). Las tormentas están asociadas a nubes convectivas (Cumulonimbus) y muy frecuentemente están acompañadas por precipitación en forma de chaparrones de lluvia o de hielo y ocasionalmente, de nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo”.

El National Weather Service de los Estados Unidos de América considera:

“Una tormenta se le denomina severa si produce granizo de al menos 2 cm de diámetro, vientos de 93 km/h o más fuertes, o un tornado”.

En la atmosfera el ejemplo más espectacular de los cambios de humedad y la liberación de energía que los acompañan son las tormentas.

Las tormentas pueden presentarse como cumulonimbos aislados entre sí. Estos son los chaparrones aislados que ocurren en verano en muchas regiones del país. Sin embargo, la mayor parte de la precipitación proviene de tormentas que están “organizadas”. El que una tormenta esté organizada significa que hay un fenómeno atmosférico que favorece el desarrollo de los cumulonimbos en determinada zona. Comúnmente a medida que ese fenómeno se desplaza, también se desplaza la tormenta (aunque el desplazamiento de la mayoría de los cumulonimbos dentro de la tormenta se debe al viento medio en la capa atmosférica en que se encuentra la nube). Las tormentas se producen en las nubes convectivas y habitualmente van acompañadas de precipitaciones que llegan al suelo en forma de chubascos de lluvia, nieve granulada o granizo.

Se sabe que la superficie exterior de las gotitas de agua está constituida, en gran parte, por cargas eléctricas negativas y que inmediatamente debajo de esta capa, existe otra de cargas positivas. Las fuerzas de rozamiento que actúan durante las tormentas podrían arrancar la capa exterior de las gotitas y separar de esta forma las cargas. Esta separación podría también producirse por la congelación del agua por la fusión de los cristales de hielo.

De las medidas realizadas por globos sondas o por otros medios, resulta que el reparto de las cargas en una nube tormentosa se caracteriza principalmente por:

- a. Una zona cargada positivamente en la cima de la nube
- b. Una concentración de partículas cargadas negativamente en la parte central de la nube.

Debajo de la región cargada negativamente existe, a menudo, una segunda región de cargas positivas más reducida.

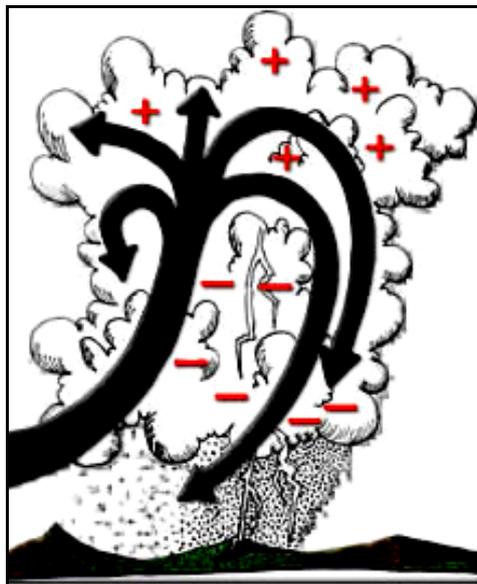


Figura 6: Gráfico representativo de la distribución de cargas eléctricas en el Cumulonimbus (Cb)

FUENTE: IGP (Instituto Geofísico del Perú).

2.5.2. Formación de tormentas

Para la formación de tormentas se requiere la conjunción de ciertos factores:

- Aire inestable

- Alto Contenido de humedad
- Un mecanismo que origine el ascenso del aire hasta niveles superiores

Los desarrollos convectivos se producen como consecuencia de:

- Persistencia en superficie de una masa de aire cálido, húmedo e inestable
- Pasaje de un frente frío o caliente
- Vaguada en altura

Estos procesos marcan las condiciones sinópticas previas a la generación de los procesos convectivos

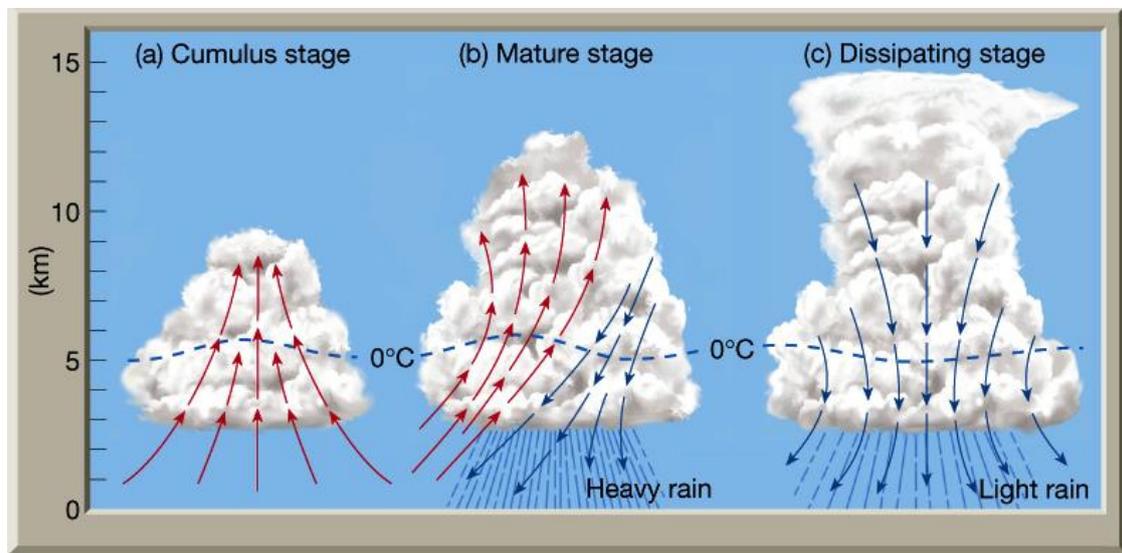


Figura 7: Desarrollo del Cumulonimbus (Cb).

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

Se originan en nubes Cumulonimbus (Cb), dentro de las cuales se producen truenos y relámpagos, producto del ascenso de grandes masas de agua líquida y muy fría, hasta niveles de la atmosfera donde la temperatura es $<-20^{\circ}\text{C}$.

Los daños provocados por las tormentas severas se deben a:

- Efecto del granizo
- Fuertes ráfagas de viento en superficies

Adicionalmente se puede decir que el granizo de mayor tamaño se encuentra comúnmente en tormentas que presentan:

- Fuertes corrientes ascendentes
- Elevado contenido de agua líquida en gotas de gran tamaño
- Gran desarrollo vertical
- Frecuentes descargas eléctricas

2.5.3. Ciclo de vida de una tormenta ordinaria

A menudo es posible distinguir las torres que sobresalen de la parte en crecimiento de una nube convectiva. Otras veces se pueden observar masas o líneas de tormentas unidas entre sí y que se extienden sobre distancias horizontales que sobrepasan los, 50 km. Algunas veces es posible asociar una tormenta con una cierta unidad de circulación convectiva que se llama célula. El diámetro de una célula tormentosa es del orden de 1110 km y una célula aislada puede formarse a partir de varios, cúmulos en desarrollo. En otros casos, aparecen activar torres que sobrepasan una extensa capa nubosa.

En general, las células adyacentes tienen tendencia a reunirse, sin embargo, pueden habitualmente distinguirse por la configuración del eco de sus precipitaciones en la pantalla del radar, Por otra parte, los aviones atraviesan a menudo regiones menos turbulentas situadas en la zona que separa las células tormentosas. Fundándose en la velocidad y en el sentido de las corrientes verticales se pueden distinguir tres periodos en la vida de una célula de tormenta:

Durante el crecimiento (Figura 8) existen en todas las nubes fuertes corrientes ascendentes. Aunque las observaciones por avión en el interior de las nubes indican la presencia de lluvia o nieve, parece ser que estas precipitaciones quedan suspendidas por las corrientes ascendentes ya que en esta etapa no llegan al suelo. Esta fase inicial o de cúmulos se caracteriza por:

- La nube es una torre ascendente con velocidad vertical máxima hacia el centro y pequeña en los bordes, donde hay mezcla con el aire ambiente.

- Las partículas de agua se mantienen pequeñas y no hay precipitación. En general el radar meteorológico no puede detectar en esta fase.
- La condensación mantiene el ascenso. La nube puede tener una base de 5 a 8 km de diámetro y elevarse hasta 6-8 km.
- No suelen producirse rayos.

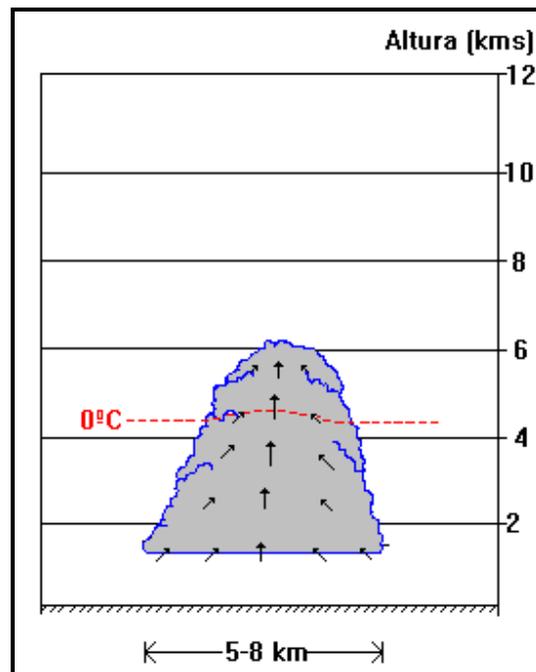


Figura 8: Fase de crecimiento.

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

El periodo de madurez (Figura 9) comienza cuando las gotas de agua o las partículas de hielo caen de la base de la nube. Sus dimensiones y su concentración son demasiado elevadas para que las corrientes ascendentes puedan sostenerlas.

La fricción ejercida por la caída de los hidrometeoros ayuda a cambiar, en ciertas partes de la nube, el movimiento ascendente en movimiento descendente. Sin embargo, el movimiento ascendente persiste y frecuentemente alcanza su máxima intensidad en la parte superior de la nube, cuando comienza el periodo de madurez. En general el movimiento descendente es menos rápido y en la parte inferior de la nube es más pronunciado. Cuando el aire descendente alcanza la proximidad del suelo se ve forzado

a extenderse horizontalmente, produciendo, a menudo, violentas ráfagas (frente de ráfaga). En esta corriente, la temperatura es más baja que la del aire que la rodea.

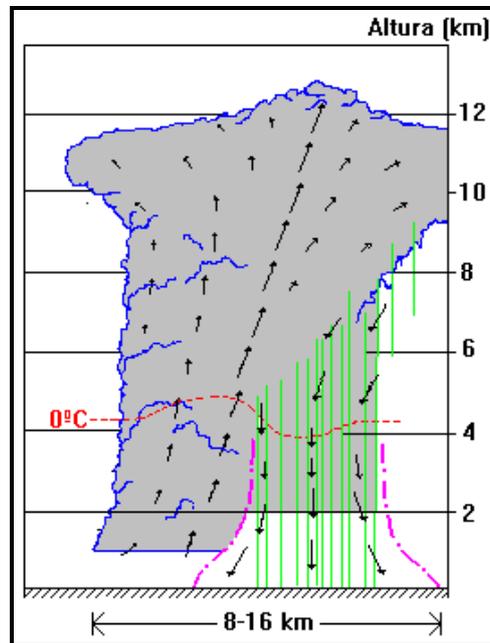


Figura 9: Periodo de Madurez.

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

En la fase final (Figura 10) la corriente ascendente desaparece completamente. La corriente descendente abarca la totalidad de la célula y, por lo tanto, no puede producirse condensación. Esta corriente se debilita cuando cesa la formación de gotas de agua y partículas de hielo.

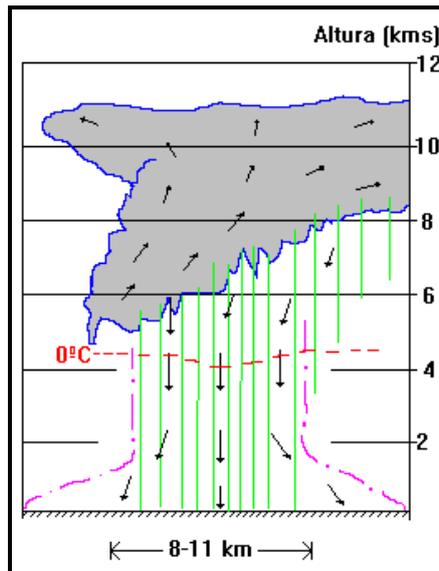


Figura 10: Fase final.

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

Mientras la lluvia y la corriente descendente persistan, la totalidad de la célula tormentosa es más fría que el aire que la rodea. Cuando cesa la lluvia, la temperatura en el interior de la célula recobra el mismo valor que tiene el aire que la rodea. La disipación de la nube es completa y no quedan más que algunas nubes estratificadas. En superficie ha desaparecido toda traza de tormenta y de ráfagas.

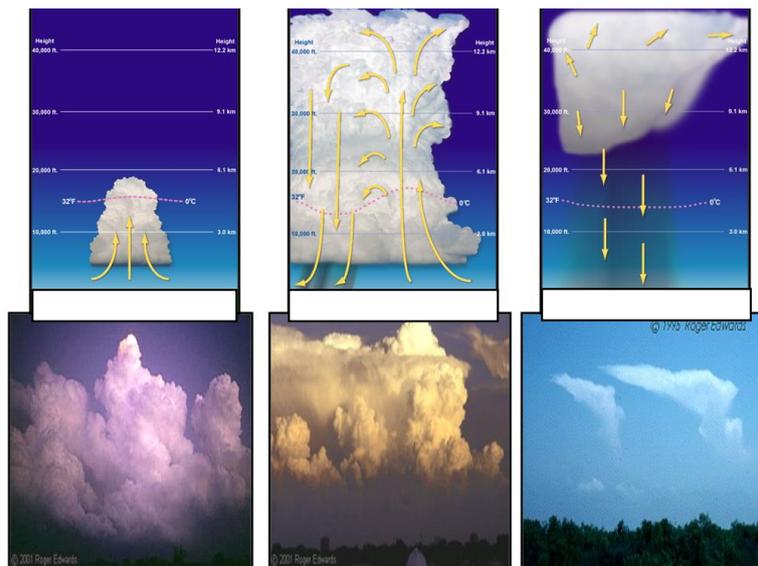


Figura 11: Los tres estados del Cumulonimbus (Cb).

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

2.5.4. Tipos de tormentas

Las tormentas pueden producirse en diversas situaciones sinópticas. Las condiciones, iniciales favorables para su formación son: Presencia de aire húmedo en un gran espesor de la atmósfera o una atmósfera inestable para el aire saturado que se extienda hasta grandes altitudes, y Un potente mecanismo que fuerce al aire a elevarse a grandes alturas.

a. Tormentas de masa de aire

Las tormentas pueden formarse en el interior de una masa de aire. A estas se las conoce con el nombre de tormentas de masa de aire. El mecanismo que provoca el movimiento ascendente puede ser: la ascendencia orográfica, la convección o los movimientos ascendentes extendidos.

b. Tormentas frontales

También pueden producirse tormentas como resultado de la interacción de dos masas de aire: son las tormentas frontales. En este caso, la ascendencia puede originarse por la llegada de aire frío que se desliza bajo una masa de aire cálido y húmedo, o por el paso de este aire cálido y húmedo por encima del aire frío. Algunas veces la ascendencia del aire húmedo inestable puede producirse por la combinación de varios procesos. La ascendencia por si misma tiende igualmente a reforzar el gradiente vertical de temperatura y, por lo tanto, favorece el desarrollo de tormentas.

La altura alcanzada por el tope de las nubes de tormenta en sus diversas etapas depende principalmente de la latitud geográfica. En regiones de media a alta latitud (de las zonas templadas de la Tierra hacia los polos) es raro que ese tope pase de los 8 km de altitud. Mientras tanto en regiones de media hacia baja latitud (de las zonas templadas hacia el Ecuador) pueden llegar a 20 km o más. En un cincuenta por ciento de los casos, la altura del tope supera los 15 km, y la mayor incidencia de nubes de tormenta con topes por encima de 20 km parece ocurrir en el sudeste asiático, incluyendo el norte de Australia, Indonesia y Nueva Guinea.

Las nubes de tormenta son más comunes en regiones tropicales y templadas durante el verano, aunque también ocurren en regiones próximas a los polos y en otras estaciones. Ocurren más sobre los continentes que sobre los océanos, pues el calentamiento solar altera menos la temperatura del aire sobre éstos. Sin embargo, pueden surgir en cualquier hora del día. El mayor número de casos se produce entre las 16 y 18 hs, en función del calentamiento solar. Sobre las montañas, el momento más propicio es entre las 13 y 14 hs.

Las tormentas, además de las producidas por nubes aisladas, también pueden estar asociadas a conglomerados de nubes denominados sistemas convectivos de mesoescala, que pueden extenderse entre una y varias centenas de kilómetros. En esos casos, las tormentas tienden a ser más intensas, pues son formadas por grupos de nubes Cumulonimbus Cb (Figura 12). Los dos tipos de sistemas más conocidos en esa escala son las líneas de inestabilidad y los complejos convectivos.

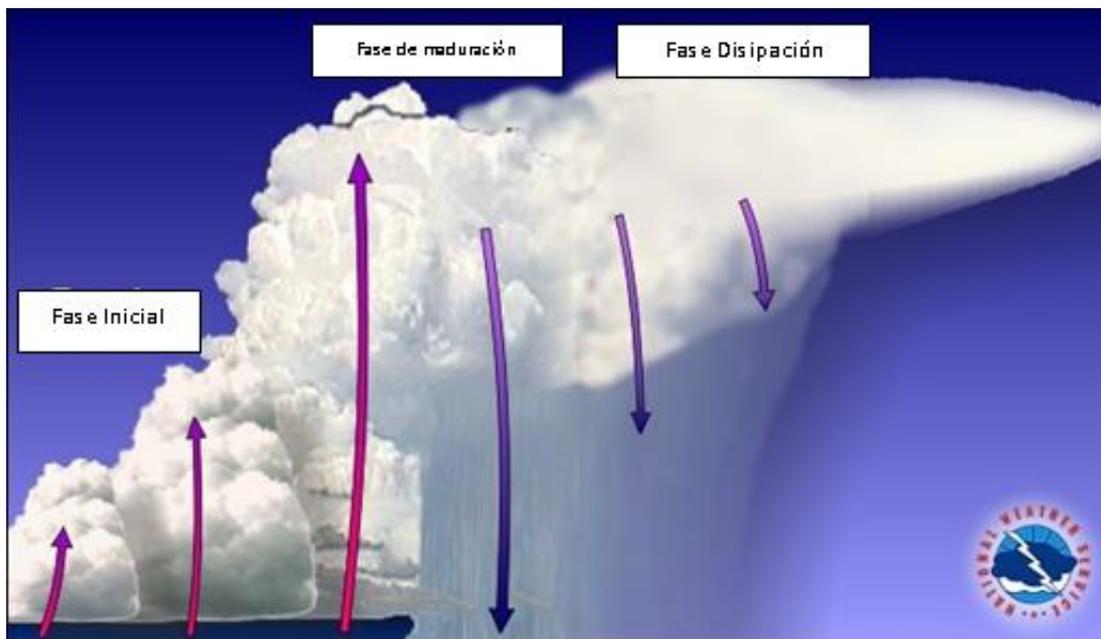


Figura 12: Cumulonimbus.

FUENTE: IANIGLA - CONICET (Programa Regional de Meteorología).

c. Líneas de estabilidad

Estas consisten en sistemas frontales con gran energía, ya que están formados en su mayoría por nubes de tipo Cb que se ubican en una línea, con largo variable (entre

200 y 700 km) y que avanzan de SW al NE a gran velocidad. El primer indicio de la proximidad de una línea de inestabilidad se notará con el descenso brusco de la presión atmosférica (entre 1 y 2 hPa por hora) estando el cielo despejado o con algunos Cirrus.

Las líneas de inestabilidad ocurren generalmente asociadas a sistemas frontales, como los "frentes fríos", cuando se encuentran masas de aire con diferente temperatura y humedad. En ese encuentro, las masas de aire frío "empujan" hacia arriba a las de aire caliente, y producen líneas de tormenta que alcanzan, a veces, centenas de kilómetros de extensión. Las nubes Cb así generadas viven en promedio tanto como las que surgen aisladamente, pero pueden desplazarse por decenas de kilómetros durante su existencia. Las tormentas que provocan llegan a durar varias horas, ya que, con el desplazamiento del sistema, nuevas nubes son formadas a medida que las primeras se disipan.

d. Complejos convectivos a mesoescala

Los complejos convectivos son agrupamientos de nubes de tormenta en forma circular, con diámetros de 300 a 400 km y contienen centenas o hasta miles de nubes (Figura 10). Surgen generalmente por la noche; duran en promedio de 10 a 12 hs; pueden, en ciertos casos, regenerarse durante días y parecen pasar por etapas semejantes a las de una nube Cb. En el Brasil, los complejos convectivos son observados con más frecuencia en la región sur, sin embargo, pueden ocurrir en el sudeste y en el centro Oeste. En América del Sur las regiones más afectadas por este tipo de fenómeno son el norte de la Argentina y en el Paraguay.

2.5.5. Frentes

Es una intersección de una zona frontal con el plano (superficie). Las imágenes de satélite representan claramente las estructuras nubosas asociadas a los frentes. Estas características pueden ser utilizadas para identificarlas posición del frente.

Masa de Aire: parcela de aire alrededor de $10e6 \text{ km}^2$ de extensión horizontal y en toda la troposfera en la dirección vertical y en que las propiedades del aire son Homogéneas.

Las características físicas de una masa de aire: (temperatura y humedad) vienen dadas por su origen y por la trayectoria de su recorrido.

Tipos de frentes:

a. Frente Frío:

El aire frío desplaza al aire caliente en superficie, la masa de aire fría (más densa), levanta a la masa caliente por debajo, como si fuese una cuña, lo desaloja y lo obliga a elevarse. El fenómeno es muy violento y en estos ascensos se producen nubes de desarrollo vertical (Figura 13).

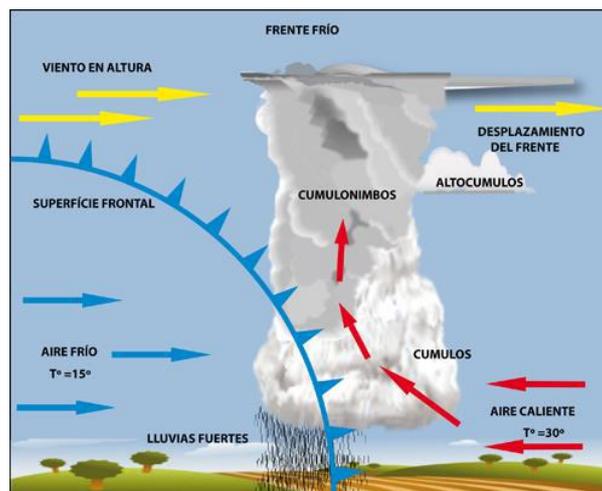


Figura 13: Frente Frío

FUENTE: José Calvo – Circulación Atmosférica General y Corriente en Chorro.

b. Frente Caliente:

El aire caliente avanza sobre el frío (más denso), pero al ser este último más pesado, se adhiere a la superficie y el aire cálido asciende suavemente por la superficie frontal que hace de rampa. En general la nubosidad es estratiforme y las precipitaciones menos intensas que en un frente frío (Figura 14).

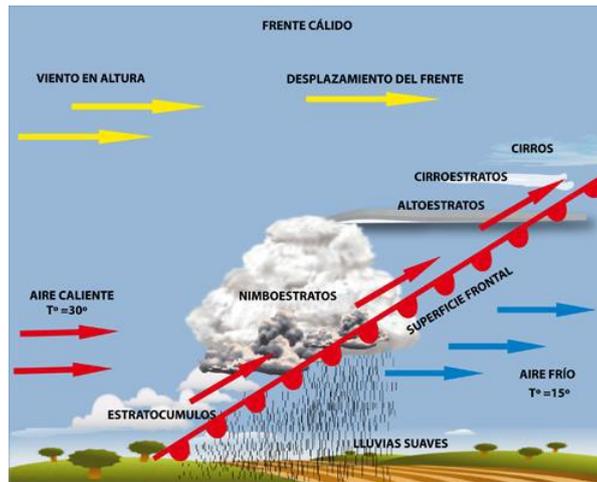


Figura 14: Frente Caliente

FUENTE: José Calvo – Circulación Atmosférica General y Corriente en Chorro.

c. Frente Ocluido

Si un frente frío alcanza a un frente caliente, se forma un frente ocluido. Progresivamente el frente ocluido solo queda en altitud. Cuando los frentes se han unido forman un frente ocluido o una oclusión. El aire del sector cálido se eleva hasta quedar flotando sobre la superficie: el frente frío alcanza al frente cálido (Figura 15).

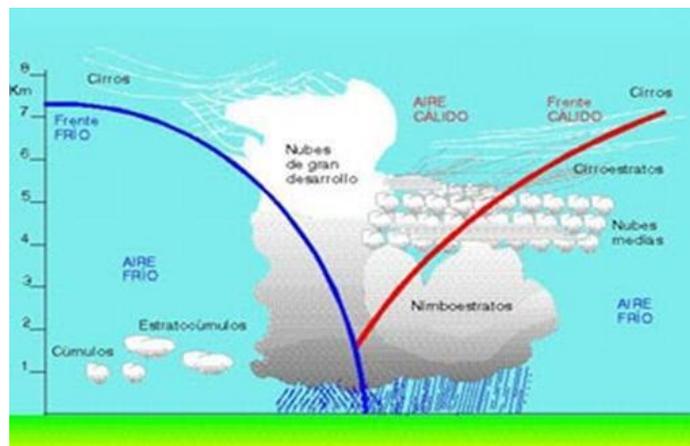


Figura 15: Frente Ocluido

FUENTE: José Calvo – Circulación Atmosférica General y Corriente en Chorro.

d. Frente polar:

30-60 ° El Chorro polar se desplaza acompañando el frente. Zona de movimiento del frente polar. El Chorro polar se desplaza acompañando el frente (Figura 16).

60°: Zona de pasaje de las depresiones frontales (ascenso de aire).

90°: Zona de anticiclones polares. Débil descenso de aire.

e. Chorro Polar:

Las corrientes en chorro (Jet Stream) es una corriente de aire en altura, situada entre los 7.000 y los 16.000 metros, que discurre a lo largo de varios miles de kilómetros. Tiene una anchura de cientos de ellos, un espesor de unos cinco kilómetros y puede alcanzar una velocidad de hasta 215 nudos (cerca de 400 km/h).

El Jet es una zona de vientos máximos. La generación de máximos de viento en altura depende directamente del gradiente horizontal de temperatura (Holton, 1979). La presencia de este es señal de la existencia de dos masas de aire con una frontera que las separa. En términos de apoyo a la aviación civil internacional, el Jet se define en altura como un área donde las isotacas son mayores de 70 nudos (Kt.), y con un núcleo o centro donde los vientos son iguales o mayores que 90 Kt, figura 1. Aunque típicamente se evalúa el Jet en los 250-300 hPa, el máximo de viento en realidad puede variar entre los 100-500 hPa, con algunos Jets estratosféricos definidos en los 70 hPa. La altura a la que el Jet se ubique dependerá de que este; tan fría sea la masa de aire; cuánto más fría, más bajo se va a manifestar el Jet (Figura 16).

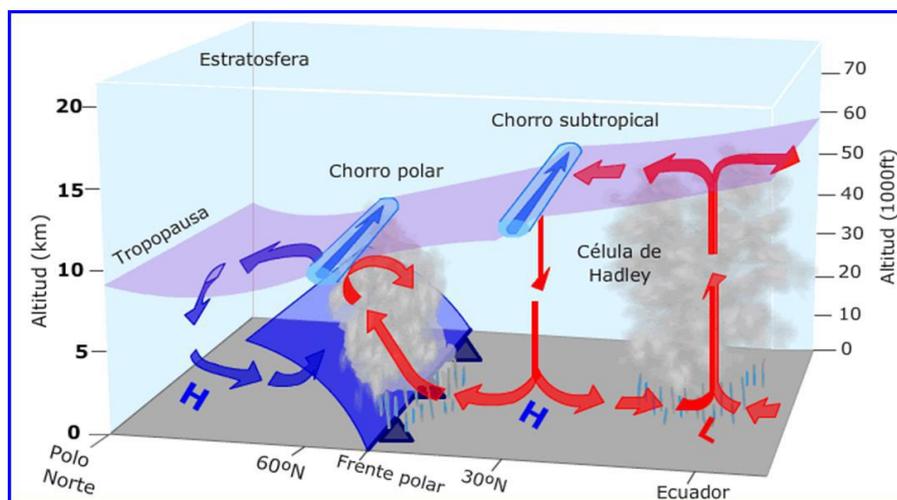


Figura 16: Chorro Polar y Frente Polar

FUENTE: José Calvo – Circulación Atmosférica General y Corriente en Chorro.

En el Aviation Weather Center/Transition Aviation Program, en el Centro de Pronósticos Mundiales en Washington D.C., se estableció un criterio para evaluar la posición del Jet en la carta de 250 hPa. utilizando un valor promedio del nivel geopotencial.

Jet Subtropical → sobre los 10,440 mgp (típicamente 10680mgp.).

Rama Norte del Jet Polar → entre 10,200 y los 10,440 mgp.

Rama Sur del Jet Polar → bajo los 10,200 mgp (típicamente entre 10080 y 9960mgp).

2.5.6. Distribución anual de las tormentas sobre la superficie terrestre

Las observaciones en superficie y especialmente las mediciones satelitales han permitido establecer la ocurrencia y el número de tormentas sobre cada punto de la superficie terrestre (Figura 18). Como decíamos anteriormente las zonas ecuatoriales y de latitudes medias en verano son las que son más afectadas por tormentas, por ejemplo las zonas afectadas por monzones y donde se ubican las selvas tropicales lluviosas. No hay que olvidar las zonas de latitudes medias afectadas por tormentas frontales, complejos convectivos de mesoescala y líneas de inestabilidad que tienen asimismo una gran frecuencia de tormentas (caso del sudeste de Sudamérica).

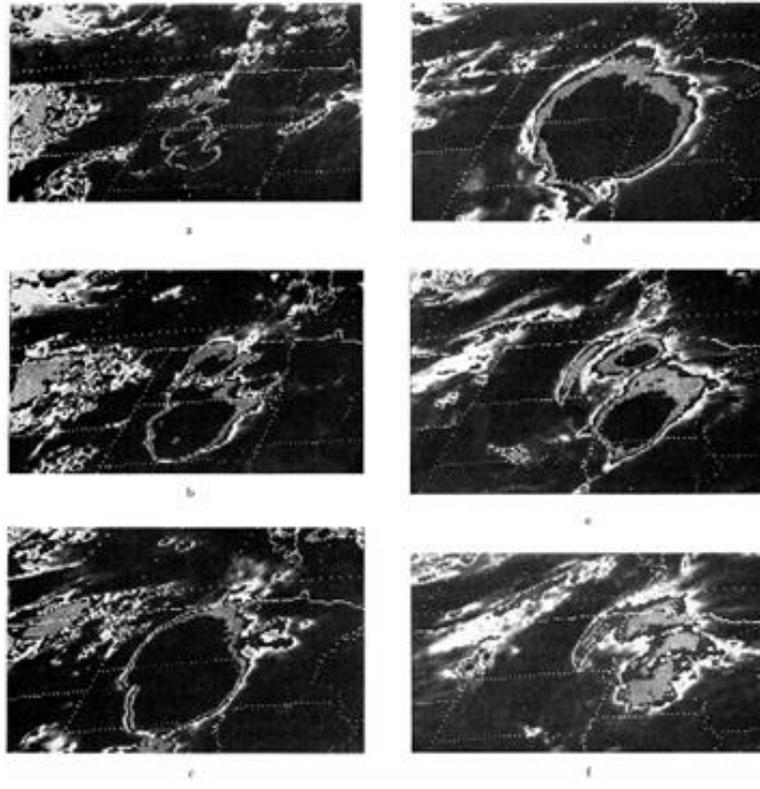


Figura 17: Desarrollo de un complejo convectivo de mesoescala sobre EE.UU.

FUENTE: NOAA (Centro de Predicción Climática)

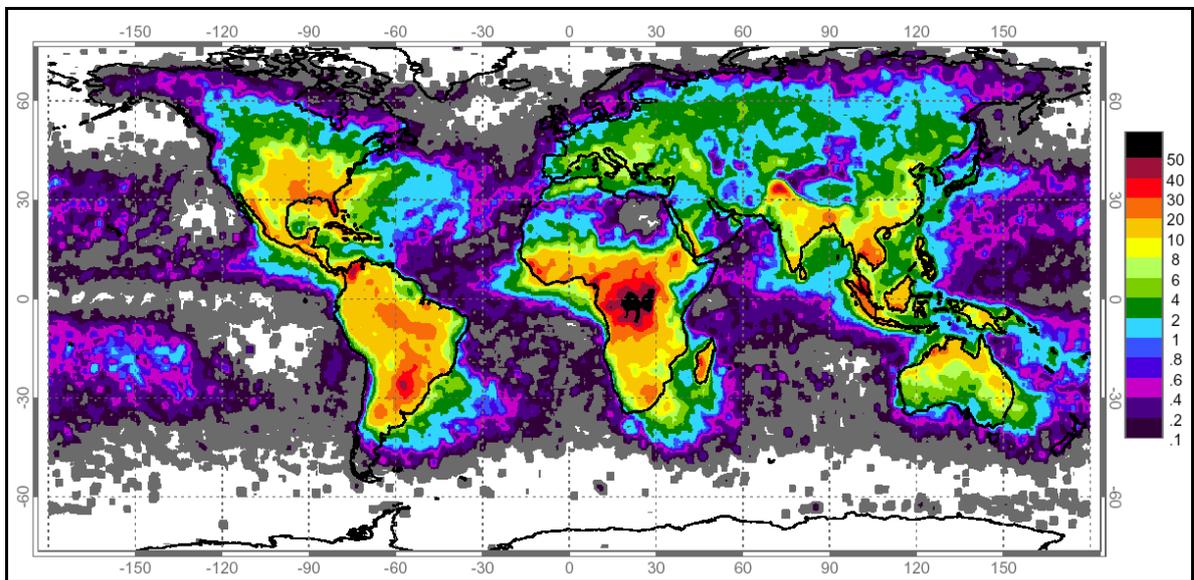


Figura 18: Frecuencia en número de días con tornado sobre la superficie terrestre.

FUENTE: NOAA (Centro de Predicción Climática)

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

En el Extremos sur occidental del Perú, se ubica el territorio de la región Tacna enmarcado por las coordenadas geográficas $16^{\circ} 58'$ y los $18^{\circ} 21' 34.8''$ Latitud Sur y $69^{\circ} 28'$ y $71^{\circ} 10'$ Longitud Oeste, en altitudes que van de los 0.0 a 6000 msnm. Sus límites son por el Norte con la región de Moquegua, por el Noreste con la región de Puno, Por el Este con la República de Bolivia, por el Sur Con la República de Chile, y por el Oeste con el Océano Pacífico, en cuyas aguas el Perú ejerce soberanía hasta las doscientas millas.

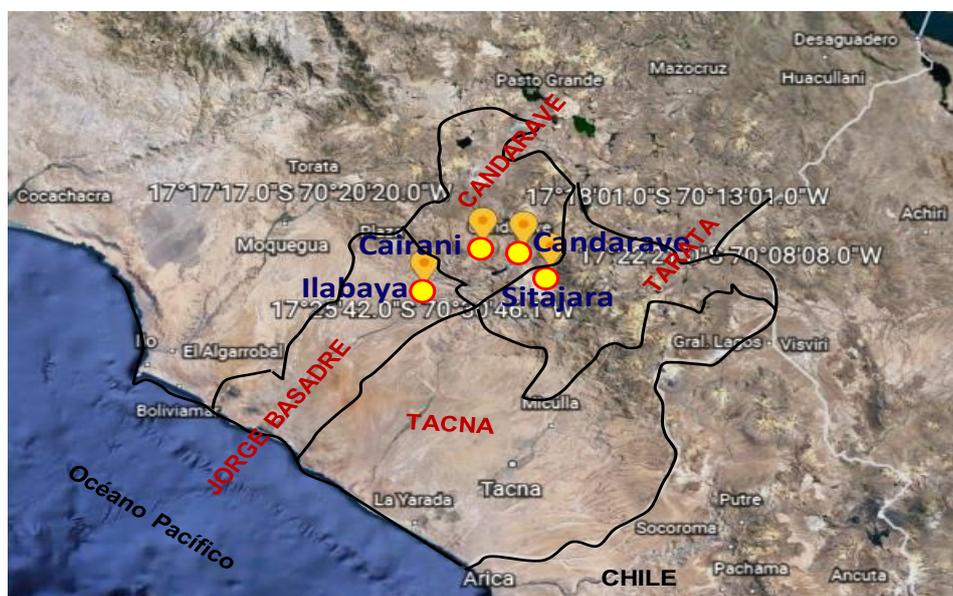


Figura 19: Zona de estudio y estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.
FUENTE: Elaboración propia

3.2. MATERIALES

3.2.1. Información Meteorológica

- Base de Datos de precipitación diaria mensual de más de 30 años. Periodo (1964 – 2010). Fuente SENAMHI.
- Cartas de altura (humedad relativa y vientos) y de superficie (presión atmosférica reducida a nivel del mar). Fuente: CORPAC S.A. - Cartas Aeronáuticas.
- Datos de Índice de Oscilación del Sur (IOS). Fuente: NOAA

Tabla 1: Estaciones meteorológicas utilizadas para el presente estudio

TIPO	ESTACION	Altura(msnm)	Latitud	Longitud	Departamento
PLU	Ilabaya	1,550	17° 24' 23'' S	70° 31' 30" W	Tacna
PLU	Sitajara	3,020	17° 22' 21'' S	70° 8' 08" W	Tacna
CO	Candarave	3,750	17° 16'16'' S	70° 15'14" W	Tacna
PE	Cairani	3,920	17° 17'17'' S	70° 20'20" W	Tacna

FUENTE: SENAMHI (2010)

CO: Estación climatológica ordinaria.

PE: Propósitos específicos.

PLU: Estación pluviométrica.

3.3. METODOLOGIA

El procedimiento metodológico desarrollado posee la siguiente secuencia:

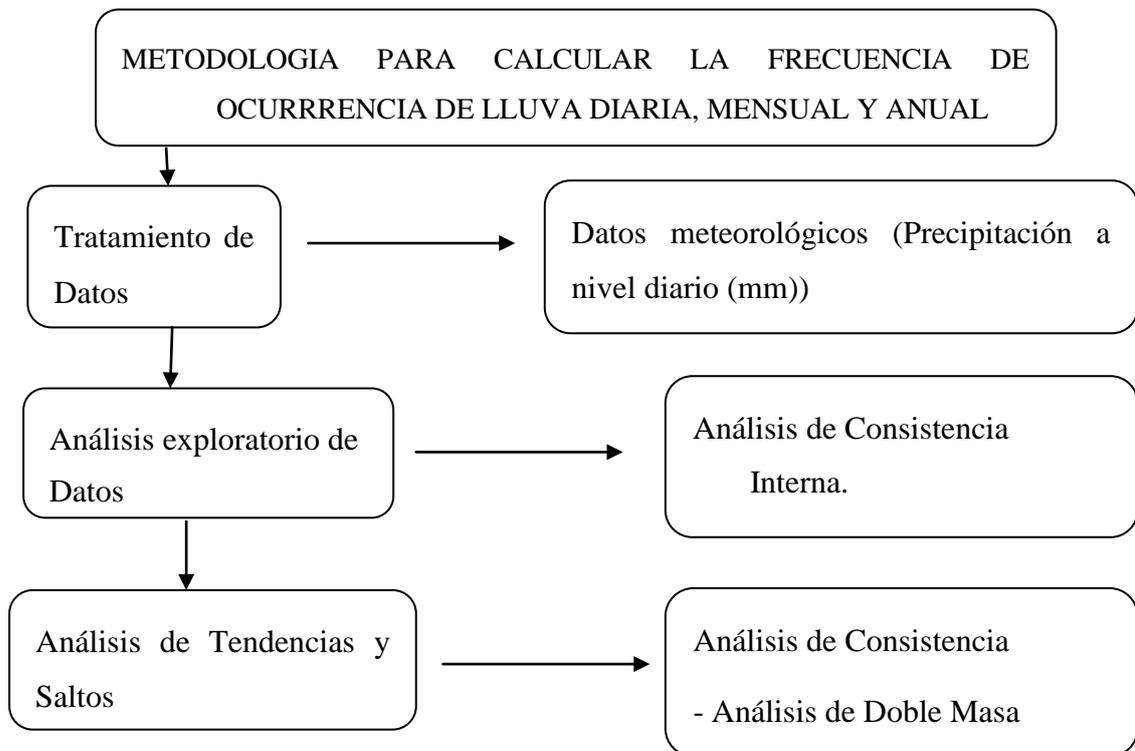


Figura 20: Diagrama de la metodología.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.1. Análisis Exploratorio de Datos

Se realiza el análisis exploratorio de datos (AED) de la información meteorológica, mediante una descripción multianual de la precipitación media mensual. Este análisis nos ayuda a detectar posibles errores o inconsistencias en los datos de partida.

El AED realiza una visión general de todos los datos a ser analizados, detectando posibles datos atípicos (outliers) dentro de la muestra, estos datos outliers, serán contrastado conociendo su fecha de ocurrencia y el evento que los produjo realizando una comparación con las estaciones pluviométricas vecinas; es aquí donde se pone en juicio la posible presencia de valores atípicos, en base a este análisis se considera su posible eliminación o inclusión en las siguientes etapas del análisis para no alterar la

muestra.

Datos Atípicos (Outliers)

Los casos atípicos son observaciones con características diferentes de los demás. Este tipo de casos no pueden ser caracterizados categóricamente como beneficios o problemáticos sino que deben ser contemplados en el contexto de análisis y debe evaluarse el tipo de información que puedan proporcionar.

Datos Ausentes (Missing)

Los datos ausentes son algo habituales en el Análisis climático; de hecho, es raro una investigación en la que no aparece este tipo de datos.

En estos casos el investigador debe determinar las razones que subyacen en el dato ausente buscando entender el proceso principal de la ausencia para seleccionar el curso de acción más apropiado.

3.3.2. Análisis de tendencia y quiebres

El análisis de toda variable hidroclimática, evalúa los estadísticos, que son supuestos básicos que nos ayuda a aumentar la confiabilidad de los datos analizados, poniendo a prueba la hipótesis con respecto a la data observada: homogéneo (libre de tendencia y saltos) y/o estacionario (constante en el tiempo y libre de tendencia).

3.3.3. Análisis de Doble Masa

Es una prueba de regularidad del registro de una estación, comparando la precipitación acumulada anual, o por estaciones del año, con los valores acumulados correspondientes de la precipitación media de un grupo de estaciones circundantes.

Este análisis ha sido utilizado para tener confiabilidad en la información; así como también para analizar la consistencia en lo relacionado a errores que se han producido

durante la toma de datos. Los errores se determinan por lo quiebres que presentan los diagramas, considerandos una estación consistente cuando presenta un menor número de quiebres.

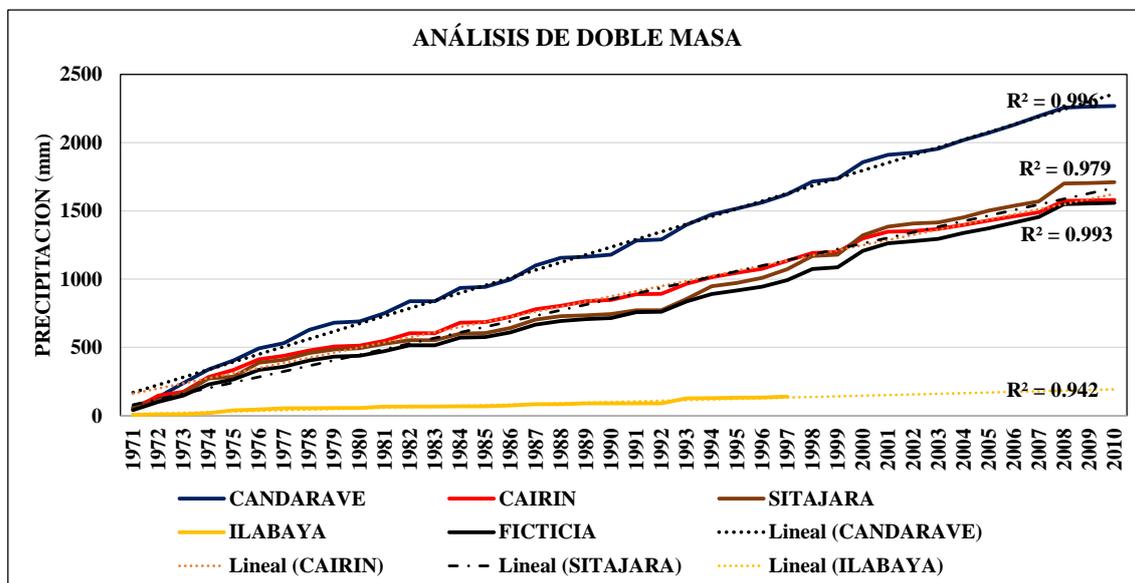


Figura 21: Análisis de Doble Masa.

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 21, no se observan quiebres importantes en las líneas de las cuatro estaciones meteorológicas analizadas (Candarave, Sitajara, Cairani e Ilabaya); además, el grado de correlación R^2 , son cercanos a 1. Por lo tanto, existe buena consistencia en los datos de las estaciones meteorológicas.

3.3.4. Cálculo de la frecuencia de ocurrencia de lluvias

La data se ordena por mes, en una matriz (n,m) cuya fila son los años (**n** años) y la columna son los días (**m** días). El periodo de cada estación es el siguiente: 1964-2010 (estación Sitajara), 1965-2010 (estación Candarave); 1965-1997 (estación Ilabaya) y de 1971-2010 (estación Cairani)

a. Cálculo de los promedios diarios

De acuerdo con la matriz de datos se procedió:

$$PP_j = \sum_{k=i}^s x_i / n$$

Dónde: **i**; es el año, **s**; es el último año y **n**, es el número de años y **j**; es el día y **va de 1 a m** (m=es el número de días de cada mes)

PP1; es la precipitación media del día 1, hasta Ppm; que es la precipitación media del último día del mes.

b. Cálculo del máximo diario

Si se calculara la precipitación máxima del día 1 del mes de enero del periodo 1964 a 2010, se procede de la siguiente manera:

De las precipitaciones registradas de un determinado día de un mes (puede ser: ene, feb, mar,....., dic) de cada año de un periodo analizado (más de 30 años), se escoge el valor más alto de precipitación; tal como se ve en la siguiente matriz

$$PP_{\max} = \max(x_{1964}, x_{1965}, x_{1966}, \dots, x_{2010})$$

c. Cálculo de la frecuencia de la precipitación diaria mensual en el periodo de análisis

La matriz de filas (años) y columnas (días); permite clasificar la lluvia en intervalos y obtener la distribución de frecuencias diarias mensuales de precipitaciones.

Para obtener el histograma de frecuencias de días de precipitación mensual, se realizaron los siguientes cálculos:

Rango: $R = P(\max) - P(\min)$.

Número de intervalos: $n_i = 1 + 3.33 * \log(n)$

Para este estudio se asumió cinco (5) intervalos;

El ancho de los intervalos: $AI = Rango / 5$

Marca de clase (Xm) : $(\text{Límite inferior} + \text{límite Superior}) / 2$

Frecuencia Absoluta: f = Número de días de precipitación diarias que se encuentran en determinado intervalo de un mes determinado durante un período de más de 30 años.

Frecuencia Relativa: fr = es la frecuencia absoluta dividido por el número total de días de precipitación de un determinado durante un período de más de 30 años.

Frecuencia Relativa porcentual: $fr(\%)=fr*100$.

Frecuencia Absoluta acumulada: fa; para cada sucesivo intervalo la frecuencia absoluta se le suma la siguiente, hasta llegar al último intervalo.

Frecuencia Relativa acumulada: (far): suma de frecuencia relativa de un determinado intervalo con el siguiente y así sucesivamente.

Frecuencia Relativa Acumulada porcentual: $far(\%)= far*100$.

d. Cálculo de la frecuencia de la precipitación diaria mensual con acumulados mayores de cero (0) mm.

Se contabilizo las precipitaciones diarias diferentes de cero para cada mes de un total de más de 30 años. Los resultados se muestran en las Figuras 30, 31, 32 y 33.

e. Determinación de la variación temporal anual de la frecuencia diaria mensual de la precipitación con valores mayores que cero para los meses de verano.

Para cada mes de un año, se contabilizo el número de días con precipitaciones mayores de cero, formando una serie anual de dicho mes. Así se procedió para los siguientes meses.

f. Sistemas climáticos o índices atmosféricos que afectan las precipitaciones durante la Estación de verano.

Los datos del IOS se han obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del link: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>

Del ítems, Southern Oscillation Index (SOI), elegimos Three Month Running Mean.

g. Comparación de IOS con el numero días de lluvias a nivel trimestral

Se seleccionó el trimestre enero-febrero-marzo (EFM), por ser el periodo que se de análisis de las lluvias de verano.

Este trimestre se analizó y se comparó con el total de frecuencia de lluvias con el mismo trimestre.

Se realizaron gráficos de la estación de Sitajara y Candarave. Para ambas estaciones se tomó el periodo de 1964 a 2010; del mismo modo para el IOS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLIMATOLOGÍA DIARIA Y MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

Según las Figuras 22a, 23a, 24a y 25a; de las estaciones de Ilabaya, Sitajara, Candarave y Cairani respectivamente, las mayores precipitaciones medias diarias ocurren en el verano. De las Figuras 22b, 23b, 24b y 25b; se aprecian que las precipitaciones medias diarias más consistentes y continuas y con mayor intensidad ocurren entre el 10 de enero a 10 de marzo. Además, ocurren con mayor intensidad en estaciones a mayor altura. Esto se debe al desplazamiento del APSO hacia el sur y a la presencia de la Alta Boliviana que permiten el paso de la humedad de la parte oriental a la occidental; además de la interacción de las ZCAs que aportan líneas inestables (ver Figuras 40 y 41).

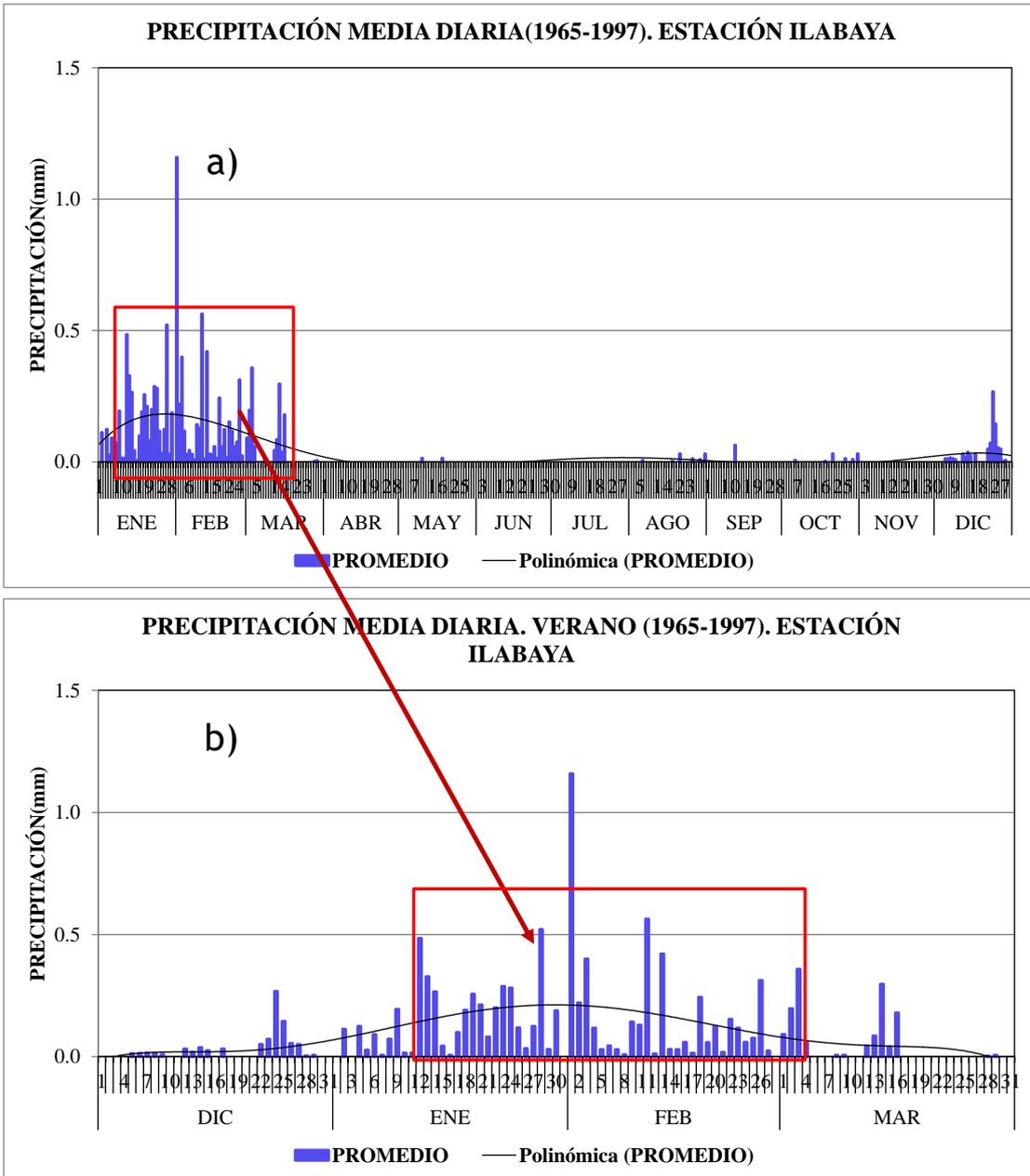


Figura 22: Climatología diaria mensual de la precipitación (1965-1997). Estación Ilabaya. a) Anual b) Estacional: Verano

FUENTE: Elaboración propia.

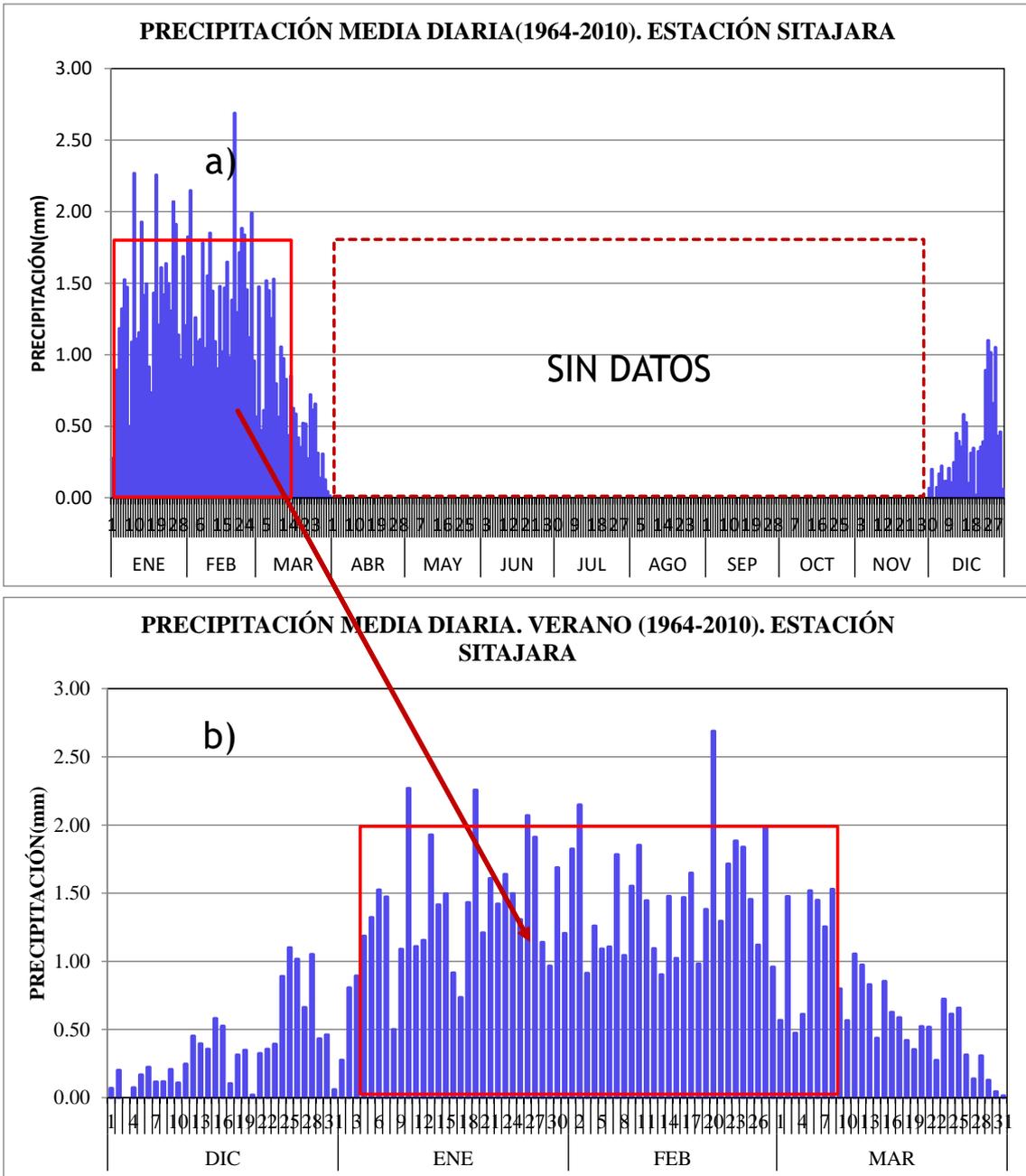
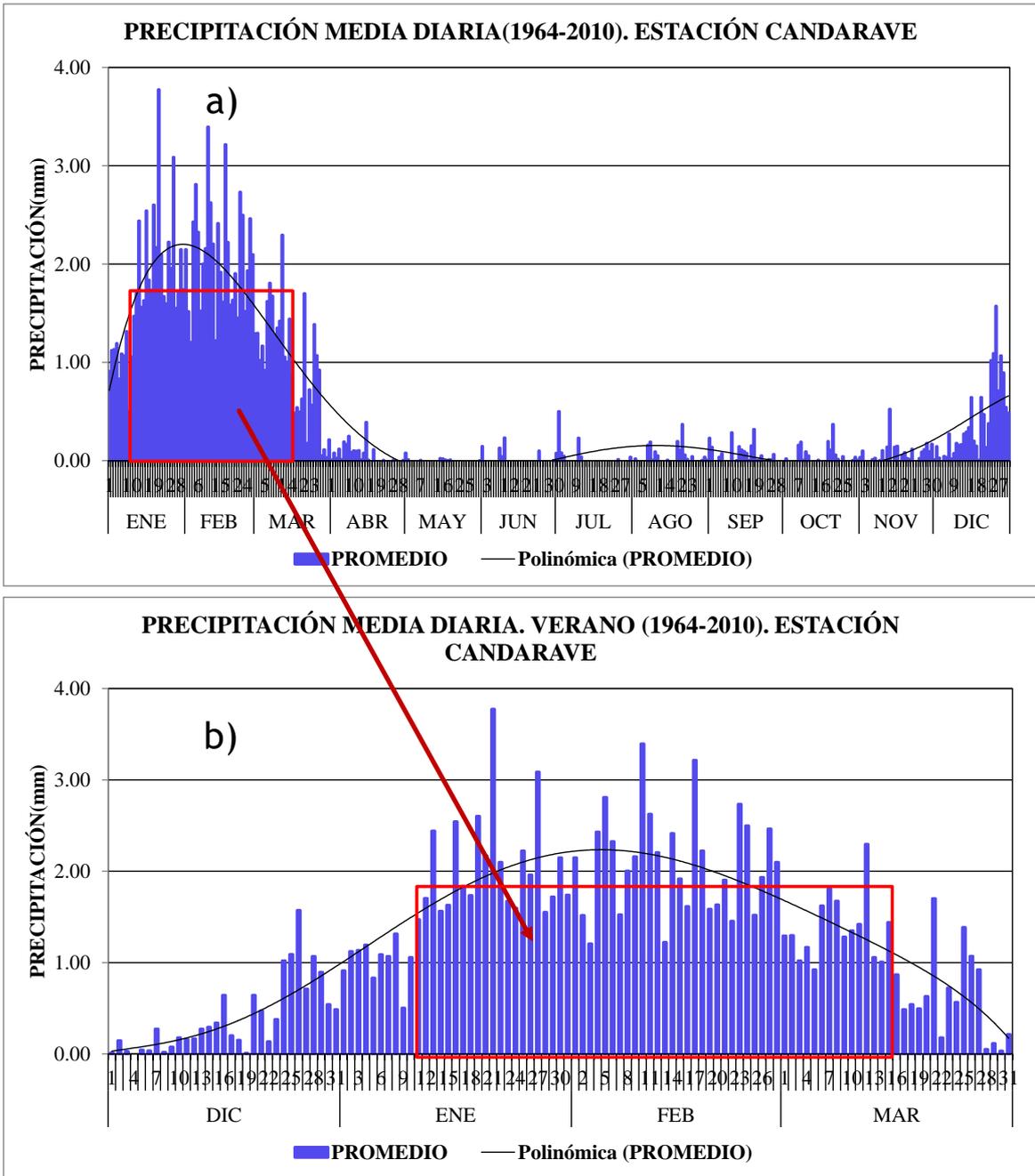


Figura 23: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010)

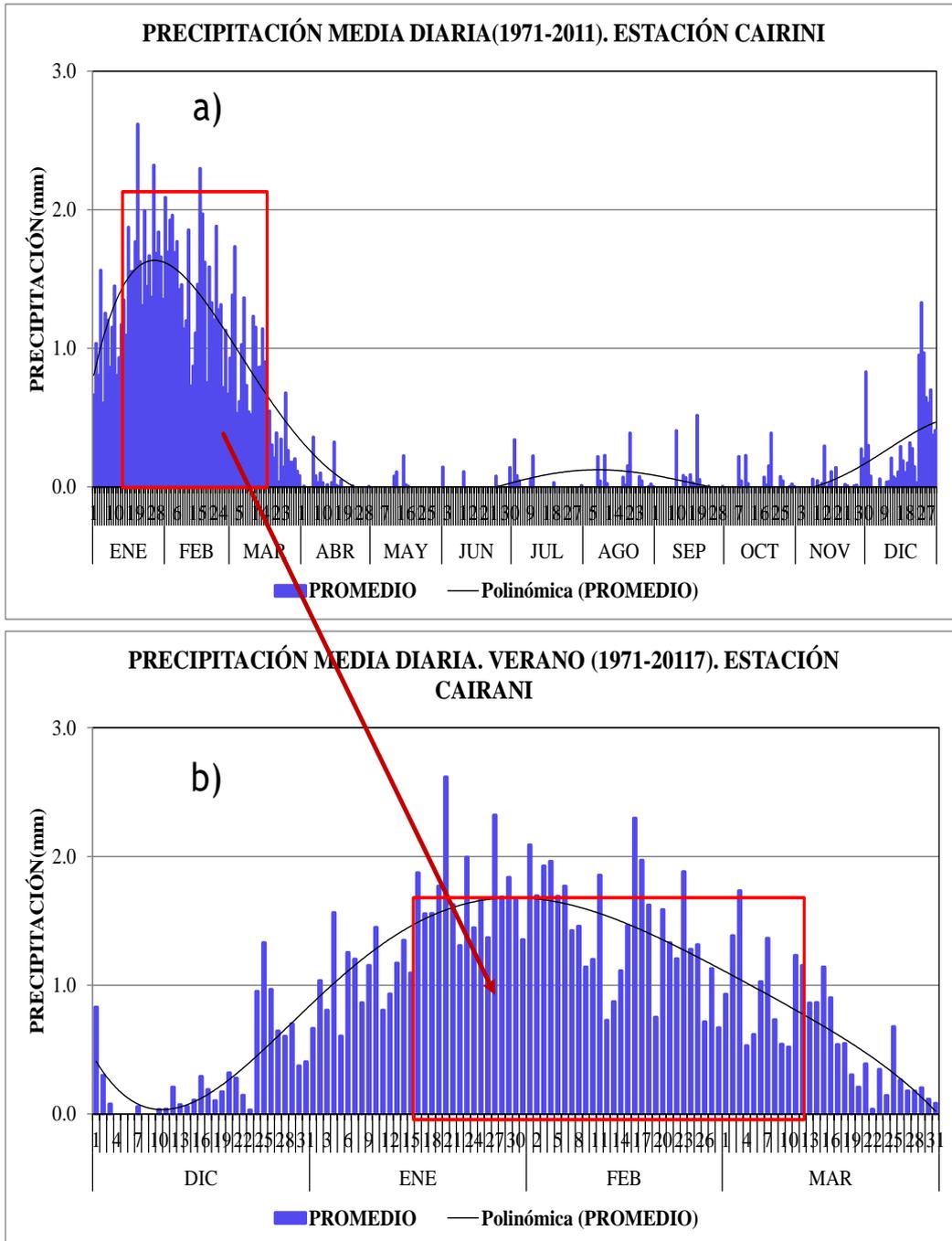
Estación Sitajara. a) Anual b) Estacional: Verano

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 24: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010).
Estación Candarave. a) Anual b) Estacional: Verano.**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 25: Climatología diaria mensual de la precipitación (1964-2010) .
Estación Cairani. a) Anual b) Estacional: Verano**

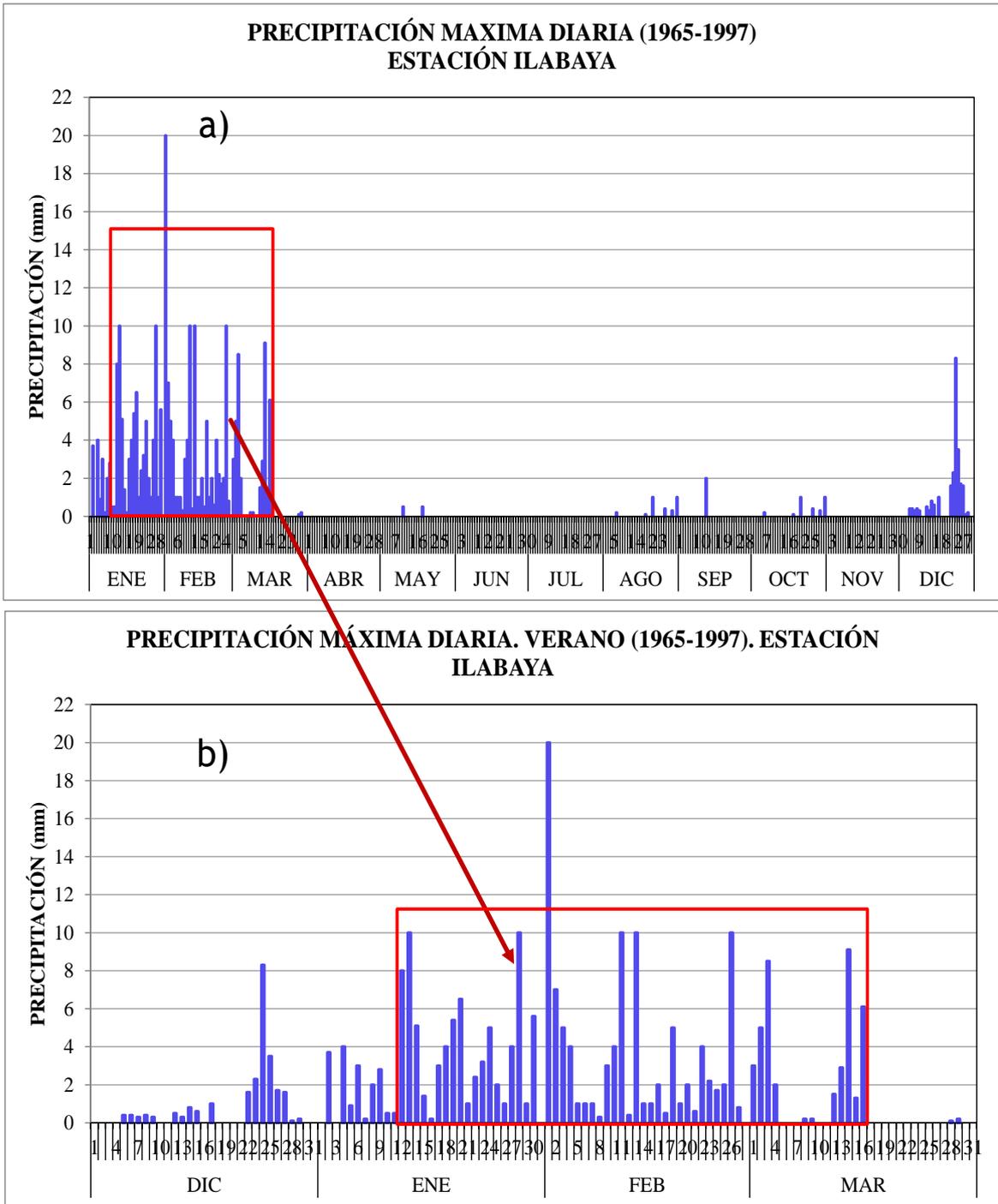
FUENTE: Elaboración propia.

4.2. CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL

De las Figuras 26a, 27a, 28a y 29a, se tiene que las precipitaciones máximas diarias son mayores y más frecuentes en el verano; mientras que el resto del año son muy aisladas, aunque en algunos casos han superado los 10 mm.

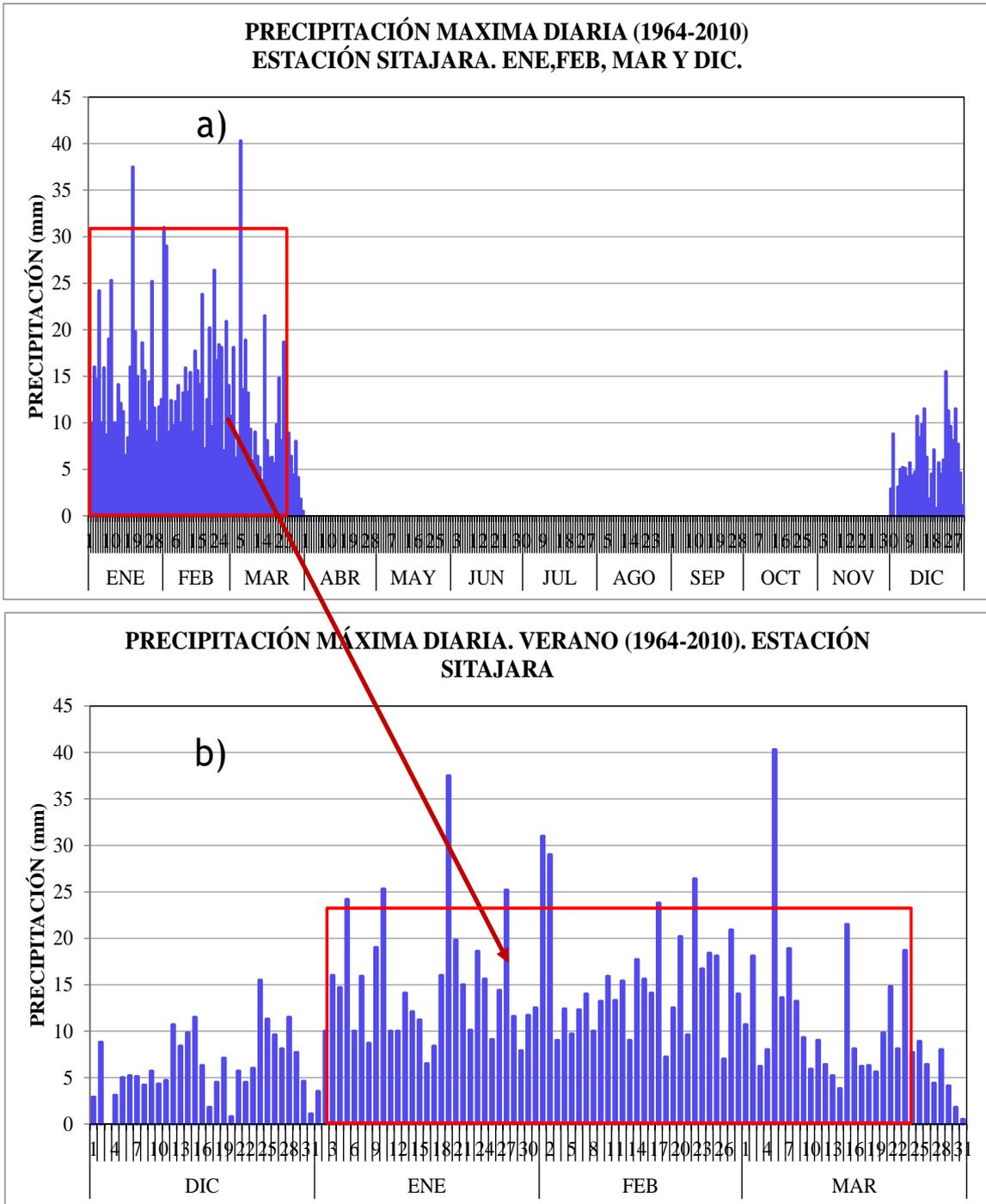
En las figuras 26b, 27b, de las estaciones de Ilabaya y Sitajara, las precipitaciones máximas de mayor importancia recién se dan apartir de enero; con valores que alcanzan entre 20 y 40 mm respectivamente. Mientras que en las figuras 28b y 29b de las estaciones Candarave y Cairani, se observan valores de precipitación máxima de importancia apartir de la tercera década de diciembre hasta la segunda o tercera década de marzo; con valores que alcanzan entre 45 y 35 mm respectivamente. En menor altura las precipitaciones máximas diarias más intensas se dan en enero; mientras que a mayor altura los mayores valores diarios ocurren desde diciembre.

Este comportamiento es debido, al igual que las precipitaciones medias diarias a la influencia del APSO, a la Alta de Bolivia y a las líneas de inestabilidad dadas por las ZCAS.



**Figura 26: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1965-1997)
Estación Ilabaya. a) Anual b) Estacional: Verano**

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 27: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1964-2010)
Estación Sitajara. a) Anual b) Estacional:Verano.**

FUENTE: Elaboración propia.

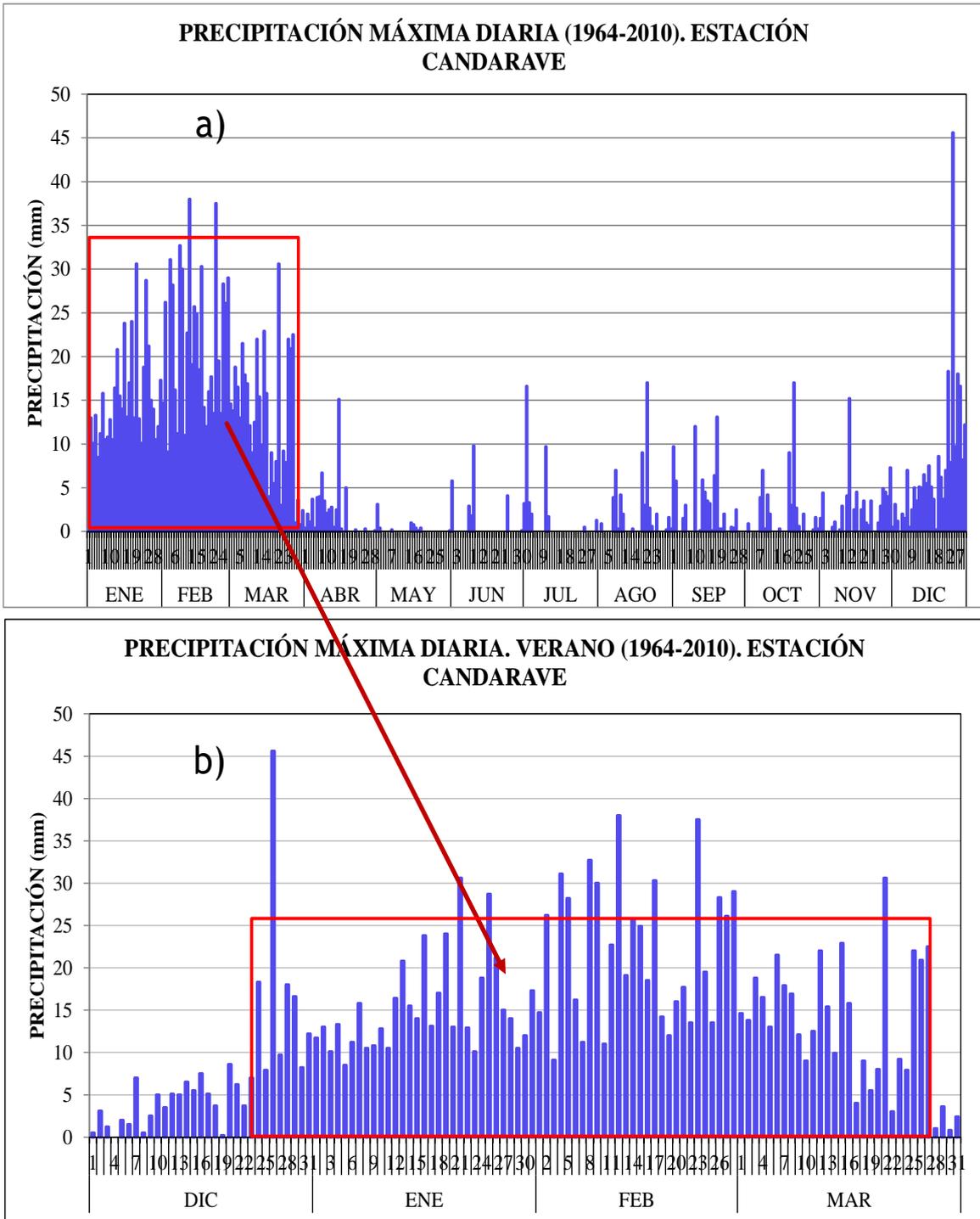


Figura 28: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1964-2010) Estación Candarave. a) Anual b) Estacional: Verano

FUENTE: Elaboración propia.

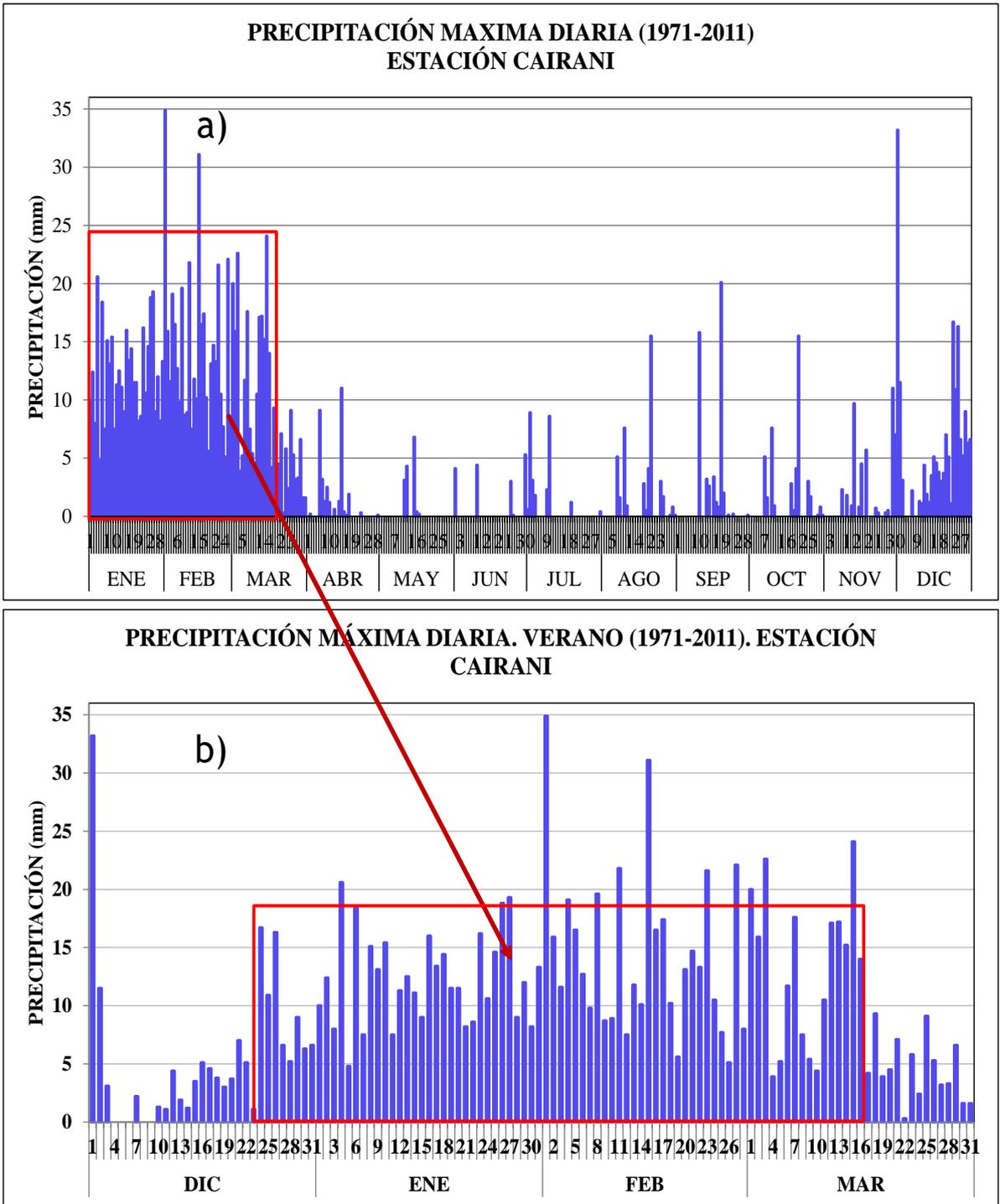


Figura 29: Climatología máxima diaria mensual de la precipitación (1971-2010).

Estación Cairani. a) Anual b) Estacional: Verano

FUENTE: Elaboración propia.

4.3. FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MENSUAL.

En las cuatro estaciones analizadas, la precipitación en la tabla de distribución de frecuencias presenta un sesgo hacia la derecha (positivo), donde el primer intervalo tiene la mayor cantidad de días de precipitación (precipitación desde 0 mm a mas) con frecuencias mayores de 90%. Esto se debe a que las precipitaciones diarias son de **valores bajos** y que hay más días que no llueven. Se cumple que la mediana es mayor que la moda; pero menor que la media (ver Figuras 30, 31, 32 y 33).

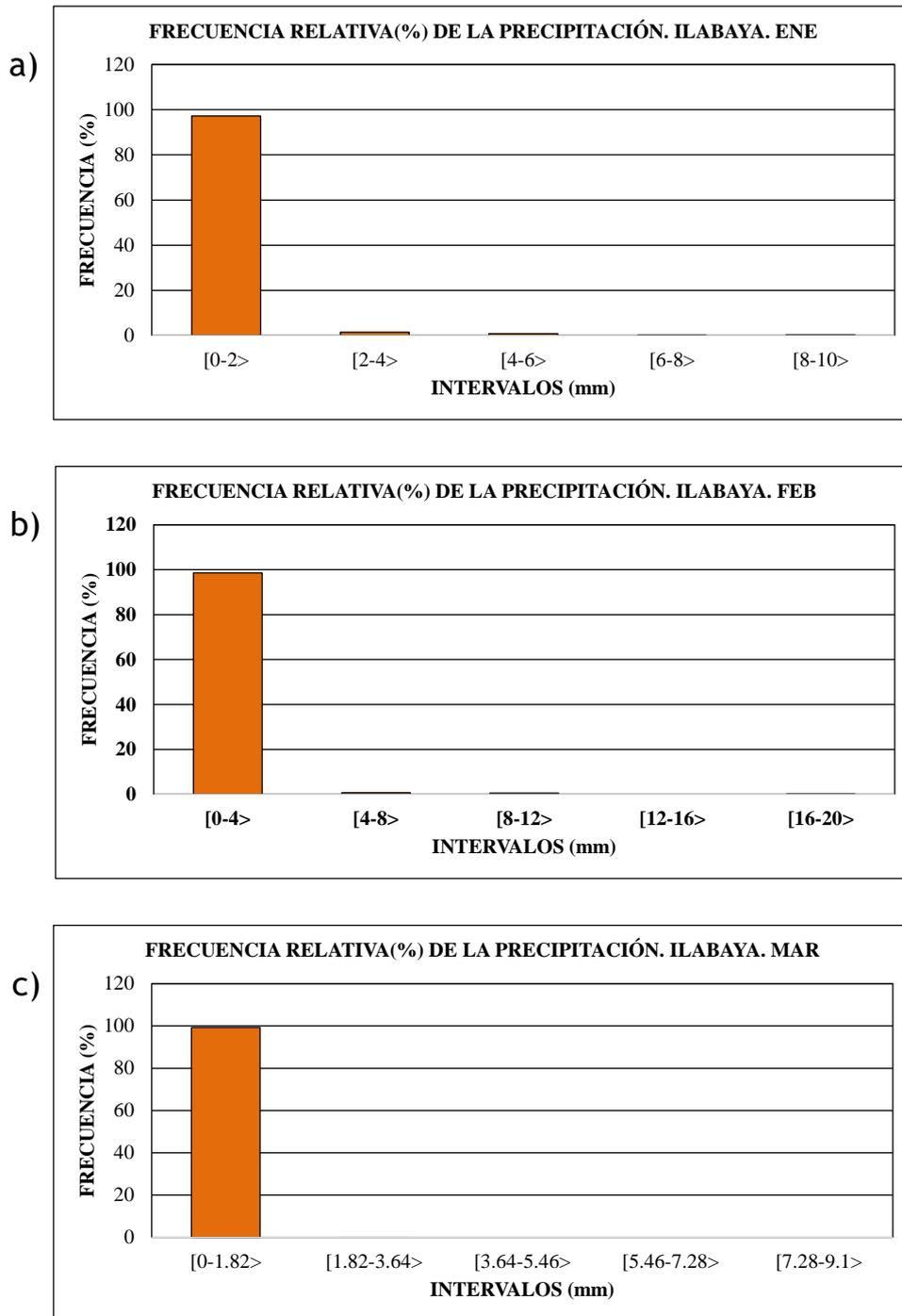


Figura 30: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1965-1997.

Estación Ilabaya. a) Enero, b) Febrero, c) Marzo

FUENTE: Elaboración propia.

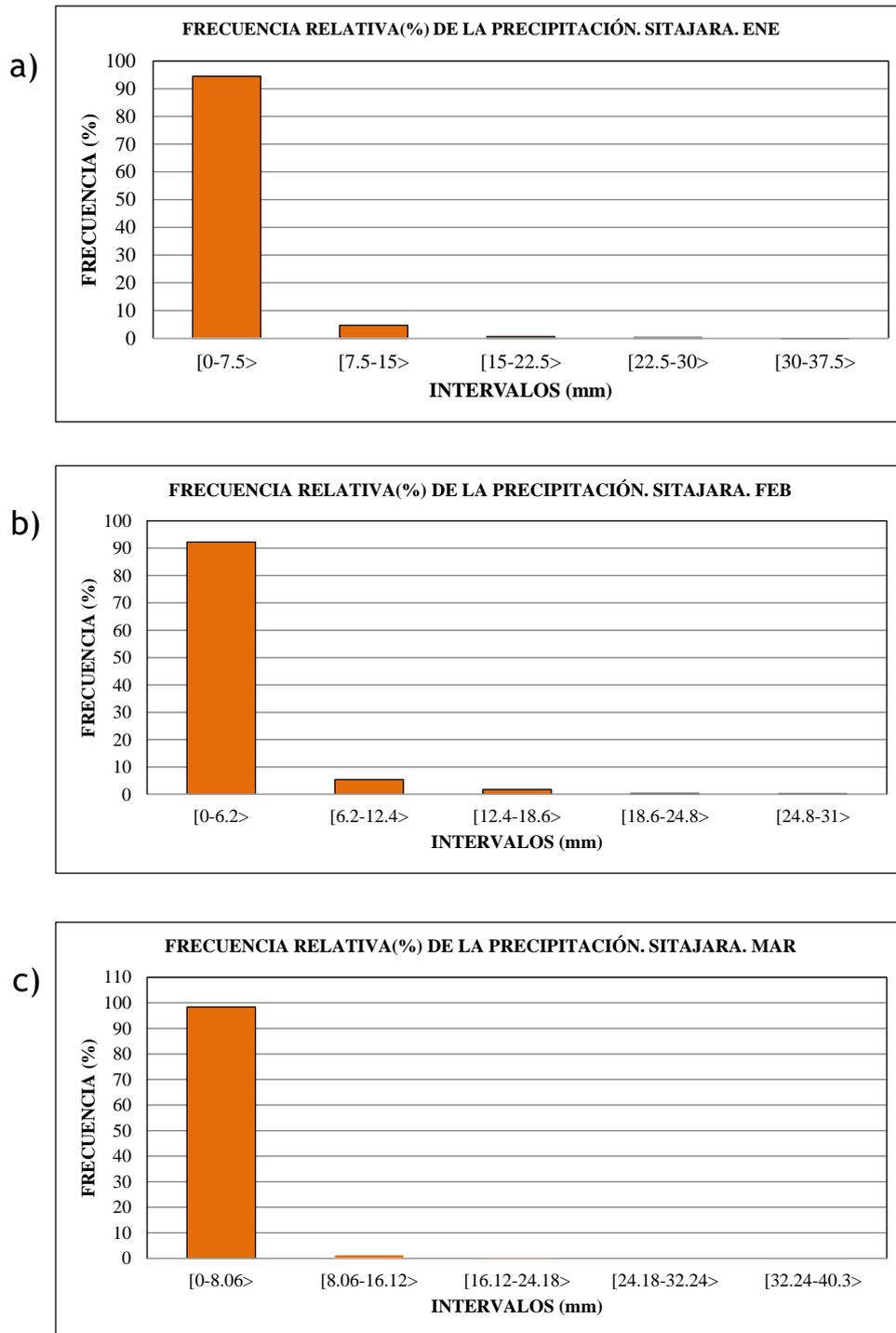


Figura 31: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1964-2010.

Estación Sitajara. a) Enero, b) Febrero c) Marzo

FUENTE: Elaboración propia.

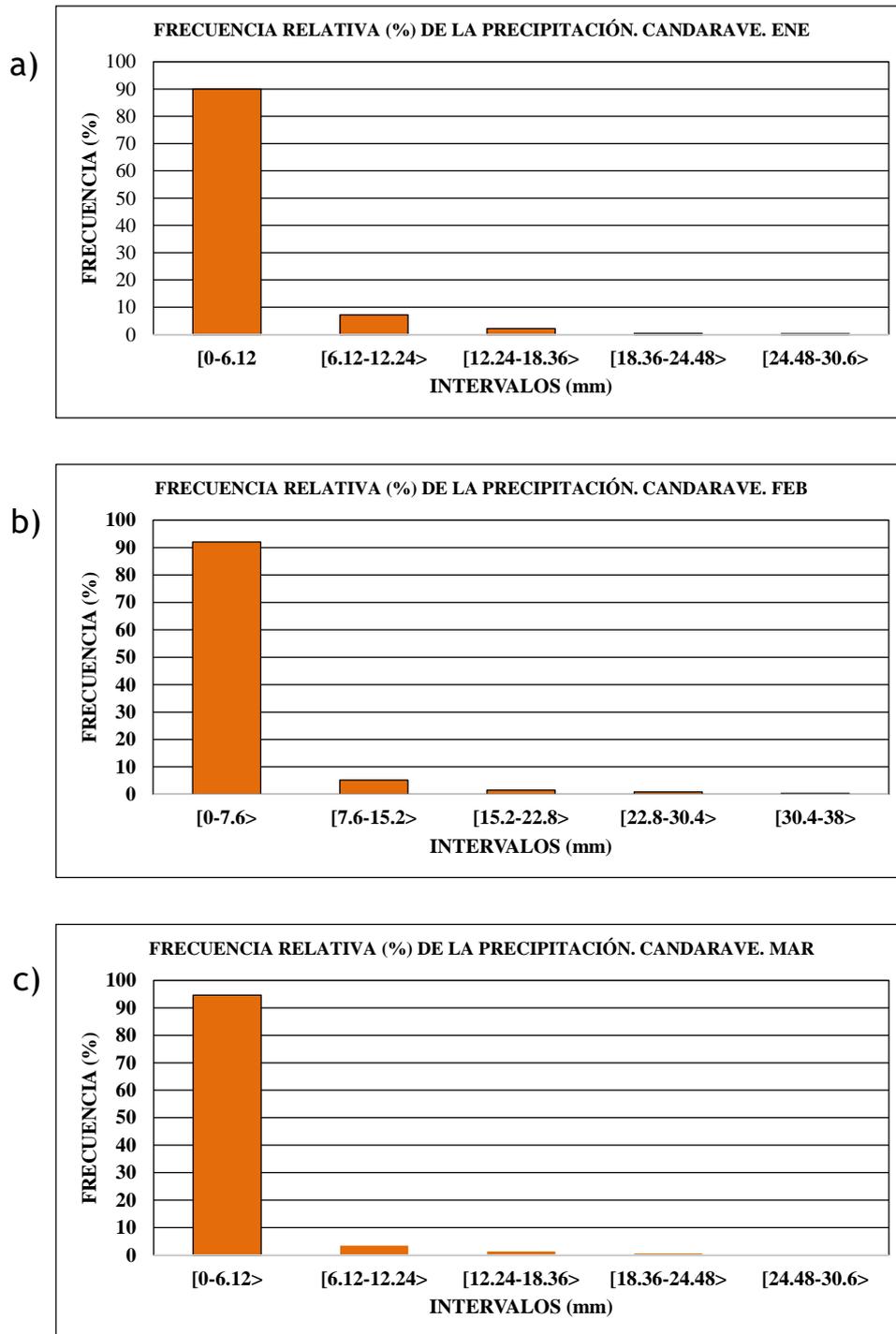


Figura 32: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1964-2010.

Estación Candarave. a) Enero, b) Febrero c) Marzo

FUENTE: Elaboración propia.

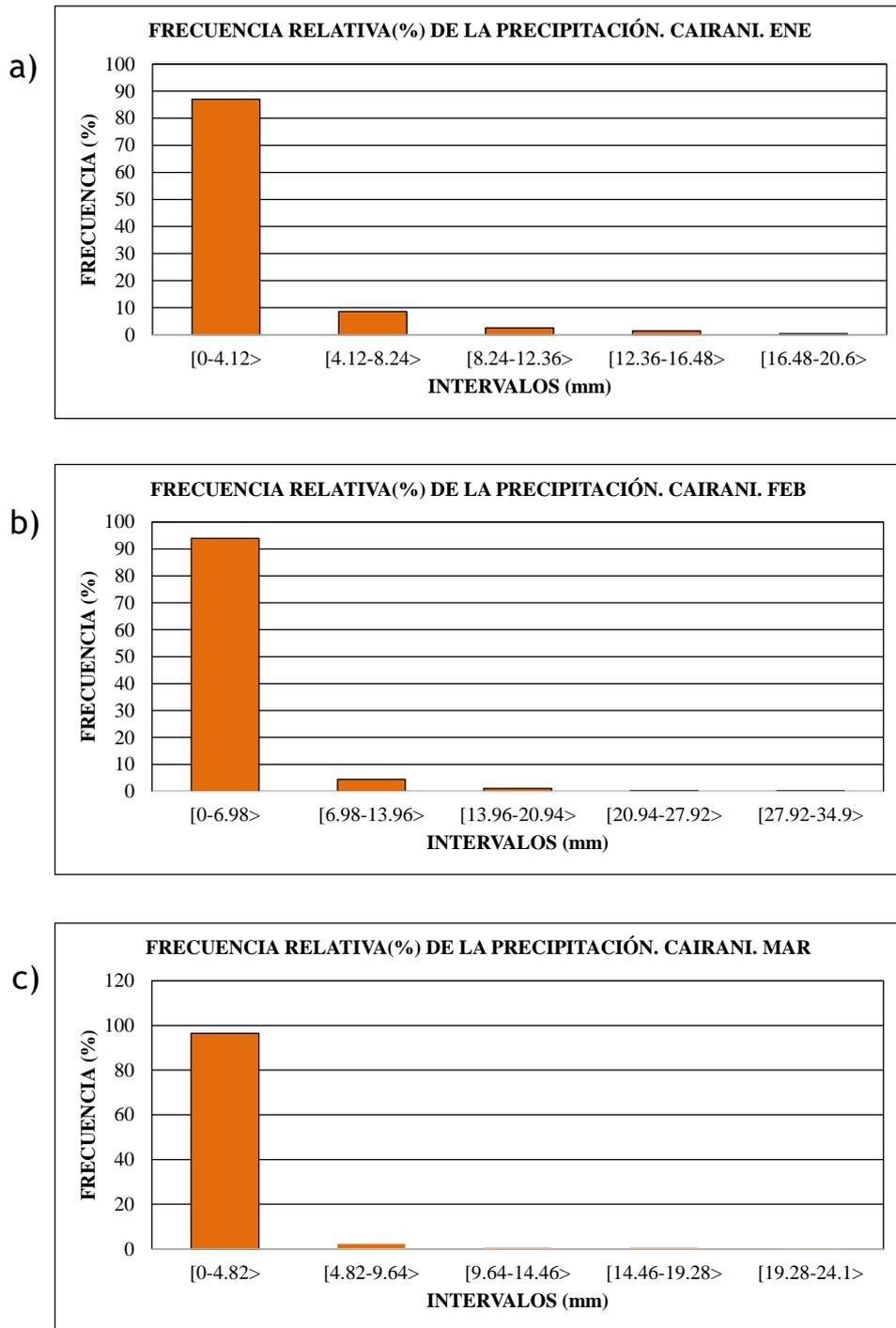


Figura 33: Distribución de frecuencia de la precipitación diaria. 1971-2010.

Estación Cairani. a) Enero, b) Febrero c) Marzo

FUENTE: Elaboración propia.

4.4. FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA MENSUAL CON ACUMULADOS MAYORES A CERO (0)

De las Figuras 34, 35, 36 y 37 de las estaciones de Ilabaya, Sijatara, Candarave y Cairani respectivamente; el mes con mayor número de días de ocurrencia de precipitaciones, es enero a excepción de la Figura 36 (estación de Candarave), que es el mes de febrero. Además; la estación con mayor frecuencia de días con precipitaciones lo presenta Candarave con un 35% (que son 13 días).

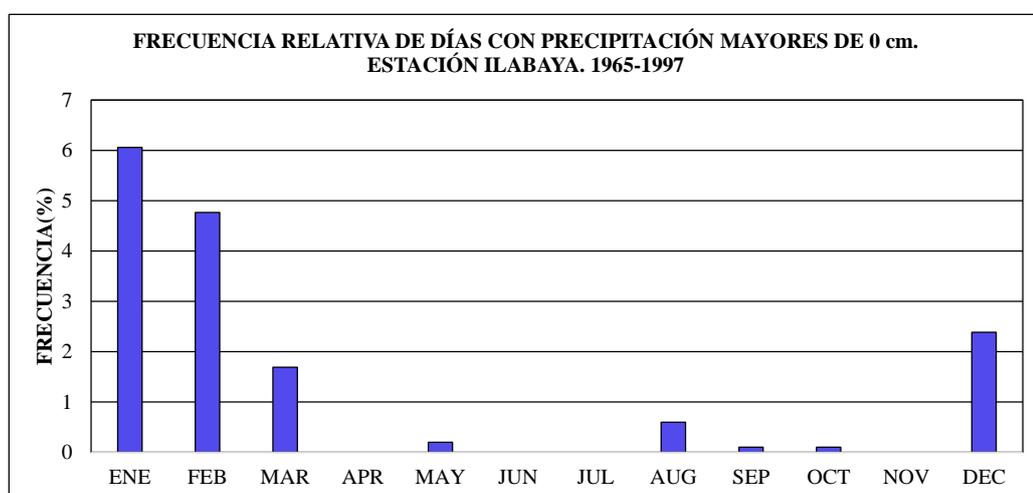


Figura 34: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0). Estación Ilabaya. Período (1965-1997)

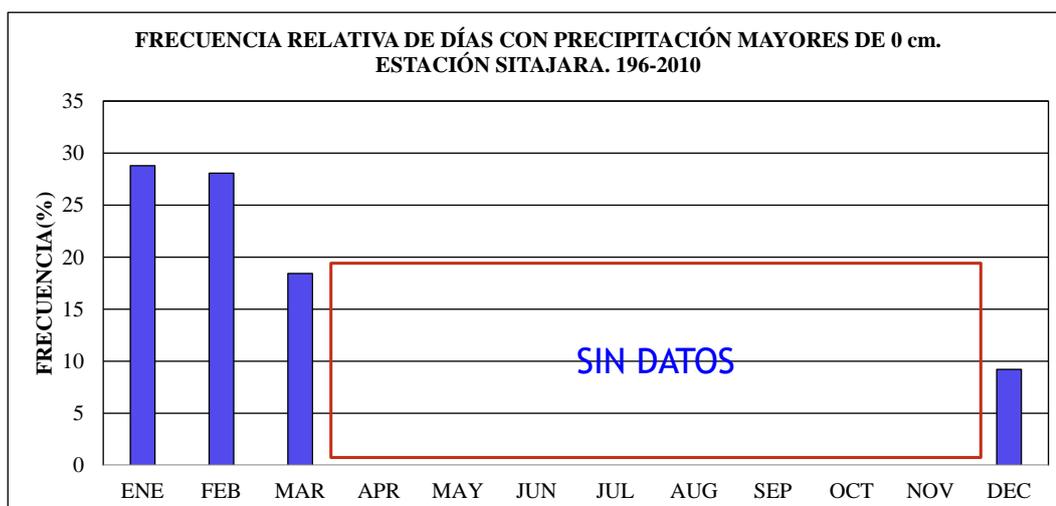


Figura 35: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0). Estación Sitajara. Período (1964-2010)

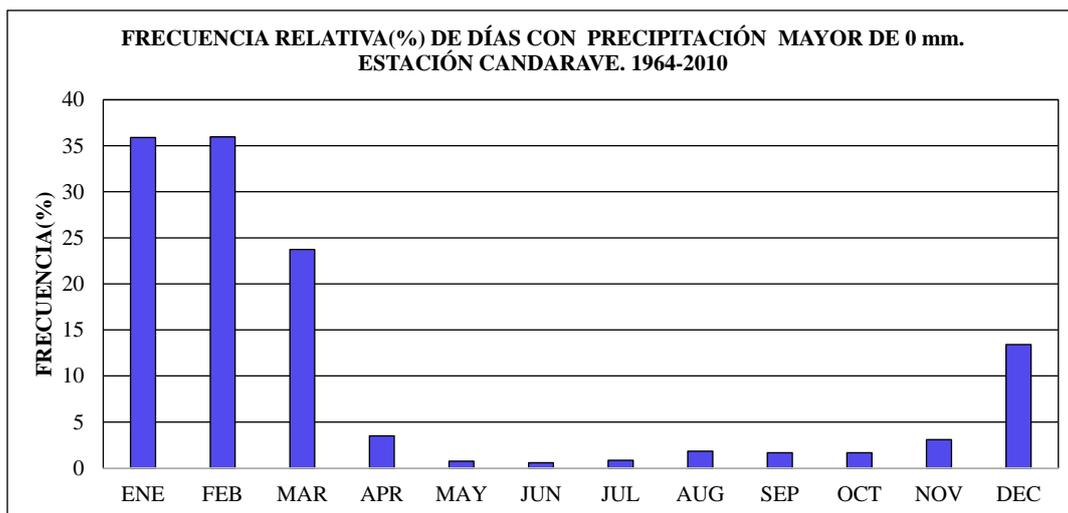


Figura 36: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).

Estación Candarave. Período (1964-2010)

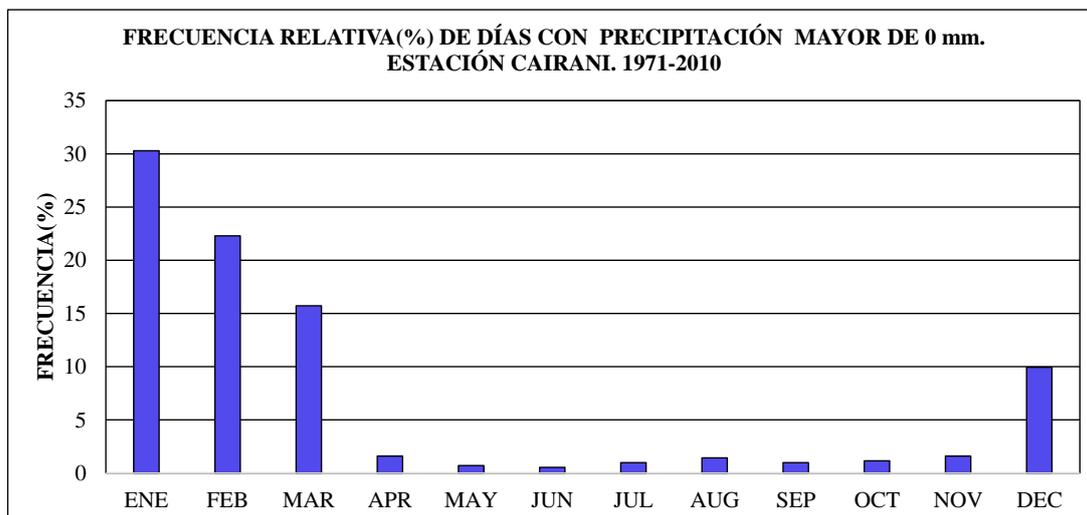


Figura 37: Frecuencia de ocurrencia de precipitaciones diarias (>0).

Estación Cairani. Período (1971-2010)

4.5. VARIACIÓN ANUAL DE LA FRECUENCIA DIARIA MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LOS MESES DE VERANO

La estación Sitajara, del mes de enero (Figura 38a), presenta un comportamiento ondulatorio de frecuencia de días con precipitaciones. Desde 1964 a 2010, se aprecian 3 picos de baja frecuencia: 1964 a 1967, 1979-1992 y 2009 a 2010; y 2 picos de alta frecuencia: 1968 a 1978 y 1993 a 2008. El pico de baja frecuencia de 1979 a 1992, presentó años con cero días de acumulados, como es el caso del año de 1983 y 1992. El

periodo de alta frecuencia de 1993 a 2008; supero en el número de días con precipitaciones al periodo 1968 a 1978. Del 2009 hacia adelante la frecuencia de días con precipitaciones es baja.

De los meses de febrero y marzo, para la estación de Sijatara (Figura 38b y 38c), presentan un comportamiento similar que el mes de enero. Estos meses en 1983 y 1992, tampoco presentaron días con precipitaciones.

En la estación de Candarave de los meses de enero, febrero y marzo (Figura 39 a, b y c), presenta el mismo comportamiento de la estación de Sijatara; aunque presenta datos faltantes como 1965, 1972, 1982, 1983, 1984, 1991 y 2008.

Este comportamiento se debe al balance de presión atmosférica entre Tahiti y Darwin, medido a través de IOS (ver Figura 54 y 55). La variación de este índice presenta similitudes con la frecuencia de días con precipitaciones mayores que cero; por lo que un índice positivo contribuye a mayor número de días con acumulados de lluvia.

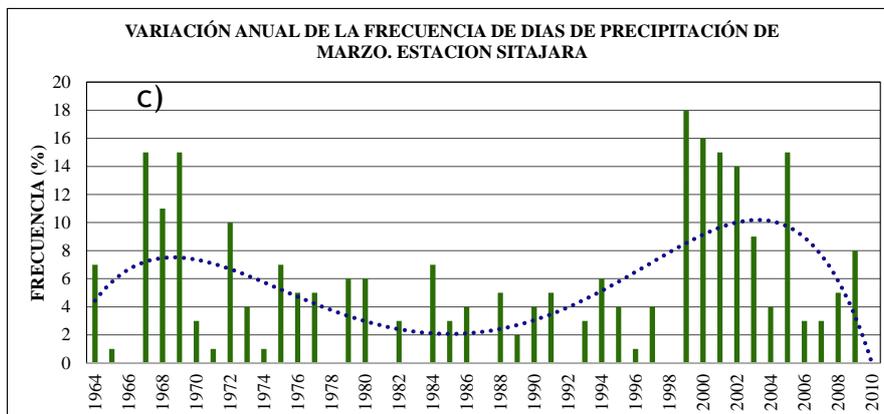
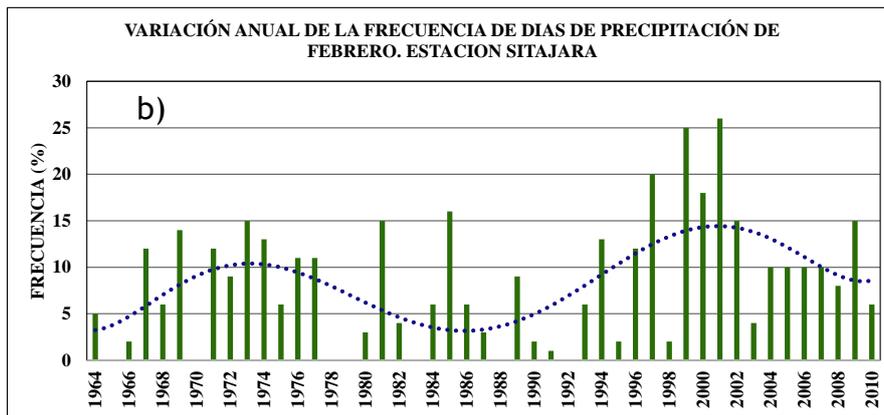
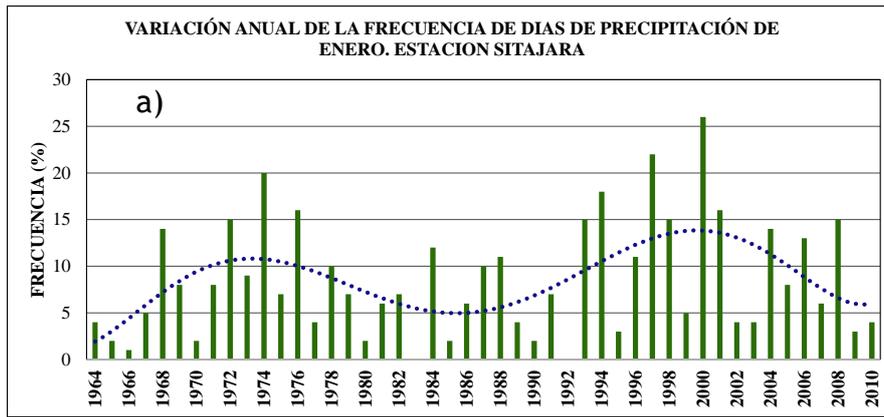


Figura 38: Variación anual de la frecuencia de precipitación diaria mensual.

Estación Sitajara. a) Enero b) Febrero c) Marzo

FUENTE: Elaboración propia.

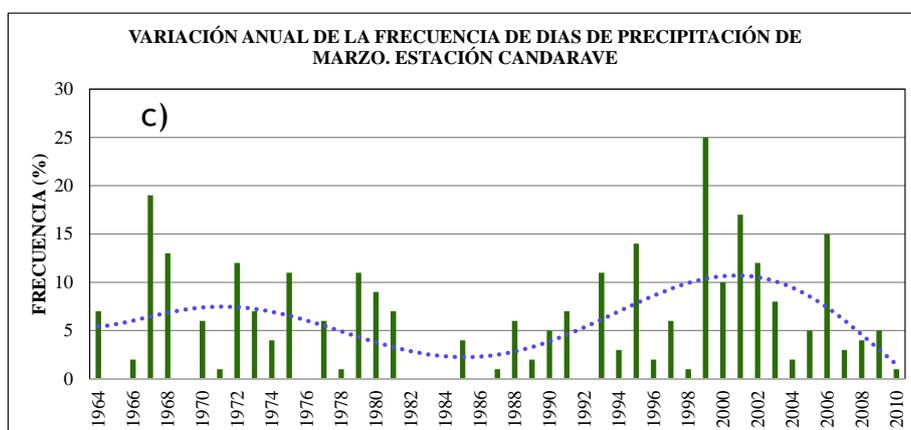
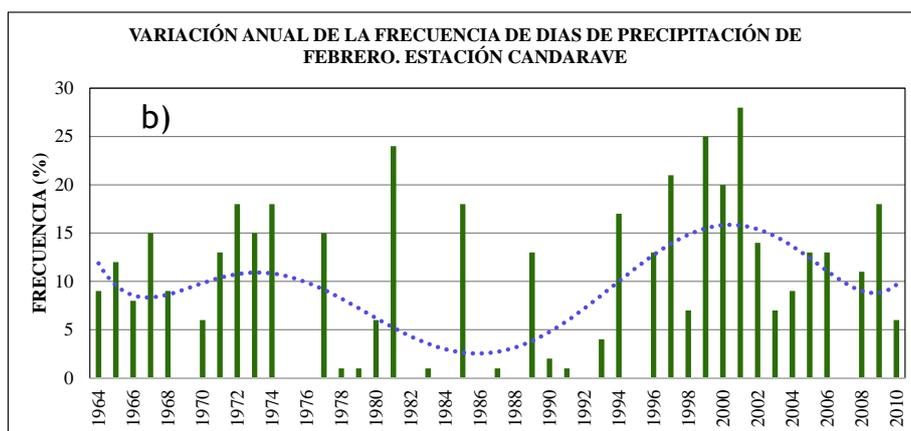
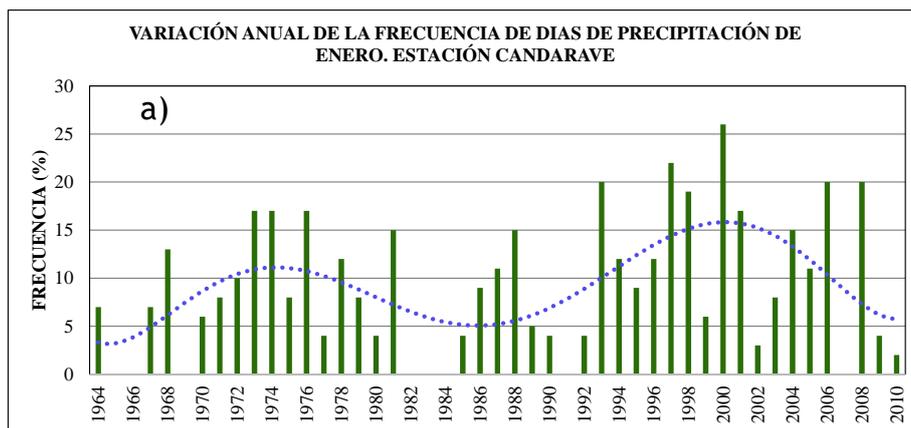
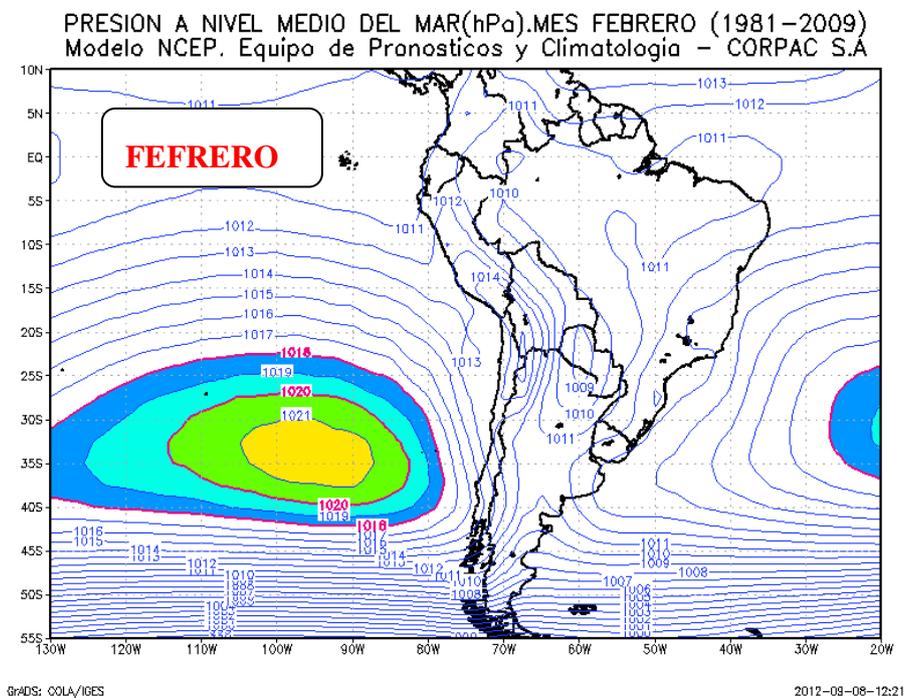
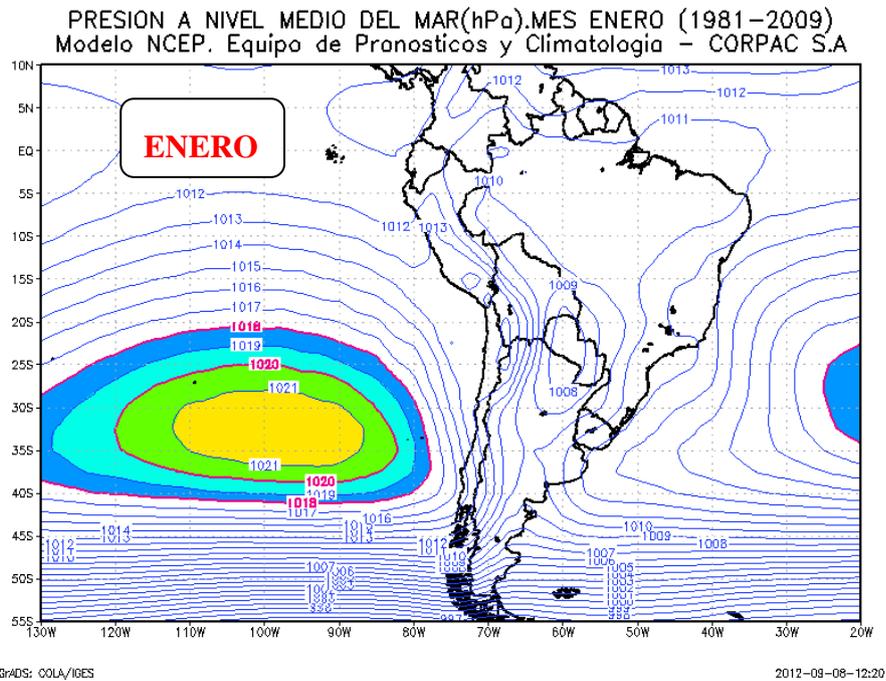


Figura 39: Variación anual de la frecuencia de precipitación diaria mensual. Estación Candarave. a) Enero b) Febrero c) Marzo

4.6. ANÁLISIS SINÓPTICO CLIMÁTICO DE LA OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES DURANTE LA ESTACIÓN DE VERANO

Presión a nivel medio del mar (Figura 40). Se observa que el Anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) en el verano presenta el núcleo más al sur y con valores hasta de

1022 hPa, en el otoño el núcleo del APSO se ubica más al norte y con valores más bajos del año. En el invierno el APSO incrementa de valor y se ubica ligeramente más hacia el sur que en el otoño. En la primavera, el núcleo del APSO presenta los valores más altos hasta de 1023 hPa.



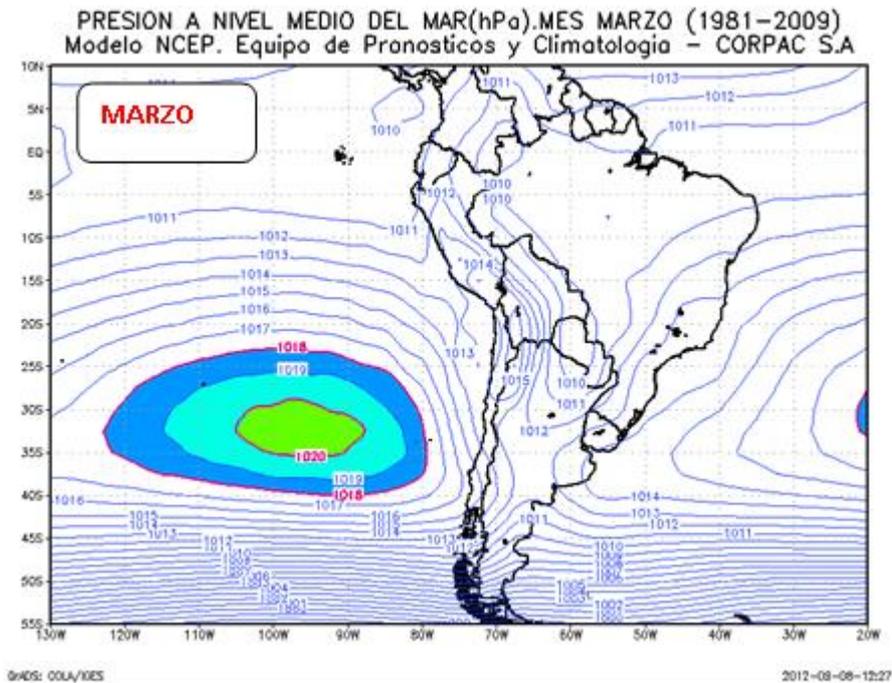


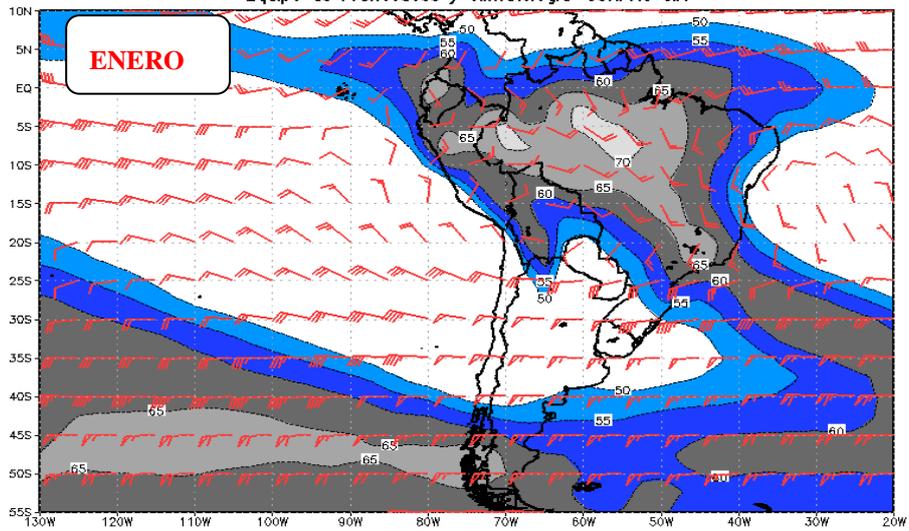
Figura 40: Cartas de superficie: Presión Reducida a nivel medio del mar. ENE, FEB, MAR

FUENTE: Elaboración propia.

Carta de altura (Figura 41). Se observa que, durante el verano, las ZCAS, la ZCIT continental están bien definidas; además se aprecia la Alta Boliviana entre Perú y Bolivia, con vientos del norte sobre la costa.

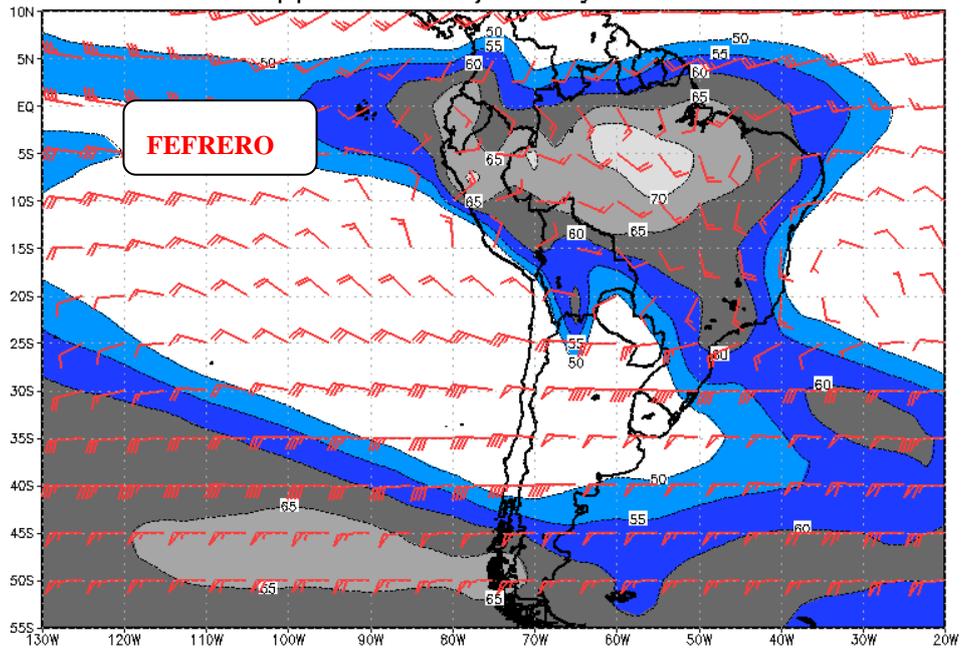
Para el otoño la ZCAS deja de interactuar con el continente y los vientos provienen del oeste por lo que la ZCIT se desplaza hacia el norte. En el invierno la circulación de los oestes se acentúa, secando la atmosfera. En la primavera, en octubre se comienzan a organizar la ZCAS, reaparece la Alta Boliviana, y así empieza nuevamente un periodo húmedo.

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ENTRE 850 A 200 HPa, MES ENERO (1981-2009).
VECTOR VIENTO A 200 HPa (FL 390).
Equipo de Pronosticos y Climatología-CORPAC S.A



GrADS: COLA/IGES

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ENTRE 850 A 200 HPa, MES FEBRERO (1981-2009).
VECTOR VIENTO A 200 HPa (FL 390).
Equipo de Pronosticos y Climatología-CORPAC S.A



GrADS: COLA/IGES

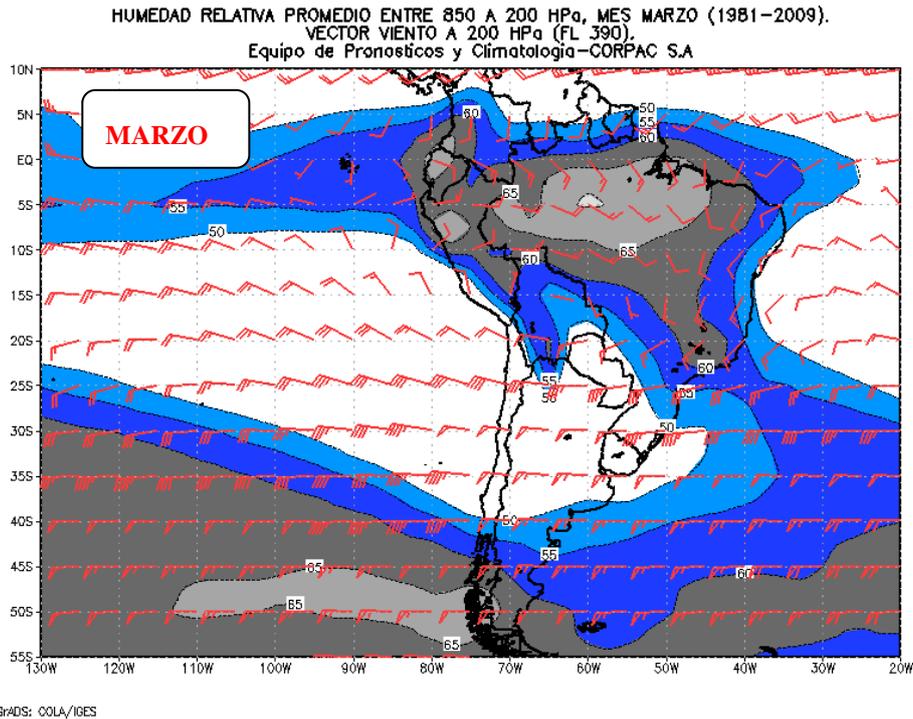


Figura 41: Cartas de altura: Humedad relativa ponderada entre 850 y 200 hPa y el viento total a 200 hPa ENE, FEB, MAR.

FUENTE: Elaboración propia.

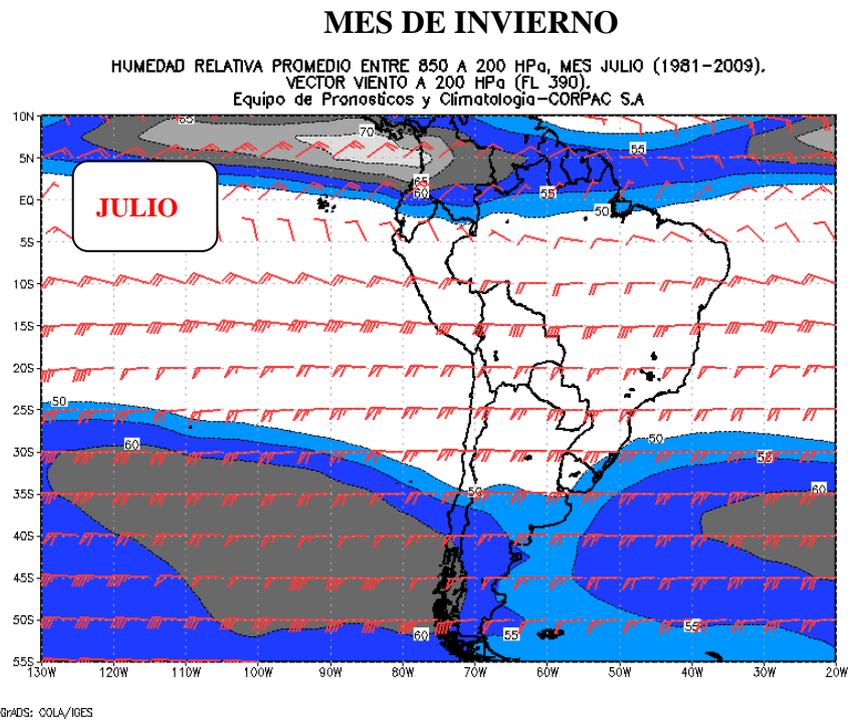


Figura 42: Cartas de altura: Humedad relativa ponderada entre 850 y 200 hPa y el viento total a 200 hPa. JULIO

FUENTE: Elaboración propia.

4.7. ANÁLISIS SINÓPTICO DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA EN AMÉRICA DEL SUR, VORTICIDAD RELATIVA Y DIVERGENCIA EN DIFERENTES NIVELES, DURANTE EL VERANO

a. Nivel de 850 hPa

Carta de altura (Figuras 43, 44 y 45) a nivel de 850 hPa, se observa que la vorticidad negativa y convergencia, coinciden en la parte oriental de la cordillera de los Andes, en la parte sur del continente sudamericano; y entre la costa norte de Perú hasta Colombia, lo que favorece que el desarrollo de nubes convectivas durante el verano, además se ven reforzadas las ZCAS, la ZICT continental.

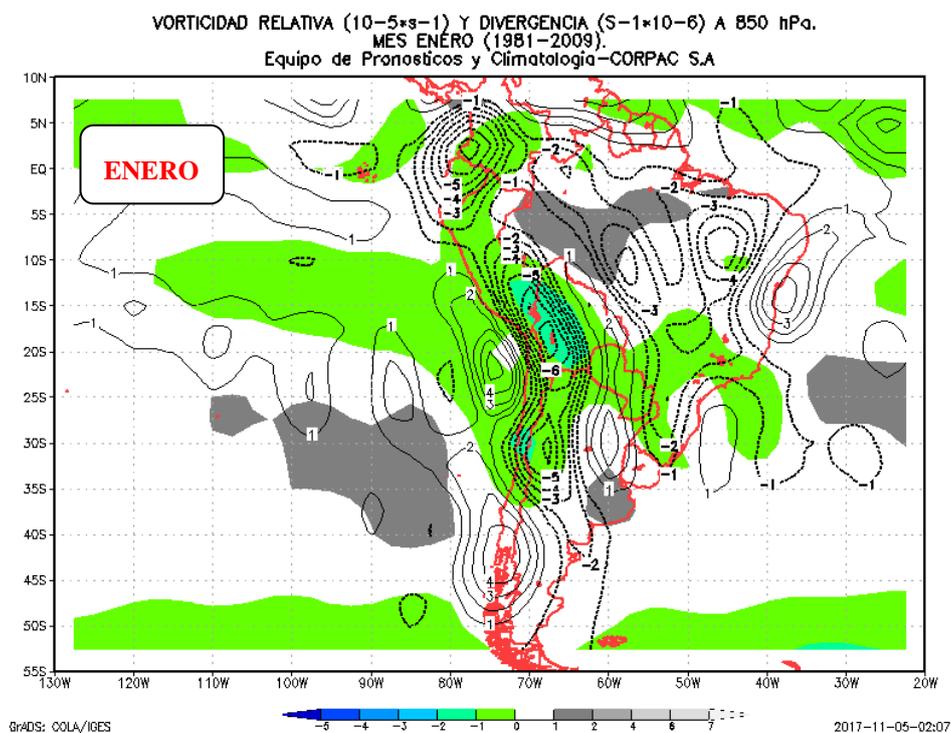


Figura 43: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). ENERO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

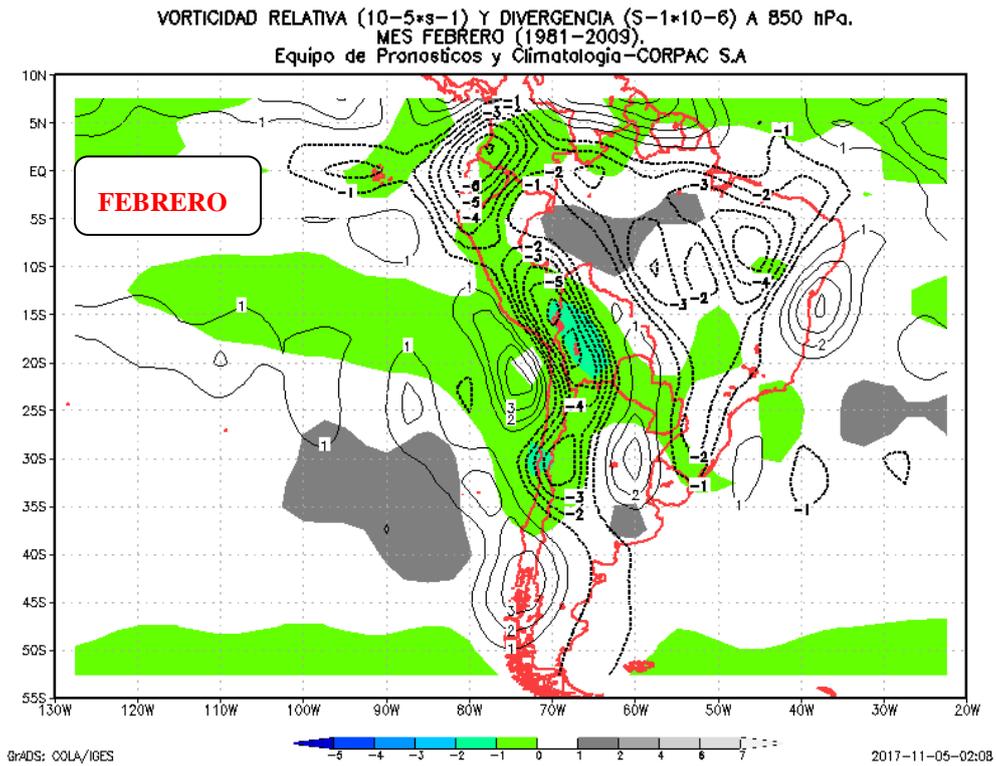


Figura 44: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la Vorticidad relativa (color). FEBRERO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

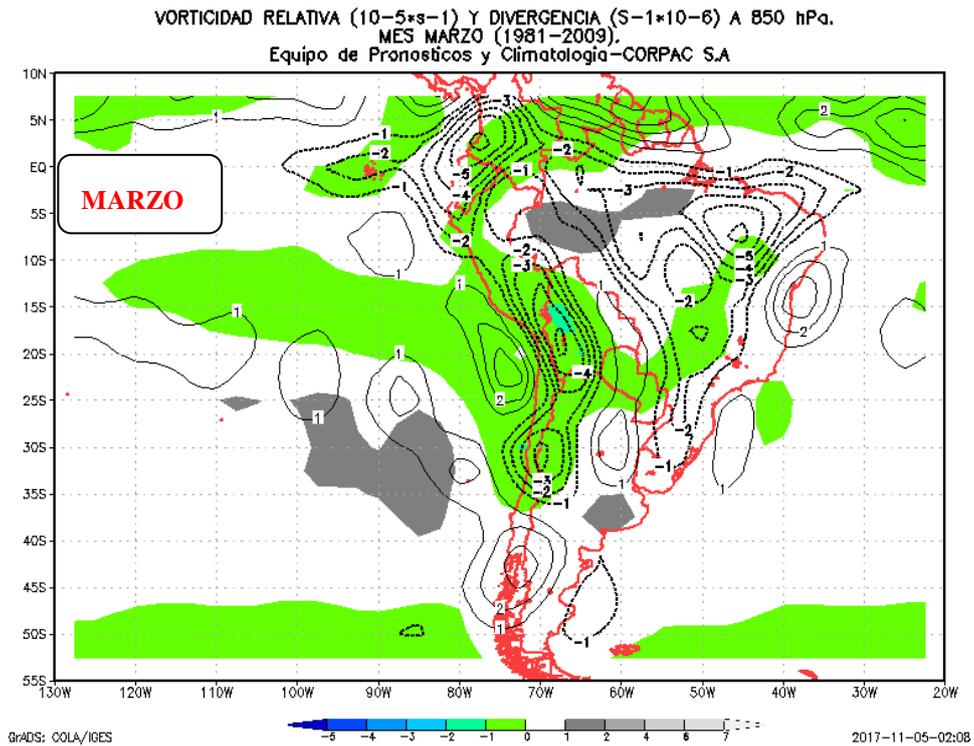


Figura 45: Cartas de 850 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). MARZO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

c. Nivel de 500 hPa

A nivel de 500 hPa, la vorticidad negativa y la divergencia, se traslapan en la parte norte del continente sudamericano, lo que contribuye a la actividad convectiva en dicha zona; en la sierra sur se observa un núcleo de vorticidad negativa lo que favorece a la ocurrencia de precipitaciones.

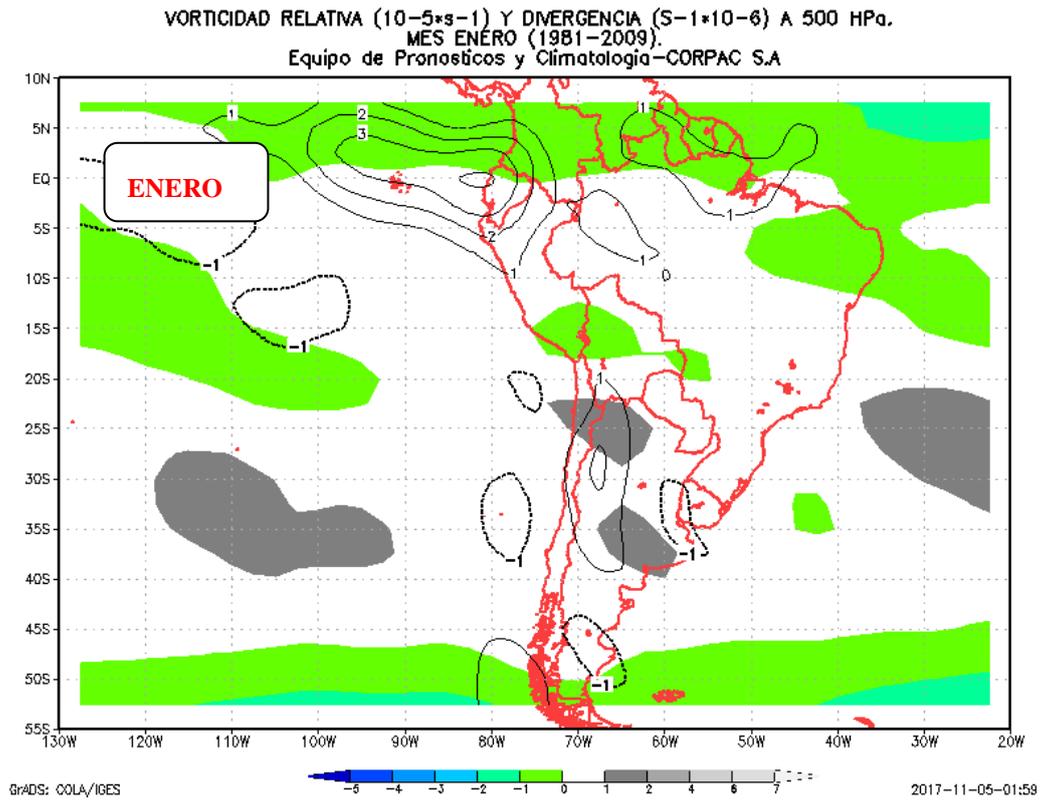


Figura 46: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). ENERO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

VORTICIDAD RELATIVA ($10^{-5} \cdot s^{-1}$) Y DIVERGENCIA ($S^{-1} \cdot 10^{-6}$) A 500 hPa.
MES FEBRERO (1981-2009),
Equipo de Pronósticos y Climatología-CORPAC S.A

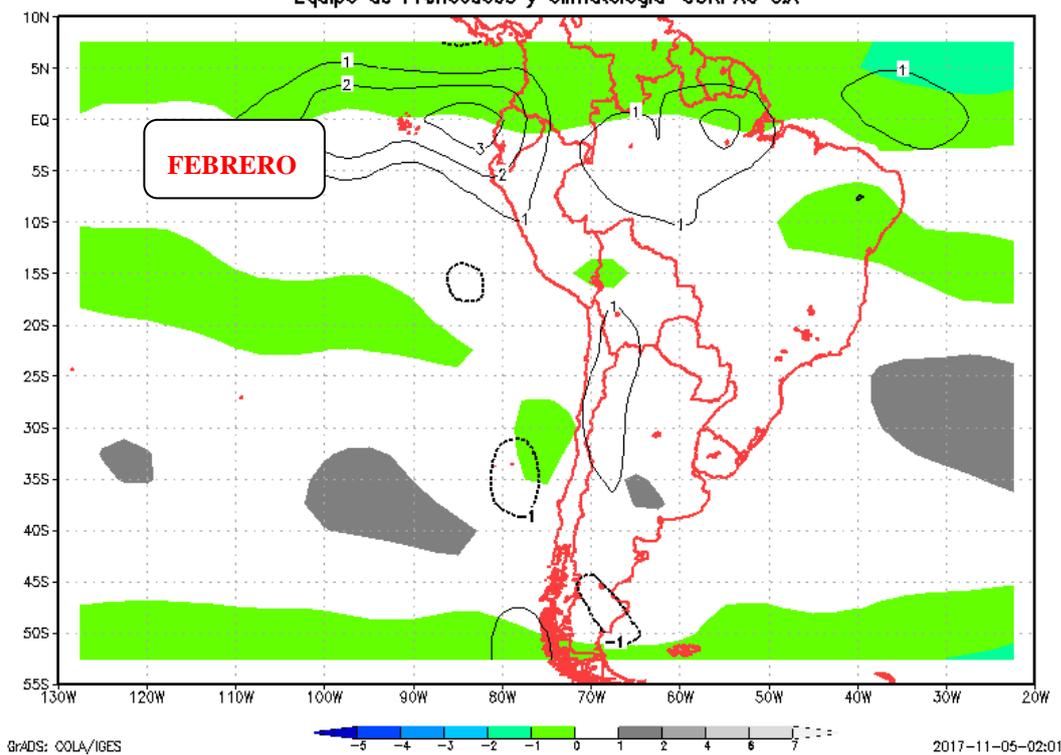


Figura 47: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). FEBRERO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

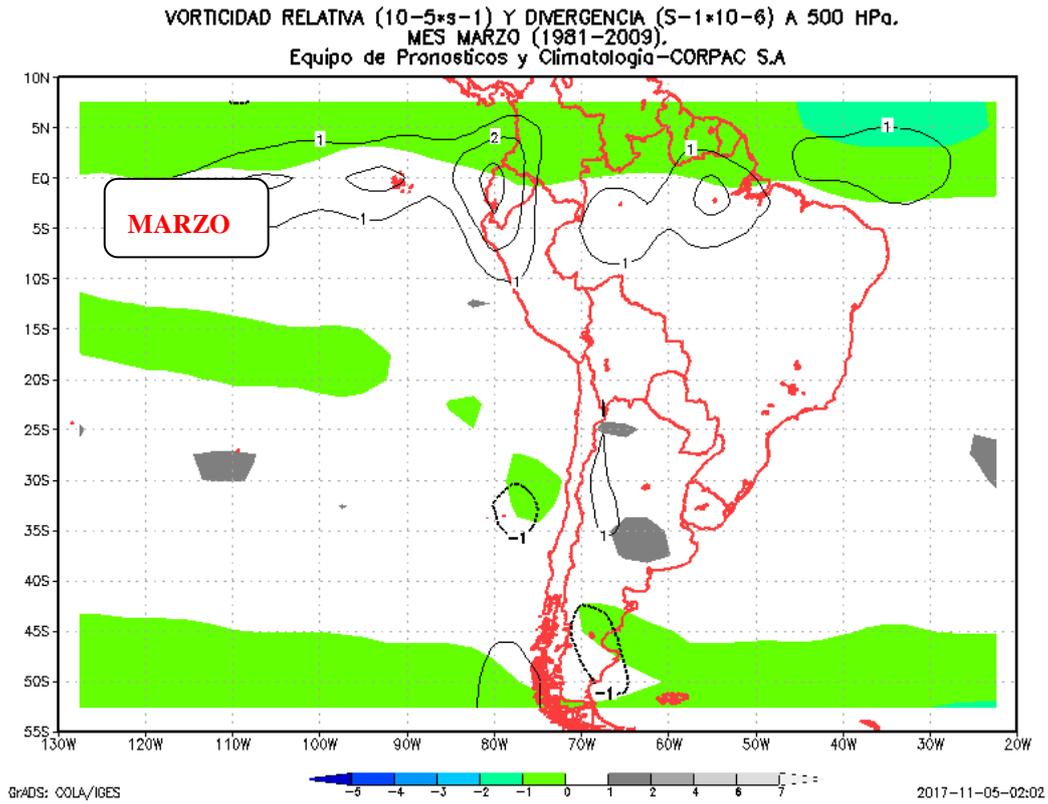


Figura 48: Cartas de 500 hPa: Divergencia (líneas continuas), convergencia (líneas punteadas) y la vorticidad relativa (color). MARZO (1980-2010)

FUENTE: Elaboración propia.

d. Nivel de 200 hPa

A nivel de 200 hPa, la vorticidad positiva se ubica entre Perú, Bolivia y Brasil que corresponde a la presencia de la Alta de Bolivia (AB). Al norte de la AB, se observa una gran área de divergencia, lo que favorece a la actividad convectiva en dicha zona; mientras que al Oeste de AB, existe un área de convergencia, lo que inhibe la actividad convectiva sobre la costa de Perú y norte de Chile.

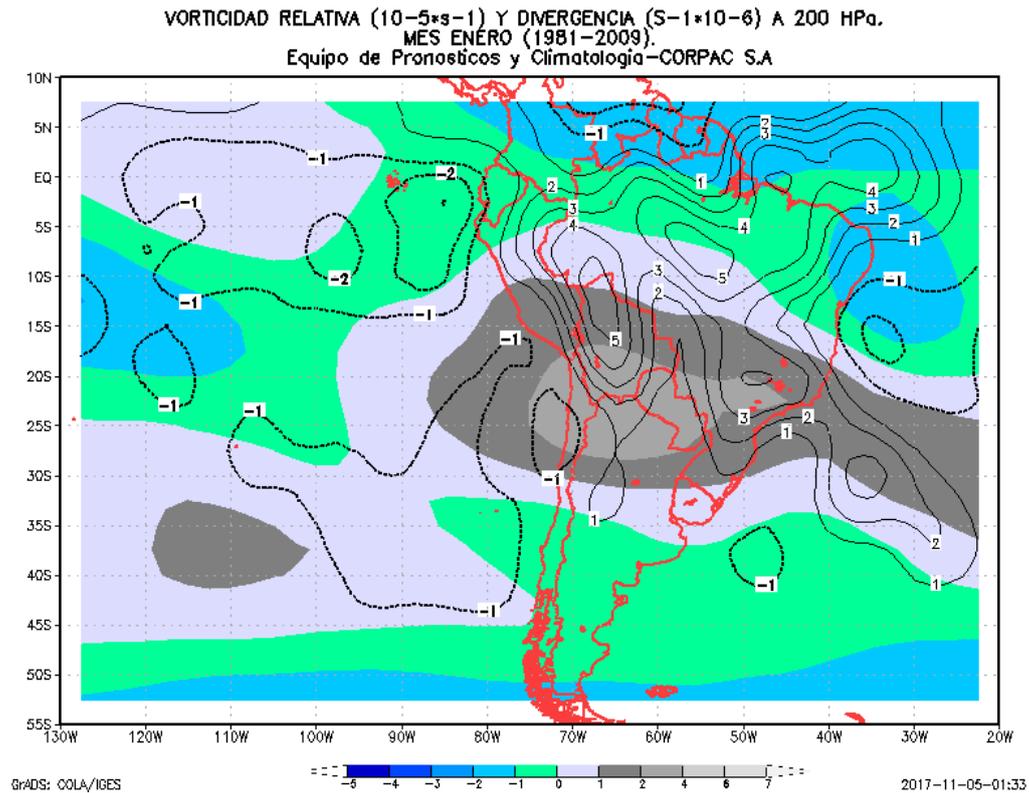


Figura 49: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. ENERO.

FUENTE: Elaboración propia.

VORTICIDAD RELATIVA ($10^{-5} s^{-1}$) Y DIVERGENCIA ($S^{-1} \times 10^{-6}$) A 200 hPa.
MES FEBRERO (1981-2009).
Equipo de Pronósticos y Climatología-CORPAC S.A

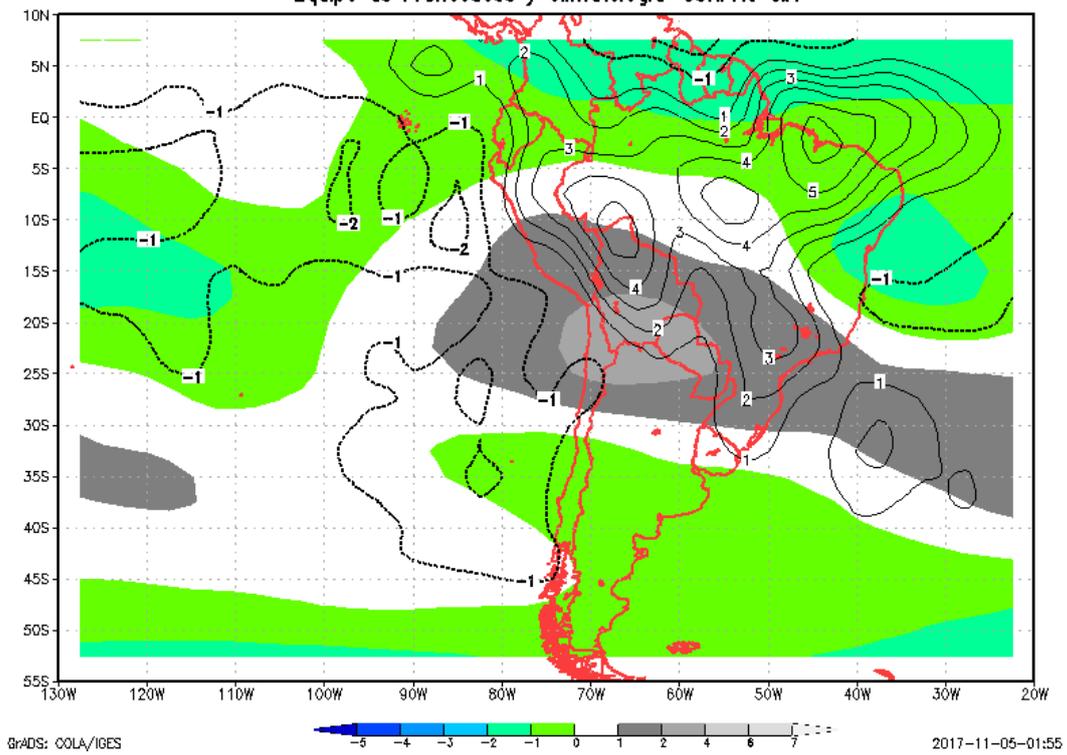


Figura 50: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. FEBRERO.

FUENTE: Elaboración propia.

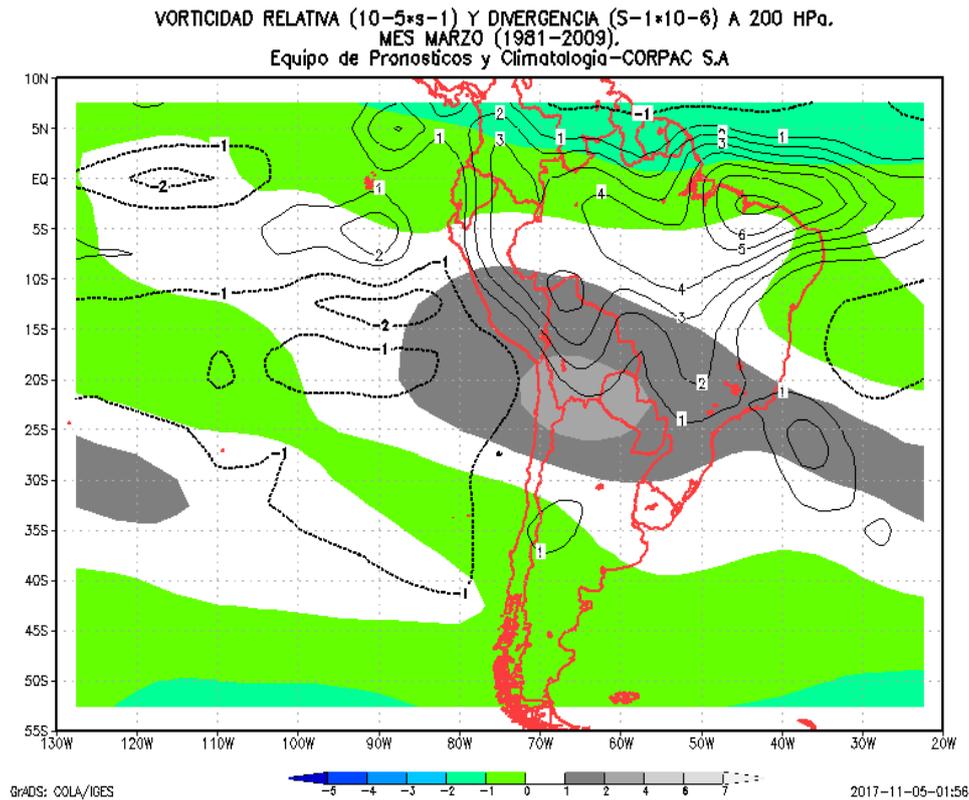


Figura 51: Vorticidad relativa y divergencia a nivel 200 hPa. MARZO.

FUENTE: Elaboración propia.

4.8. ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA A NIVEL DE SUPERFICIE PARA EL VERANO (ENERO, FEBRERO Y MARZO), ALTA PRESIÓN (APS) Y BAJA PRESIÓN, LA ZCIT, ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL Y ZONA DE CONVERGENCIA DEL ATLÁNTICO SUR ZCAS

El vapor de agua es transportando desde el océano Atlántico al sur y el norte de la cuenca del Amazonas. El centro de altas presiones en el Pacífico Sur (Figura 48), conocido como el anticiclón del Pacífico Sur (APS) se desplaza hacia el sur (de 35° a 100° W aproximadamente), mientras que las altas presiones del Atlántico Sur (el anticiclón de Atlántico Sur, AAS) es debilitado (de 30° a 10° W aproximadamente). (Espinoza, 2009) y esto se puede apreciar en la (Figura 52).

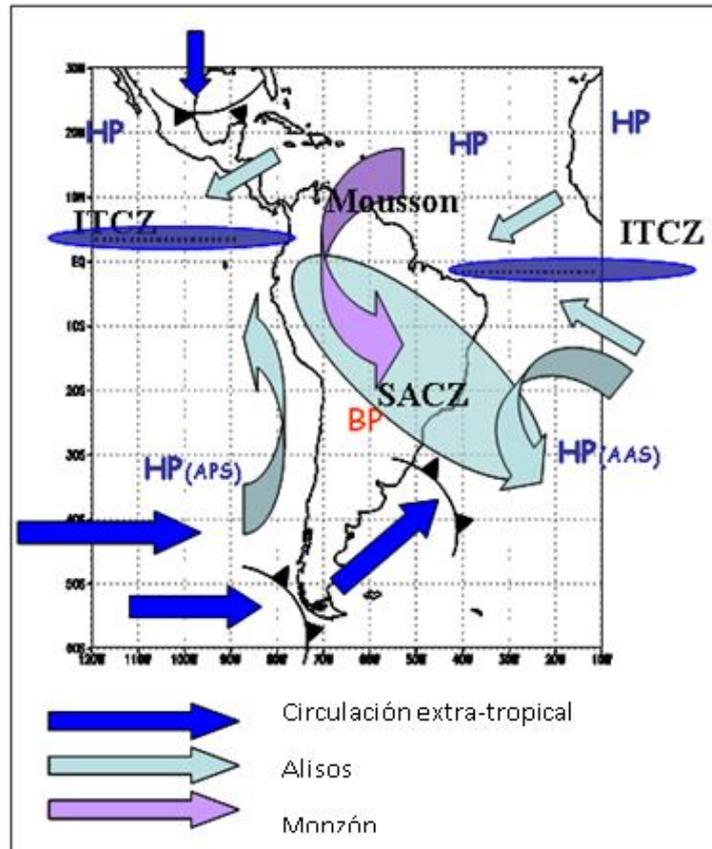


Figura 52: Esquema de circulación atmosférica a nivel superficial en América de Sur para el verano austral (diciembre, enero y febrero). HP y BP representan los centros de alta y bajas presiones, respectivamente, ZCIT, la Zona de Convergencia Intertropical y ZCAS, la Zona de Convergencia del Atlántico Sur.

FUENTE: Espinoza (2009)

Durante el invierno (Figura 53), la AB desaparece. Los vientos predominantes sobre el centro y sur de Sudamérica (incluyendo el centro y sur del Perú) son del Oeste (dirección de Oeste a Este), éstos son flujos de aire seco, que, asociados al enfriamiento generalizado en la región, contribuyen a la marcada estabilidad atmosférica sobre el territorio, característico de esta época del año. Por otro lado, se intensifica y predomina la HP Subtropical sobre el continente y sobre los océanos Atlántico y Pacífico, entre las latitudes 25°S y 45°S, alcanzando en estos meses, su posición más extrema norte en el año. Además, la ZCIT se desplaza hacia el hemisferio norte en consecuencia el flujo del Monzón se desplaza hacia el norte se observan precipitaciones máximas en el norte del continente, incluso en el extremo norte de la cuenca del Amazonas (Figura 53). El Anticiclón del Atlántico Sur (ASA), se fortalece y se desplaza hacia el continente.

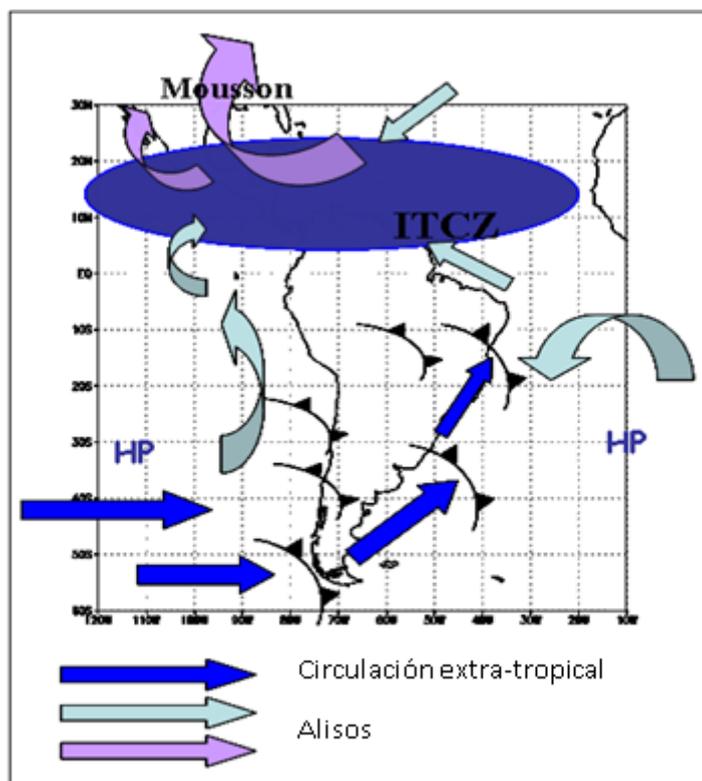


Figura 53: Esquema de circulación atmosférica a nivel superficial en América de Sur para el invierno austral (junio, julio y agosto)

FUENTE: Espinoza (2009)

En este sentido, las precipitaciones, en promedio, para toda la zona de estudio se inician en el mes de julio y se incrementan gradualmente en los meses de agosto y setiembre, haciéndose más significativas a partir de octubre hasta alcanzar valores máximos en febrero. Los meses de máximas precipitaciones son enero, febrero y marzo, en abril la precipitación disminuye bruscamente, para luego alcanzar los valores mínimos en junio. Este patrón se cumple en casi todas las estaciones de la zona de estudio. El 83% de la precipitación anual ocurre entre los meses de octubre a abril, de los cuales el 48% están distribuidos casi equitativamente entre los meses de enero, febrero y marzo.

4.9. ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR.

Se aprecian un comportamiento de una onda con periodos de predominancia de valores negativos y positivos. La fase positiva abarca el período 1967 a 1977 y de 1996 a 2009 y la fase negativa de 1978 a 1995. Este comportamiento tiene una gran similitud con el

comportamiento de la frecuencia de precipitaciones mayores de cero milímetros en las estaciones de Candarave y Sitajara, por lo que después del 2010, se prevé que las frecuencias de precipitaciones han sido de forma general menores a lo esperado (se recomienda realizar la verificación usando este índice).

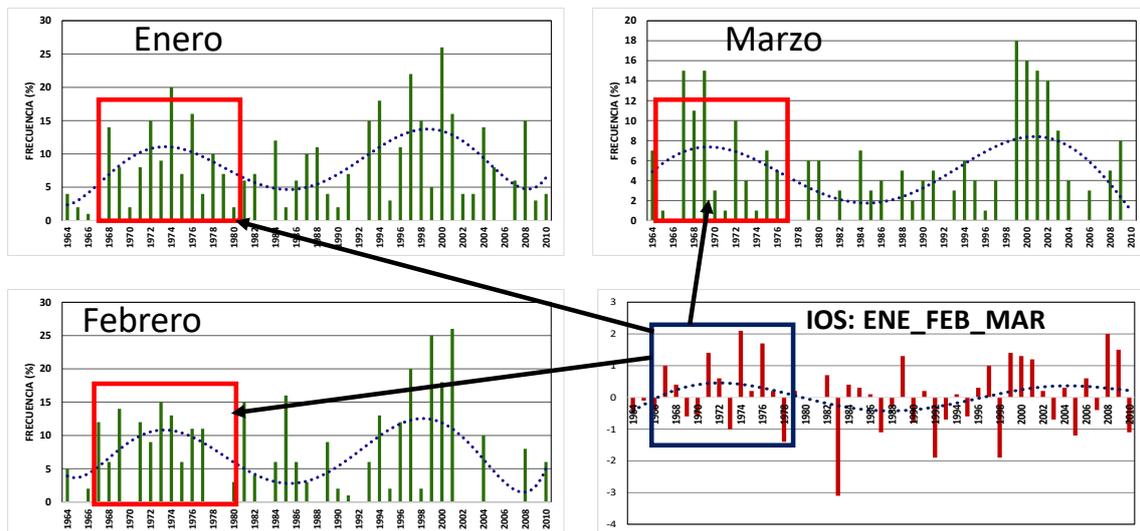


Figura 54: Comparación entre la variación anual de la frecuencia diaria-mensual y el Índice de Oscilación del Sur. Estación Sitajara

FUENTE: Elaboración propia.

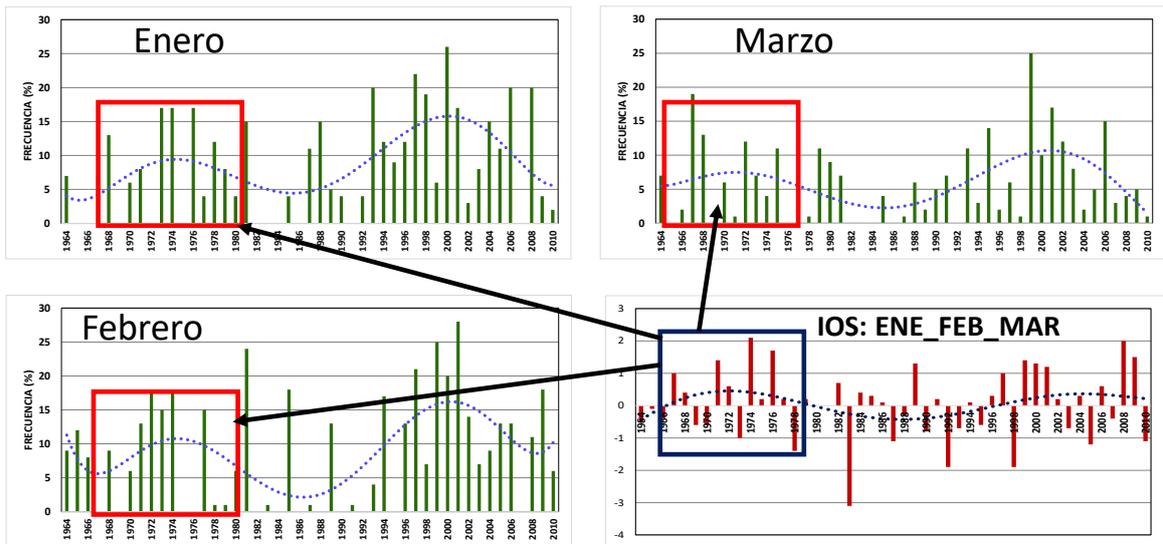


Figura 55: Comparación entre la variación anual de la frecuencia diaria-mensual y el Índice de Oscilación del Sur. Estación Candarave

FUENTE: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

Según el análisis realizado se llegó a las siguientes conclusiones:

- Las mayores precipitaciones ocurren de enero a marzo y en forma diaria entre el 10 de enero a 10 de marzo. El resto del año las precipitaciones son mínimas (menores de 1 mm).
- Los valores máximos más altos se dan de Diciembre a Marzo, alcanzando máximos de 38 a 44 mm de lluvia. Mientras que entre Abril a Noviembre, las precipitaciones son esporádicas y los valores más altos de precipitación alcanzan hasta 16 mm.
- A mayor altura, se presentan precipitaciones medias y máximas diarias de mayor acumulado.
- Más del 90% de las precipitaciones diarias están comprendidas en primer intervalo de la tabla de frecuencias, presentando un sesgo hacia la derecha.
- El mes con mayor frecuencia de días con precipitaciones, es enero hasta de 35% (de 10-12 días). Entre abril y noviembre son muy bajas las frecuencias de días con lluvias.
- La variación anual de las frecuencias diarias con precipitaciones mayores a 0 mm, tienen un comportamiento sinusoidal, con periodos largos de disminución de frecuencias y otros de incremento.

- En verano, el Anticiclón del Pacífico Sur se desplaza más al sur, en altura se define la Alta de Bolivia, la ZCAS, LA ZICT continental y la Baja del Noreste de Brasil, lo que incrementa la humedad relativa, siendo mayor en las zonas divergentes y vorticidad relativa en altura.
- No se observan quiebres importantes en las líneas de los cuatros estaciones meteorológicas analizadas (Candarave, Sitajara, Cairani y Ilabaya); el grado de correlación R^2 , están cercanos a 1. Por lo tanto, existe buena consistencia en los datos de las estaciones.
- El IOS, en su variación anual presenta un comportamiento sinusoidal, con valores positivos en ciertos periodos de años y valores negativos en otros periodos.
- Existe relación entre el número de días de ocurrencia de precipitaciones mayores que cero con el Índice de Oscilación del Sur (IOS). En periodos de años con dominio de IOS positivo; existen periodos de años con más frecuencia de días con precipitaciones y viceversa.

VI. RECOMENDACIONES

- Desarrollar estudios de eventos de sequía en la zona de estudio.
- Estudiar la correlación entre la precipitación de la zona de estudio y los Índices Globales, como ENSO y La Oscilación del Pacífico Norte PDO (Pacific Decadal Oscillation).
- Comprobar que desde el año 2009 en adelante, se han tenido una gran disminución en la frecuencia de días con precipitaciones mayores que cero milímetros.
- Los datos diarios deben ser completos para futuros estudios.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ampuero, G. 2016. Evaluación de los Índices Isotópicos en las Precipitaciones de la Cuenca del Alto Mayo para Su aplicación en la Hidrología.
- Calvo, J. 2014. Circulación atmosférica general. Corriente de Chorro o Jet Stream Polar y Vórtice o vortex polar.
- Carvalho LMV, Jones C, Liebmann B. 2004: The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate* 17: 88-108..
- Chuchon, A. 2012. Estudio de las características de las tormentas máximas en la sierra central del Perú. Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Davies, Ella (20 de septiembre de 2015). « ¿Cuál es el lugar más húmedo del planeta?. *bbc.com* (en inglés). BBC
- Espinoza, V. 2009. Impact de la variabilité climatique sur l'hydrologie du bassin amazonien. Tesis doctoral. Université Paris 6 – Pierre et Marie Curie.
- Gan, M.; Rodrigues, L. C.; Rao, V. B. Monção na América do Sul. In: Cavalcanti, I. F. de A.; Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. J. Da; Dias, M. A. F. Da Silva (orgs) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009; p . 297-316.

- Garreaud, R. 2008. Impacts of the Andes on South American Climate. Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.
- Geographic Argentina. 2017. Lluvias orográficas. Recuperado el 17 set 2017 http://3ageografiahughes.blogspot.pe/2014/12/lluvias-orograficas_6.html
- Guevara, E. 2015. Métodos para el Análisis de Variables Hidrológicas y Ambientales. pp97 -100 p. 118, 121,129.
- León, K. 2014. Análisis Espacio-Temporal de las Precipitaciones y Caudales durante los Eventos Niño (1982-83 y 1997 -98) en la Costa Norte del Perú.
- Marengo, J. A. ; Liebmann, B. ; Grimm, A. M.; Misra, V.; Silva Dias, P. L.; Cavalcanti, I. F. A.; Carvalho, L. M. V.; Berbery, E. H.; Ambrizzi, T.; Vera, C. S.; Saulo, A. C.; Nogue-Paegle, J.; Zipser, E.; Seth, A.; Alves, L. M. Review Recent developments on the South American monsoon system. International Journal of Climatology. N.32; 2012.
- Menacho, C. 2007. Pronóstico de precipitación para el departamento de Puno. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Lima – Perú.
- Moran, J. M.; Morgan, M. D. Meteorology; The atmosphere and the science of weather. Minneapolis; Burgess Publishing, 1986.
- International Desks, Julio1998. Material de entrenamiento para sudamerica, National Weather Service – NOAA.

- Quispe, G. 2004. Vórtice ciclónico en bajos niveles caso estudio: 9 de febrero de 2004. SENAMHI. Lima – Perú.
- Rau, L. 2009. Análisis espacio temporal de la precipitación y temperatura en las principales zonas de montaña del Perú. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Lima – Perú.
- SENAMHI. 2013 Vigilancia de la sequía hidrológica en las cuenca de las regiones de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno.
- Ven Te Chow et al. (1994). Hidrología aplicada, pp 25, 65-66.
- Whiteman, C. David (2000). Meteorología de Montaña: Fundamentos y Aplicaciones. Oxford University.
- Yamina, S. Climatología de América del Sur. Centro de predicción numérica del tiempo y clima (CPNTC). Instituto Geofísico del Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Climatología - Precipitación media diaria. Estación de Ilabaya. Periodo: 1964-1997

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.00	1.16	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.11	0.22	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.40	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.12	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
6	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
7	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
8	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
9	0.19	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
10	0.02	0.13	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.02	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.48	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.03
13	0.33	0.42	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
14	0.27	0.03	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
15	0.04	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
16	0.01	0.06	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
18	0.19	0.24	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.26	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.21	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.20	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
23	0.29	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
24	0.28	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
25	0.12	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
26	0.03	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05
27	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
28	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
30	0.19		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00		0.00		0.00		0.00	0.03		0.00		0.00
TOTAL	4.4	4.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.9

Anexo 2: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de Sitajara.

Período: 1964-2010

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.28	1.82	0.57									0.07
2	0.81	2.15	1.48									0.20
3	0.89	0.91	0.47									0.00
4	1.18	1.26	0.61									0.07
5	1.32	1.09	1.52									0.17
6	1.52	1.11	1.45									0.22
7	1.47	1.78	1.25									0.12
8	0.50	1.04	1.53									0.12
9	1.09	1.55	0.80									0.21
10	2.27	1.85	0.57									0.11
11	1.11	1.45	1.05									0.25
12	1.15	1.09	0.97									0.45
13	1.93	0.90	0.83									0.40
14	1.42	1.48	0.44									0.36
15	1.50	1.02	0.85									0.58
16	0.92	1.47	0.63									0.53
17	0.73	1.65	0.59									0.10
18	1.43	0.98	0.42									0.31
19	2.26	1.38	0.35									0.35
20	1.21	2.69	0.52									0.02
21	1.61	1.30	0.52									0.32
22	1.42	1.71	0.27									0.36
23	1.64	1.88	0.72									0.39
24	1.50	1.84	0.61									0.89
25	1.31	1.45	0.66									1.10
26	2.07	1.12	0.31									1.02
27	1.91	1.99	0.14									0.66
28	1.14	0.96	0.31									1.05
29	0.97	0.21	0.13									0.43
30	1.69		0.04									0.46
31	1.20		0.01									0.06
TOTAL	41.4	41.1	20.6									11.4

Anexo 3: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de Candarave. Período: 1964-2010

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.91	2.15	1.29	0.01	0.08	0.15	0.08	0.00	0.23	0.00	0.03	0.01
2	1.12	1.52	1.30	0.08	0.01	0.00	0.50	0.02	0.14	0.00	0.10	0.14
3	1.13	1.21	1.02	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4	1.19	2.43	1.17	0.12	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00
5	0.83	2.81	0.92	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	0.04
6	1.09	2.33	1.62	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.03
7	1.07	1.52	1.81	0.17	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.03	0.27
8	1.32	2.00	1.67	0.25	0.00	0.13	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.02
9	0.50	2.16	1.28	0.09	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.08
10	1.06	3.40	1.35	0.10	0.00	0.23	0.23	0.09	0.29	0.00	0.10	0.18
11	1.47	2.62	1.42	0.10	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.03	0.00	0.16
12	1.70	2.20	2.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.17
13	2.44	1.22	1.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.02	0.52	0.27
14	1.56	2.41	1.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.29
15	1.63	1.92	1.44	0.39	0.02	0.00	0.00	0.01	0.10	0.31	0.14	0.34
16	2.54	1.61	0.87	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03	0.15	0.64
17	1.84	3.22	0.49	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
18	1.74	2.22	0.54	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.06	0.15
19	2.60	1.59	0.50	0.00	0.01	0.00	0.00	0.20	0.32	0.00	0.08	0.01
20	2.17	1.63	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.02	0.64
21	3.77	1.90	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.01	0.16	0.02	0.47
22	2.10	1.45	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.12	0.13
23	1.67	2.73	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.38
24	1.60	2.50	0.57	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02
25	2.22	1.52	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.02	1.09
26	1.96	1.93	1.07	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.09	1.57
27	3.09	2.46	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.33	0.11	0.71
28	1.55	2.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	1.07
29	1.72	0.59	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.90
30	2.15		0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.17	0.54
31	1.74		0.21		0.00		0.04	0.01		0.03		0.49
TOTAL	53.5	59.4	30.6	1.9	0.2	0.7	1.0	1.4	1.8	1.3	2.2	12.0

Anexo 4: Climatología - Precipitación media diaria (mm). Estación de ca Irani.

Período: 1971-2010

MES/DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0.66	2.09	0.93	0.00	0.00	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
2	1.04	1.69	1.38	0.01	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
3	0.81	1.93	1.73	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
4	1.56	1.96	0.53	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
5	0.61	1.69	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.25	1.77	1.03	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1.20	1.42	1.36	0.08	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.06
8	0.86	1.46	0.73	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.06	0.00
9	1.15	1.14	0.54	0.10	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1.45	1.20	0.52	0.03	0.00	0.11	0.22	0.23	0.41	0.00	0.04	0.03
11	0.81	1.85	1.23	0.00	0.08	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04
12	0.93	0.73	1.15	0.02	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.21
13	1.17	0.87	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.06	0.29	0.07
14	1.35	1.11	0.87	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.06
15	1.09	1.46	1.14	0.32	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11
16	1.87	2.30	0.90	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.11	0.29
17	1.55	1.97	0.54	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.19
18	1.56	1.62	0.55	0.05	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.03	0.14	0.10
19	1.77	0.75	0.30	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.52	0.18	0.00	0.17
20	2.62	1.59	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.05	0.00	0.00	0.32
21	1.63	1.33	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.28
22	1.31	1.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15
23	1.99	1.88	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
24	1.45	1.28	0.14	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.95
25	1.67	1.32	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.33
26	1.37	0.72	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.97
27	2.32	1.13	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.64
28	1.68	0.67	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
29	1.84	0.08	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.27	0.70
30	1.66		0.11	0.00	0.00	0.14	0.00	0.02	0.00	0.12	0.20	0.37
31	1.35		0.08		0.00		0.01	0.00		0.09		0.41
TOTAL	43.6	40.2	19.7	1.0	0.4	0.5	0.8	1.3	1.3	0.6	1.2	9.3

Anexo 5: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estacion de Ilabaya.

Período: 1964-1997

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.0	20.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.7	7.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	5.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	4.0	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
6	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4
7	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
8	2.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
9	2.8	3.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
10	0.5	4.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	8.0	0.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.5
13	10.0	10.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
14	5.1	1.0	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
15	1.4	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
16	0.2	2.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
18	4.0	5.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
19	5.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	6.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	2.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
23	3.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
24	5.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
25	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
26	1.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.0	0.0	1.7
27	4.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
28	10.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
29	1.0	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2
30	5.6		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0		0.0		0.0		0.0	1.0		0.0		0.0

Anexo 6: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Sitajara.

Período: 1964-2010

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	3.5	31.0	10.7									2.9
2	10.0	29.0	18.1									8.8
3	16.0	9.0	6.2									0.0
4	14.7	12.4	8.0									3.1
5	24.2	9.7	40.3									5.0
6	10.0	12.3	13.6									5.2
7	15.9	14.0	18.9									5.1
8	8.7	10.0	13.2									4.2
9	19.0	13.2	9.3									5.7
10	25.3	15.9	5.9									4.3
11	10.0	13.3	9.0									4.7
12	10.0	15.4	6.4									10.7
13	14.1	9.0	5.2									8.4
14	12.1	17.7	3.8									9.8
15	11.2	15.6	21.5									11.5
16	6.5	14.1	8.1									6.3
17	8.4	23.8	6.2									1.8
18	16.0	7.2	6.3									4.5
19	37.5	12.5	5.6									7.1
20	19.8	20.2	9.8									0.8
21	15.0	9.6	14.8									5.7
22	10.1	26.4	8.1									4.5
23	18.6	16.7	18.7									6.0
24	15.6	18.4	7.7									15.5
25	9.1	18.1	8.9									11.3
26	14.4	7.0	6.4									9.6
27	25.2	20.9	4.4									8.1
28	11.6	14.0	8.0									11.5
29	7.9	3.3	4.1									7.7
30	11.7		1.8									4.6
31	12.5		0.5									1.1

Anexo 7: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Candarave. Período: 1964-2010

MES/DIA	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	11.70	14.70	14.60	0.40	3.10	5.80	3.20	0.00	9.70	0.00	1.50	0.50
2	13.00	26.20	13.80	2.00	0.40	0.00	16.60	0.90	5.80	0.00	4.40	3.10
3	10.10	9.10	18.80	1.10	0.00	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
4	13.30	31.10	16.50	3.70	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	7.80	0.00	0.00
5	8.50	28.20	13.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.40	0.00	2.00
6	11.20	16.20	21.50	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.50	1.50
7	15.80	11.20	17.90	4.00	0.20	0.00	0.00	3.90	0.00	0.00	1.10	7.00
8	10.50	32.70	16.90	6.70	0.00	2.90	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.50
9	10.80	30.00	12.10	3.50	0.00	1.80	0.00	0.30	0.00	0.40	0.20	2.50
10	12.80	11.00	9.00	2.10	0.00	9.80	9.70	4.20	12.00	0.00	2.90	5.00
11	10.50	22.70	12.50	2.50	0.00	0.00	1.70	2.00	0.00	1.00	0.00	3.50
12	16.40	38.00	22.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	4.10	5.10
13	20.80	19.10	15.40	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	5.90	1.00	15.20	5.00
14	15.50	25.70	9.90	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	0.40	0.00	6.50
15	14.00	24.90	22.90	15.10	1.00	0.00	0.00	0.30	3.50	9.20	2.50	5.50
16	23.80	18.50	15.80	0.30	0.80	0.00	0.00	0.00	3.20	1.30	4.50	7.50
17	13.10	30.30	4.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	5.10
18	17.00	14.20	9.00	5.00	0.10	0.00	0.00	0.00	6.40	0.00	2.50	3.70
19	24.00	12.00	5.50	0.00	0.40	0.00	0.00	9.00	13.10	0.00	3.50	0.20
20	13.00	16.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.30	0.00	1.00	8.60
21	30.60	17.70	30.60	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	0.30	4.20	0.70	6.20
22	12.90	13.50	3.00	0.20	0.00	0.00	0.00	2.70	2.00	0.00	3.50	3.70
23	10.10	37.50	9.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	7.00
24	18.80	19.50	7.90	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.30
25	28.70	13.50	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.50	0.10	1.00	7.90
26	21.20	28.30	20.90	0.30	0.00	0.00	0.50	0.00	0.40	0.00	2.90	45.60
27	15.00	26.10	22.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	8.10	4.90	9.70
28	14.00	29.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	18.00
29	10.50	7.90	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	4.00	16.60
30	12.00		0.80	0.10	0.00	0.10	0.00	1.60	0.00	0.00	7.30	8.20
31	17.30		2.40		0.10		1.30	0.30		1.00		12.20

Anexo 8: Climatología - Precipitación máxima diaria (mm). Estación de Cairani.

Período: 1971-2010

MES/DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	10.0	34.9	20.0	0.0	0.0	4.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	33.2
2	12.4	15.9	15.9	0.2	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5
3	8.0	11.6	22.6	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
4	20.6	19.1	3.9	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
5	4.8	16.5	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
6	18.4	12.7	11.7	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	7.5	9.8	17.6	3.2	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	2.2
8	15.1	19.6	7.5	1.3	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	2.3	0.0
9	13.1	8.7	5.4	2.5	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	15.4	8.9	4.4	1.2	0.0	4.4	8.6	7.6	15.8	0.0	1.8	1.3
11	7.5	21.8	10.5	0.0	3.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.3	0.0	1.1
12	11.3	7.5	17.1	0.6	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	4.4
13	12.5	11.8	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	2.2	9.7	1.9
14	11.1	10.1	15.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.3	0.0	1.2
15	9.0	31.1	24.1	11.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	3.5
16	16.0	16.5	14.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	4.5	5.1
17	13.4	17.4	4.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	4.6
18	14.4	10.2	9.3	1.9	0.0	0.0	0.0	2.8	0.8	1.2	5.7	3.8
19	11.5	5.6	3.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.5	20.1	6.9	0.0	3.0
20	11.5	13.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	2.0	0.0	0.0	3.7
21	8.2	14.7	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	7.0
22	8.6	13.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	5.1
23	16.2	21.6	5.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1
24	10.6	10.5	2.4	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	16.7
25	14.6	7.7	9.1	0.0	0.0	0.1	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	10.9
26	18.8	5.1	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.2	0.3	16.3
27	19.3	22.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.6
28	9.0	8.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
29	12.0	0.7	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	3.8	11.0	9.0
30	8.2		1.6	0.1	0.0	5.3	0.0	0.8	0.1	3.4	7.0	6.3
31	13.3		1.6		0.0		0.4	0.1		3.5		6.6

Anexo 9: Distribución de frecuencia – estación de Ilabaya, mes de Enero (1965-2010)

Intervalos	Xm	F	Fr	fr%	fa	Far	far%
0-2	1	979	0.972	97.219	979	0.972	97.219
2-4	3	15	0.015	1.490	994	0.987	98.709
4-6	5	8	0.008	0.794	1002	0.995	99.503
6-8	7	1	0.001	0.099	1003	0.996	99.603
8-10	9	4	0.004	0.397	1007	1.000	100
Total		1007	1	100			

Anexo 10: Tabla de distribución de frecuencia. Estación Ilabaya. Mes de febrero (1965-1997)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-4>	2	949	0.985	98.546	949	0.985	98.546
[4-8>	6	7	0.007	0.727	956	0.993	99.273
[8-12>	10	6	0.006	0.623	962	0.999	99.896
[12-16>	14	0	0.000	0.000	962	0.999	99.896
[16-20>	18	1	0.001	0.104	963	1.000	100
Total		963	1	100			

Anexo 11: Tabla de distribución de frecuencia. Estación Ilabaya. Mes de marzo (1965-1997)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-1.82>	0.91	1037	0.992	99.234	1037	0.992	99.234
[1.82-3.64>	2.73	3	0.003	0.287	1040	0.995	99.522
[3.64-5.46>	4.55	2	0.002	0.191	1042	0.997	99.713
[5.46-7.28>	6.37	1	0.001	0.096	1043	0.998	99.809
[7.28-9.1>	8.19	2	0.002	0.191	1045	1.000	100
Total		1045	1	100			

Anexo 12: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Enero (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-7.5>	3.75	1323	0.945	94.500	1323	0.945	94.5
[7.5-15>	11.25	65	0.046	4.643	1388	0.991	99.143
[15-22.5>	18.75	8	0.006	0.571	1396	0.997	99.714
[22.5-30>	26.25	3	0.002	0.214	1399	0.999	99.929
[30-37.5>	33.75	1	0.001	0.071	1400	1.000	100
Total		1400	1	100			

Anexo 13: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Febrero (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-7.5>	3.75	1323	0.945	94.500	1323	0.945	94.5
[7.5-15>	11.25	65	0.046	4.643	1388	0.991	99.143
[15-22.5>	18.75	8	0.006	0.571	1396	0.997	99.714
[22.5-30>	26.25	3	0.002	0.214	1399	0.999	99.929
[30-37.5>	33.75	1	0.001	0.071	1400	1.000	100
Total		1400	1	100			

Anexo 14: Distribución de frecuencia – estación de Sitajara, mes de Marzo (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-6.2>	3.1	1176	0.922	92.235	1176	0.922	92.235
[6.2-12.4>	9.3	69	0.054	5.412	1245	0.976	97.647
[12.4-18.6>	15.5	23	0.018	1.804	1268	0.995	99.451
[18.6-24.8>	21.7	4	0.003	0.314	1272	0.998	99.765
[24.8-31>	27.9	3	0.002	0.235	1275	1.000	100
Total		1275	1	100			

Anexo 15: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Enero (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-6.12	3.06	1081	0.900	90.008	1081	0.900	90.008
[6.12-12.24>	9.18	86	0.072	7.161	1167	0.972	97.169
[12.24-18.36>	15.3	26	0.022	2.165	1193	0.993	99.334
[18.36-24.48>	21.42	5	0.004	0.416	1198	0.998	99.75
[24.48-30.6>	27.54	3	0.002	0.250	1201	1.000	100
Total		1201	1	100			

Anexo 16: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Febrero (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-7.6>	3.8	1079	0.921	92.065	1079	0.921	92.065
[7.6-15.2>	11.4	61	0.052	5.205	1140	0.973	97.27
[15.2-22.8>	19	18	0.015	1.536	1158	0.988	98.805
[22.8-30.4>	26.6	10	0.009	0.853	1168	0.997	99.659
[30.4-38>	34.2	4	0.003	0.341	1172	1.000	100
Total		1172	1	100			

Anexo 17: Distribución de frecuencia – estación de Candarave, mes de Marzo (1964-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-6.12>	3.06	1239	0.947	94.652	1239	0.947	94.652
[6.12-12.24>	9.18	45	0.034	3.438	1284	0.981	98.09
[12.24-18.36>	15.3	17	0.013	1.299	1301	0.994	99.389
[18.36-24.48>	21.42	7	0.005	0.535	1308	0.999	99.924
[24.48-30.6>	27.54	1	0.001	0.076	1309	1.000	100
Total		1309	1	100			

Anexo 18: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de enero (1971-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-4.12>	2.06	980	0.870	87.034	980	0.870	87.034
[4.12-8.24>	6.18	97	0.086	8.615	1077	0.956	95.648
[8.24-12.36>	10.3	29	0.026	2.575	1106	0.982	98.224
[12.36-16.48>	14.42	16	0.014	1.421	1122	0.996	99.645
[16.48-20.6>	18.54	4	0.004	0.355	1126	1.000	100
Total		1126	1	100			

Anexo 19: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de Febrero (1971-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-6.98>	3.49	961	0.939	93.939	961	0.939	93.939
[6.98-13.96>	10.47	46	0.045	4.497	1007	0.984	98.436
[13.96-20.94>	17.45	11	0.011	1.075	1018	0.995	99.511
[20.94-27.92>	24.43	3	0.003	0.293	1021	0.998	99.804
[27.92-34.9>	31.41	2	0.002	0.196	1023	1.000	100
Total		1023	1	100			

Anexo 20: Distribución de frecuencia – estación de Cairani, mes de Marzo (1971-2010)

Intervalos	Xm	f	fr	fr%	fa	far	far%
[0-4.82>	2.41	1081	0.964	96.432	1081	0.964	96.432
[4.82-9.64>	7.23	25	0.022	2.230	1106	0.987	98.662
[9.64-14.46>	12.05	6	0.005	0.535	1112	0.992	99.197
[14.46-19.28>	16.87	6	0.005	0.535	1118	0.997	99.732
[19.28-24.1>	21.69	3	0.003	0.268	1121	1.000	100
Total		1121	1	100			

Anexo 21: Distribución de frecuencia de precipitación >0 mm

EST/MES	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ILABAYA	6	5	2	0	0	0	0	1	0	0	0	2
SITAJARA	28	24	17	S/D	9							
CANDARAVE	34	35	24	3	1	1	1	2	2	2	3	13
CAIRANI	30	22	16	2	1	1	1	1	1	1	2	10