

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL
DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS**

Autores:

NELSON MIGUEL VÁSQUEZ CASTELLAR

ZULMA FERNANDA CASTRO RUBIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, SEPTIEMBRE 2017**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL
DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS**

Autores:

**NELSON MIGUEL VÁSQUEZ CASTELLAR
ZULMA FERNANDA CASTRO RUBIO**

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero(a) Ambiental

ASESORA

**ALEJANDRA OLMEDO
Ingeniera Ambiental**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, SEPTIEMBRE 2017**

DEDICATORIA

A Dios por su bondad, amor y bendiciones.
A nuestros padres por su infinito amor y sacrificio.
A nuestras hijas por su paciencia todos estos años.
A nuestros hermanos por su apoyo y consejos.
A nuestros tutores Carlos Orozco y Alejandra
Olmedo por su colaboración incondicional.

JAIME FORTICH

Presidente del Jurado

BARRANQUILLA, SEPTIEMBRE 20 DE 2017

Índice General

Introducción	18
Planteamiento del problema.....	24
Justificación.....	25
Objetivos	26
General	26
Específicos.....	26
Marco Conceptual y Teórico.....	27
Diseño Metodológico	30
Tipo de estudio	30
Población y muestra	31
Instrumento de recolección de información	31
Procedimiento para el análisis de la información.....	32
1. Capítulo I: Caracterización Climática Normalizada Del Área De Estudio (Promedios 1971–2000)	33
1.1. Estaciones Meteorológicas	33
1.2. Variables Meteorológicas.....	33
1.2.1. Temperatura del aire	35
1.2.2. Temperaturas medias y normales	35
1.3. Precipitación.....	51
1.3.1. Formación de las precipitaciones.....	51
1.3.2. Lluvia.....	52
1.3.3. Llovizna	52
1.3.4. Chubascos	53

1.3.5. Procesos generadores de precipitaciones en el Atlántico y el Caribe.....	53
1.3.5.1. Zona de confluencia intertropical (ZCIT).....	54
1.3.5.2. Ondas del Este del Caribe.....	56
1.3.5.3. Ciclones Tropicales.....	57
1.3.5.4. Oscilación de Madden Julian (OMJ).....	59
1.3.5.5. El ciclo Niño – Niña Oscilación del sur.....	60
1.3.6. Medida de la precipitación.....	62
1.3.7. Valores medios a estudiar.....	62
1.3.7.1. Precipitación total mensual.....	63
1.3.7.2. Total de días con precipitaciones en el mes.....	63
1.3.8. Análisis comparativo entre temperaturas medias y precipitaciones en algunas estaciones de estudio.....	72
1.4. Humedad del aire.....	83
1.4.1. Humedad Relativa.....	83
1.4.2. Medición de la humedad.....	83
1.4.3. El Psicrómetro.....	84
1.4.4. El Higrógrafo.....	84
1.4.5. Análisis comparativo entre humedad relativa, temperaturas medias y precipitaciones en algunas estaciones del área de estudio.....	86
1.4.5.1. Humedad relativa - Temperaturas medias.....	87
1.4.5.2. Humedad relativa – Precipitaciones.....	92
1.5. Brillo Solar.....	99
1.5.1. Análisis comparativo entre el brillo solar y la humedad relativa.....	102
1.6. Evaporación.....	105
1.6.1. Importancia de la evaporación.....	106
1.6.2. Factores que influyen en la evaporación.....	106
1.6.3. Instrumentos de medición.....	107

1.7. EL VIENTO	112
1.7.1. Instrumentos de medida del viento	112
1.7.2. Medición del recorrido del viento	113
2. Capítulo 2. comportamiento de las variables meteorológicas en el área de estudio durante el período 1986 – 2015.....	119
2.1. Temperaturas.....	121
2.1.1. Temperaturas medias.....	122
2.1.2. Temperaturas máximas.....	128
2.1.3. Temperaturas mínimas.....	133
2.2. Precipitaciones.....	138
2.3. Diagramas Ombrotérmicos e índices bioclimáticos en las estaciones de estudio.....	148
2.3.1. Representación gráfica de diagramas e índices.....	158
2.3.1.1. Estación Ernesto Cortissoz (SP).....	158
2.3.1.2. Estación Las Flores (CP).....	159
2.3.1.3. Estación Juan de Acosta (CO).....	161
2.3.1.4. Estación Galerazamba (CP).....	162
2.3.1.5. Estación Repelón (CP).....	164
2.3.1.6. Estación Rafael Núñez (SP).....	165
2.3.1.7. Estación Simón Bolívar (SP).....	167
2.4. Vientos.....	168
2.4.1. Dirección del viento.....	168
2.4.2. Velocidad del viento.....	170
2.4.3. Recorrido del viento.....	174
2.5. Humedad relativa.....	177
2.6. Evaporación.....	181
2.7. Brillo Solar.....	185

CONCLUSIONES.....	190
BIBLIOGRAFIA.....	197

Lista de Tablas

Tabla 1.Estaciones consideradas para el estudio	34
Tabla 2. Valores de temperaturas medias normales en las estaciones de estudio.....	46
Tabla 3. Valores de temperaturas máximas normales en las estaciones de estudio	47
Tabla 4. Valores de temperaturas mínimas normales en las estaciones de estudio	48
Tabla 5. Escala de huracanes Saffir-Simpson.....	59
Tabla 6. Valores normales de cantidades de la precipitación (mm) en las estaciones de estudio.	700
Tabla 7.Valores normales de frecuencias de precipitaciones (No de días) en las estaciones de estudio.....	71
Tabla 8. Valores normales de humedad relativa (%) en algunas estaciones de estudio	86
Tabla 9. Valores normales promedio de brillo solar en las estaciones de estudio.....	102
Tabla 10. Valores normales promedio de brillo solar en las estaciones de estudio.....	108
Tabla 11.Valores medios mensuales de temperaturas medias en las estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015)	125
Tabla 12.Valores medios mensuales de temperaturas máximas en estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015)	131
Tabla 13.Valores medios mensuales de temperaturas mínimas en estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015).	135
Tabla 14.Promedio de precipitacione (mm) en las estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015)	141
Tabla 15.Promedio de precipitaciones (No. Dias) en las estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015)	144
Tabla 16.Indice o coeficiente pluviometrico de emberger.....	150
Tabla 17.Indice de Aridez o pluviosidad de Lang	151
Tabla 18.Indice de Aridez de Martone	152
Tabla 19.Indice de continentalidad de conrad	153
Tabla 20. Indice de Continentalidad de Gorezinsky	154

Tabla 21. Índice de Continentalidad de Currey	155
Tabla 22. Índice Modificado de Fournier (IMF)	156
Tabla 23 Índice de concentración de la precipitación.....	157
Tabla 24. Índices Climáticos Estación Ernesto Cortissoz	159
Tabla 25. Índices Climáticos Estación Las Flores.....	160
Tabla 26. Índices Climáticos Estación Juan de Acosta	162
Tabla 27. Índices Climáticos Estación Galerazamba.....	163
Tabla 28. Índices Climáticos Estación Repelón	165
Tabla 29. Índices Climáticos Estación Rafael Nuñez.....	166
Tabla 30. Índices Climáticos Estación Simón Bolívar	168
Tabla 31. Valores Promedios de velocidad del viento en la Estación Ernesto Cortissoz.....	173
Tabla 32. Valores Promedios de velocidad del viento en la Estación Rafael Nuñez.	173
Tabla 33. Promedios de humedades Relativas en las estaciones de estudio durante le periodo (1986-2015).....	179
Tabla 34. Promedios de evaporación en las estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015)	184
Tabla 35. Promedios de horas de brillo solar en las estaciones de estudio durante el periodo (1986-2015).....	187

Lista de Imágenes

<u>Imagen 1.</u> Estaciones meteorológicas de estudio.....	37
<u>Imagen 2.</u> Perfil de elevación del área de estudio.....	37
<u>Imagen 3.</u> Mapa de temperaturas medias y clasificación climática.....	43
<u>Imagen 4.</u> Temperatura promedio mensual del aire (°C) sobre el nivel del mar Caribe.....	49
<u>Imagen 5.</u> Imagen satelital GOES ESTE canal infrarrojo aumentado.....	54
<u>Imagen 6.</u> Onda de este en el Caribe el 27 de octubre de 2013	56
<u>Imagen 7.</u> Distribución de la precipitación (mm)	69
<u>Imagen 8.</u> Días de precipitación en el departamento del Atlántico	69
<u>Imagen 9.</u> Precipitación promedio (mm) mensual normal sobre el mar Caribe	82
<u>Imagen 10.</u> Humedad relativa (%) normal mensual sobre el mar Caribe	97
<u>Imagen 11.</u> Dirección y velocidad normal mensual del viento (m/s) sobre el mar Caribe.....	117

Lista de Figuras

Figura 1. Promedios Normales de temperaturas (°C) Estación Ernesto Cortissoz.....	38
Figura 2. Promedios normales de temperaturas (°C) Estación Las Flores.....	38
Figura 3. Promedios normales de temperaturas (°C) Estación Juan de Acosta.....	38
Figura 4. Promedios normales de temperaturas (°C) Estación Galerazamba.....	38
Figura 5. Promedios normales de temperaturas (°C) Estación Santa Lucía.....	38
Figura 6. Promedios de temperaturas medias normales (°C) Estación El limón.....	38
Figura 7. Promedios de temperaturas normales (°C) Estación Normal Manatí.....	39
Figura 8. Promedios normales de temperaturas (°C) Estación Repelón.....	39
Figura 9. Promedios de temperaturas medias normales (°C) Estación Simón Bolívar.....	39
Figura 10. Promedios normales de temperaturas (C) Estación Rafael Núñez.....	39
Figura 11. Comportamiento normal de temperaturas medias (°C) en las estaciones de estudio.....	41
Figura 12. Comportamiento normal de temperaturas máximas (°C) en estaciones de estudio.....	43
Figura 13. Comportamiento normal de temperaturas mínimas (°C) en estaciones de estudio.....	45
Figura 14. Comportamiento normal comparativo de las precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio.....	66
Figura 15. Comportamiento normal comparativo de la precipitación (no. de días) en las estaciones de estudio.....	68
Figura 16. Comportamiento normal comparativo de la precipitación (mm) y las T. Medias (°C) en la Estación Simón Bolívar.....	72
Figura 17. Correlación potencial entre precipitación (mm) y T. Medias Estación Simón Bolívar.....	72
Figura 18. Correlación polinómica entre precipitación (mm) y T. Media (°C) en la Estación Simón Bolívar.....	72
Figura 19. Comportamiento comparativo de la precipitación (días) y las T. Medias (°C) en la Estación Simón Bolívar.....	73
Figura 20. Correlación potencial entre precipitación (días) y T. Medias Estación Simón	73

Bolívar.....	
Figura 21. Correlación polinómica entre precipitación (mm) y T. Media Estación Simón Bolívar.....	73
Figura 22. Correlación potencial entre la precipitación (mm) y T. media (°C) Estación Galerazamba.....	74
Figura 23. Comportamiento normal comparativo entre la precipitación (mm) y la T. Media en la Estación Galerazamba.....	74
Figura 24. Correlación polinómica entre la precipitación (mm) y la t. Media (°C) en la estación Galerazamba.....	75
Figura 25. Correlación potencial entre la precipitación (días) y t. Medias (°C) estación Galerazamba.....	76
Figura 26. Comportamiento normal comparativo entre la precipitación (días) y la T. Media en la Estación Galerazamba.....	76
Figura 27. Correlación polinómica entre precipitación (días) y t. Media (°C) en la Estación Galerazamba.....	76
Figura 28. Comportamiento normal comparativo entre la precipitación (mm) y la T. Media (°C) en la estación E. Cortissoz.....	77
Figura 29. Correlación potencial entre precipitación (mm) y T. Media (°C) Estación E. Cortissoz.....	77
Figura 30. Correlación polinómica entre la precipitación (mm) y T. Media (°C) en la Estación E. Cortissoz.....	78
Figura 31. Comportamiento normal comparativo entre la precipitación (días) y la t. Media (°C) en la estación Ernesto Cortissoz.....	78
Figura 32. Correlación potencial entre precipitación (días) y t. Media (°C) en la estación Ernesto Cortissoz.....	78
Figura 33. Correlación polinómica entre precipitación (días) y t. Media (°C) en la Estación Ernesto Cortissoz.....	78
Figura 34. Comportamiento normal comparativo entre la precipitación (mm) y la T. Media (°C) en la Estación Repelón.....	79
Figura 35. Correlación polinómica entre la precipitación (mm) y la t. Media (°C) en la Estación Repelón.....	79
Figura 36. Correlación polinómica entre precipitación (mm) y t. Media (°C) en la	79

Estación Repelón.....	
Figura 37. Comportamiento normal comparativo entre precipitaciones (días) y t. Media (°C) Estación Repelón.....	80
Figura 38. Correlación polinómica entre precipitaciones (días) y t. Media (°C) en la Estación Repelón.....	80
Figura 39. Correlación polinómica entre precipitación (días) y t. Media (°C) en la Estación Repelón.....	80
Figura 40. Comportamiento normal comparativo de la humedad relativa (%) en las estaciones de estudio.....	85
Figura 41. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la estación Simón Bolívar.....	87
Figura 42. Correlación polinómica entre humedad relativa (%) y t. Media (°c) en la Estación Simón Bolívar.....	87
Figura 43. Correlación polinómica entre humedad Relativa (%) y t. Media (°c) en la estación Simón Bolívar.....	88
Figura 44. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la Estación Galerazamba.....	89
Figura 45. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la estación Galerazamba.....	89
Figura 46. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la estación Galerazamba.....	89
Figura 47. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y t. Media (°C) Estación Ernesto Cortissoz.....	90
Figura 48 correlación polinómica entre humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la estación Ernesto Cortissoz.....	90
Figura 49. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y la t. Media (°C) en la Estación Ernesto Cortissoz.....	90
Figura 50. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y t. Media (°C) en la Estación Repelón.....	91
Figura 51. Correlación económica entre humedad relativa (%) y T.media (°C) en la Estación Repelón.....	91
Figura 52. Correlación polinómica entre humedad relativa y t. Media en la Estación Repelón.....	91
Figura 53. Correlación polinómica entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en	92

la estación Simón Bolívar	
Figura 54. Comportamiento comparativo entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la estación Simón Bolívar.....	92
Figura 55. Correlación polinómica entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la estación Simón Bolívar.....	93
Figura 56. Comportamiento normal comparativo entre la humedad relativa (%) y la precipitación (mm) en la Estación Galerazamba.....	93
Figura 57. Correlación potencial entre la humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la estación Galerazamba.....	93
Figura 58. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y la precipitación (mm) en la estación Galerazamba.....	94
Figura 59. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la Estación Ernesto Cortissoz.....	94
Figura 60. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y la precipitación (mm) en la Estación Ernesto Cortissoz.....	94
Figura 61. Correlación polinómica entre la humedad relativa (%) y la precipitación (mm) en la Estación Ernesto Cortissoz.....	95
Figura 62. Comportamiento normal comparativo entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la Estación Repelón.....	95
Figura 63. Correlación polinómica entre humedad relativa y la precipitación en la Estación Repelón.	95
Figura 64. Correlación polinómica entre humedad relativa (%) y precipitación (mm) en la Estación Repelón.....	96
Figura 65. Comportamiento normal comparativo del brillo solar (No.de horas) en las estaciones de estudio.	101
Figura 66. Comportamiento normal comparativo entre brillo solar (horas) y humedad relativa (%) en la Estación Simón Bolívar.....	102
Figura 67. Correlación polinómica entre el brillo solar (horas) y la humedad (%) relativa en la Estación Simón Bolívar.....	102
Figura 68. Comportamiento normal comparativo entre brillo solar (horas) y humedad relativa (%) en la estación Galerazamba.....	103
Figura 69. Correlación polinómica entre el brillo solar (horas) y la humedad relativa (%) en la estación Galerazamba.....	103

Figura 70. Comportamiento normal comparativo entre el brillo solar (horas) y la humedad relativa (%) en la estación Ernesto Cortissoz.....	103
Figura 71. Correlación polinómica entre el brillo solar (horas) y la humedad relativa (%) en la estación Ernesto Cortissoz.....	103
Figura 72. Comportamiento normal comparativo entre brillo solar (horas) y humedad relativa (%) en la Estación Repelón.....	104
Figura 73. Correlación polinómica entre el brillo solar (horas) y la humedad relativa (%) en la Estación Repelón.....	104
Figura 74. Comportamiento normal comparativo del brillo solar (no de horas) y de la Humedad Relativa (%) en el área de estudio.....	104
Figura 75. Correlación normal del brillo solar (no de horas) y la humedad relativa (%) en el área de estudio.....	105
Figura 76. Comportamiento normal comparativo de la evaporación (mm) de las estaciones en estudio.....	108
Figura 77. Comportamiento comparativo entre la evaporación (mm) y humedad relativa (%).....	109
Figura 78. Correlación normal entre la evaporación y la humedad relativa en el área de estudio.....	109
Figura 79. Comportamiento normal comparativo entre el brillo solar (no de horas) y la evaporación (mm) en el área de estudio.....	110
Figura 80. Correlación normal entre el brillo solar (no de horas) y la evaporación (mm) en el área de estudio.....	111
Figura 81. Correlación normal entre la humedad relativa (%) y el brillo solar (no de horas) en el área de estudio.....	111
Figura 82. Comportamiento normal velocidad del viento (m/s) en las estaciones de estudio.....	115
Figura 83. Comportamiento normal velocidad del viento (m/s) en las estaciones de estudio.....	116
Figura 84. Comportamiento de T. medias (°C) en las estaciones de estudio (1986-2015)	116
Figura 85. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Ernesto Cortissoz.....	126
Figura 86. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Las Flores.....	126
Figura 87. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Juan de Acosta.....	126
Figura 88. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Galerazamba.....	126

Figura 89. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Repelón.....	126
Figura 90. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Rafael Núñez.....	126
Figura 91. Comportamiento comparativo T. medias (°C) Estación Simón Bolívar.....	127
Figura 92. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Ernesto Cortissoz...	127
Figura 93. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Las Flores.....	127
Figura 94. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Juan de Acosta.....	127
Figura 95. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Galerazamba.....	127
Figura 96. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Repelón.....	128
Figura 97. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Rafael Núñez.....	128
Figura 98. Anomalías de Temperatura media (°C) anuales Estación Simón Bolívar.....	128
Figura 99. Comportamiento temperaturas máximas (°C) en las Estaciones de estudio.....	131
Figura 100. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Ernesto Cortissoz...	132
Figura 101. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Las Flores.....	132
Figura 102. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Juan de Acosta.....	132
Figura 103. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Galerazamba.....	132
Figura 104. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Repelón.....	133
Figura 105. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Rafael Núñez.....	133
Figura 106. Comportamiento comparativo T.Máxima (°C) Estación Simón Bolívar.....	133
Figura 107. Comportamiento T.Mínimas (°C) en las Estaciones de estudio.....	136
Figura 108. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Ernesto Cortissoz...	136
Figura 109. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Las Flores.....	136
Figura 110. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Juan de Acosta.....	137
Figura 111. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Galerazamba.....	137
Figura 112. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Repelón.....	137
Figura 113. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Rafael Núñez.....	137
Figura 114. Comportamiento comparativo T.Mínimas (°C) Estación Simón Bolívar.....	137
Figura 115. Comportamiento precipitaciones (mm) de las estaciones de estudio (1986-	142

2015).....	
Figura 116. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Ernesto Cortissoz.....	142
Figura 117. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Las Flores.....	142
Figura 118. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Juan de Acosta	143
Figura 119. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Galerazamba.....	143
Figura 120. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Repelón.....	143
Figura 121. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Rafael Núñez..	143
Figura 122. Comportamiento comparativo precipitaciones (mm) Estación Simón Bolívar.	143
Figura 123. Comportamiento precipitaciones (días) en las estaciones de estudio (1986-2015).....	144
Figura 124. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Ernesto Cortissoz.....	145
Figura 125. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Las Flores.....	145
Figura 126. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Juan de Acosta	145
Figura 127. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Galerazamba..	145
Figura 128. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Repelón.....	146
Figura 129. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Rafael Núñez..	146
Figura 130. Comportamiento comparativo precipitaciones (días) Estación Simón Bolívar	146
Figura 131. Anomalías de precipitaciones Estación Ernesto Cortissoz.....	146
Figura 132. Anomalías de precipitaciones Estación Las Flores.....	146
Figura 133. Anomalías de precipitaciones Estación Juan de Acosta.....	147
Figura 134. Anomalías de precipitaciones Estación Galerazamba.....	147
Figura 135. Anomalías de precipitaciones Estación Repelón.....	147
Figura 136. Anomalías de precipitaciones Estación Rafael Núñez.....	147
Figura 137. Anomalías de precipitaciones Estación Simón Bolívar.....	147
Figura 138. Diagrama ombrotérmico Estación Ernesto Cortissoz (1986-2015).....	158
Figura 139. Índice de Aridez mensual de Gausson Estación Ernesto Cortissoz (1986-	158

2015).....	
Figura 140. Diagrama ombrotérmico Estación Las Flores (1986-2015).....	159
Figura 141. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Las Flores (1986-2015).....	160
Figura 142. Diagrama ombrotérmico Estación Juan de Acosta (1986-2015).....	161
Figura 143. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Juan de Acosta (1986-2015)..	161
Figura 144. Diagrama ombrotérmico Estación Galerazamaba (1986-2015).....	162
Figura 145. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Galerazamaba (1986-2015)..	163
Figura 146. Diagrama ombrotérmico Estación Repelón (1986-2015).....	164
Figura 147. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Repelón (1986-2015).....	164
Figura 148. Diagrama ombrotérmico Estación Rafael Núñez (1986-2015).....	165
Figura 149. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Rafael Núñez (1986-2015)....	166
Figura 150. Diagrama ombrotérmico Estación Simón Bolívar (1986-2015).....	167
Figura 151. Índice de Aridez mensual de Gaussen Estación Simón Bolívar (1986-2015)..	167
Figura 152. Comportamiento de la dirección del viento Estación Ernesto Cortissoz.....	169
Figura 153. Comportamiento de la dirección del viento Estación Las Flores.....	169
Figura 154. Comportamiento de la dirección del viento Estación Repelón.....	169
Figura 155. Comportamiento comparativo de la velocidad del viento (m/s) estaciones de estudio.....	172
Figura 156. Comportamiento comparativo de la velocidad del viento (m/s) Estación Ernesto Cortissoz.....	172
Figura 157. Comportamiento comparativo de la velocidad del viento (m/s) Estación Rafael Núñez.....	172
Figura 158. Comportamiento anual velocidad del viento (m/s) Estación Ernesto Cortissoz.....	174
Figura 159. Comportamiento anual velocidad del viento (m/s) Estación Rafael Núñez....	174
Figura 160. Comportamiento comparativo recorrido del viento (km) estaciones de estudio.....	175
Figura 161. Comportamiento anual del recorrido del viento (km) Estación Rafael Núñez.	175
Figura 162. Comportamiento del recorrido del viento (km) estación Ernesto Cortissoz....	176

Figura 163. Comportamiento anual recorrido del viento (km) Estación Galerazamba.....	176
Figura 164. Comportamiento Humedad relativa (%) en las estaciones de estudio.....	179
Figura 165. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Ernesto Cortissoz.....	180
Figura 166. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Las Flores.....	180
Figura 167. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Juan de Acosta.....	180
Figura 168. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Galerazamba..	180
Figura 169. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Repelón.....	181
Figura 170. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Rafael Núñez..	181
Figura 171. Comportamiento comparativo humedad relativa (%) Estación Simón Bolívar	181
Figura 172. Comportamiento de la evaporación(mm) en las estaciones de estudio.....	183
Figura 173. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Ernesto Cortissoz.	184
Figura 174. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Las Flores.....	184
Figura 175. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Galerazamba.....	185
Figura 176. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Repelón.....	185
Figura 177. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Rafael Núñez.....	185
Figura 178. Comportamiento comparativo evaporación(mm) Estación Simón Bolívar.....	185
Figura 179. Comportamiento del Brillo solar (horas) en las estaciones de estudio.....	187
Figura 180. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Ernesto Cortissoz	188
Figura 181. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Las Flores.....	188
Figura 182. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Galerazamba.....	188
Figura 183. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Repelón.....	188
Figura 184. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Rafael Núñez.....	189
Figura 185. Comportamiento comparativo brillo solar (horas) Estación Simón Bolívar....	189

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, o más bien desde su aparición, la vida del hombre ha estado ligada por completo a las condiciones climáticas de su entorno físico. Estas, han moldeado sus hábitos, sus rasgos culturales, han sido determinantes en la expansión o contracción de la población en determinados momentos de nuestra historia, en la escasez o abundancia de alimentos (y a su vez en la práctica del nomadismo o el sedentarismo), en las estructuras jerárquicas de sus sociedades, y en sus creencias. Tal como son determinantes hoy, aunque generalmente omitimos esa realidad creyendo en la perpetuidad de las condiciones de equilibrio climático que conocemos y en las cuales hemos vivido por mucho tiempo.

Ese continuo cambio de las condiciones climáticas a través de la historia, estudiado y conocido gracias a los métodos directos e indirectos de estudio de los climas del pasado propios de la Paleoclimatología, y generados por diversidad de factores naturales internos o astronómicos, a pequeña o gran escala temporal, ayudan a configurar, a través de su conocimiento, lo que constituye variabilidad climática y cambio climático; y a salir un poco de las confusiones y ambigüedades en las que se cae cuando se tratan estos temas.

Si ahondamos un poco en la Paleoclimatología podemos conocer a grandes rasgos la continua sucesión de cambios climáticos que ha experimentado nuestro planeta; caracterizados por la superposición progresiva de unas condiciones de equilibrio sobre otras, manifestados en la intercalación entre épocas cálidas y glaciaciones (cuando nos remitimos a períodos más remotos en donde la unidad de medida es el millón de años e incluso cientos y miles de millones de años), o como a partir de períodos más recientes (los tres millones de años atrás cuando se acentuó el

enfriamiento, donde a lo sumo hablamos de miles de años), entre períodos glaciares e interglaciares.

Esas condiciones de equilibrio a las que se hace referencia y que han sido relativamente constantes en el tiempo y en el espacio durante períodos apreciables, es lo que conocemos como clima. Claro está que su definición teórica es más sofisticada. Pero lo pertinente es resaltar que el clima está relacionado con el concepto de permanencia y que tiene como objeto el análisis de procesos atmosféricos en torno a sus valores promedios, los cuales son producto de la evaluación continua de observaciones en largos períodos de tiempo, y que son conocidos como Normales climatológicas. Estas son fundamentales para definirlo y compararlo.

Ahora, cabe señalar que el clima de la tierra depende del balance radiativo; es decir, del equilibrio en que se encuentra al emitir tanta energía como la que recibe. Este balance radiativo está controlado a su vez por factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los subsistemas constituyentes del sistema climático.

Los factores forzantes por excelencia son la energía electromagnética proveniente del sol, que es la fuente de energía que acciona los procesos atmosféricos, y el efecto invernadero propiciado por la presencia de gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, etc., en la atmósfera. Los factores determinantes son las condiciones físicas y geográficas que influyen en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor. Entre las cuales podemos mencionar la latitud, la elevación, la distancia al mar, la composición del relieve, la hidrografía, y la vegetación como los más significativos. El sistema climático está

constituido por la porción del planeta en la cual se producen las interacciones físicas que condicionan el clima de la superficie, a saber: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y, por supuesto, la biosfera, de la que hacemos parte. Estos subsistemas son altamente interactivos dada la gran superficie de contacto entre sí y sus dimensiones, especialmente la horizontal.

Teniendo en cuenta lo anterior y dada su característica estabilidad (consecuencia de las estadísticas calculadas en períodos más largos que los propios de la variación de tiempo meteorológico), el clima presenta fluctuaciones a escalas relativamente cortas que es lo que se conoce como variabilidad climática, la cual está asociada con el registro de datos por encima o por debajo de las normales climatológicas. La diferencia registrada entre la variable analizada con respecto a la normal climatológica se conoce como anomalía.

Entonces, la determinación de la variabilidad climática se logra mediante la determinación de las anomalías, las cuales se hacen evidentes cuando los valores de las variables climatológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de sus valores promedios.

Las escalas temporales más significativas en que se presenta este tipo de variación están dadas en orden mensual, estacional, anual y decadal (también se pueden dar en intervalos temporales más largos), presentando fenómenos asociados para cada uno.

Por ejemplo, la variación estacional, a la que corresponde la fluctuación del clima a escala mensual y la determinación del ciclo anual de los elementos climáticos, está asociada a la secuencia de las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño en latitudes medias; y a la alternancia de temporadas lluviosas y temporadas secas en latitudes tropicales, producto, principalmente, de la migración de la zona de confluencia intertropical (ZCIT), que es una de las más importantes fluctuaciones climáticas asociadas a esta escala.

Existe una variabilidad intraestacional que es de las menos estudiadas y está fundamentada en las evidencias que existen de oscilaciones que dentro de las estaciones determinan condiciones de tiempo durante decenas de días o de uno a dos meses. Dentro de estas oscilaciones se destaca una señal de tipo ondulatorio denominada de 30 – 60 días u oscilación de Madden-Julian (OMJ). Esta oscilación se distingue por los amplios sistemas de precipitación que se desplazan por los trópicos, sobretodo sobre los océanos Indico y Pacífico, aunque también tiene incidencia en el atlántico tropical. Su pronóstico es fundamental, ya que está asociada a la formación o inhibición de los ciclones tropicales; además, afecta también el tiempo en latitudes medias durante el invierno.

La variabilidad interanual acopla las variaciones climatológicas que hacen presencia de año en año, y puede estar relacionada con el balance global de radiación. Uno de los fenómenos enmarcados dentro de este tipo de variabilidad es el tan estudiado y conocido Niño – Niña (ENSO). Un fenómeno océano-atmosférico de escala planetaria que se presenta desde tiempos remotos (en el siglo XIII ya era conocido por los incas. Le llamaban “Timpu Llato”: tiempo caliente) y que tiene como principal escenario de actuación el océano pacífico tropical. Su

presentación es tan irregular como sus consecuencias, pero definitivamente está ligado a la variabilidad del clima a corto plazo.

Los fenómenos asociados a las escalas temporales señaladas están caracterizados, a su vez, por fenómenos de tiempo atmosféricos de diferentes dimensiones espaciales y grados de intensidad que impactan de forma significativa el desarrollo de las actividades del ser humano en diferentes lugares o regiones donde son característicos. Hacen parte de la fluctuación normal del clima y por si solos no constituyen, por muy extremos que sean, fundamento valido para hablar de cambio climático. Solo cuando las anomalías obedecen a una tendencia de largo plazo (30 años o más) y se modifican los patrones normales, podemos hablar en estos términos, aunque a veces con cierto maquillaje propagandístico, y en diferentes vías, se nos intenta confundir.

Sobre el calentamiento actual y su tendencia no existe discusión, hay suficiente consenso. Está documentado hasta la saciedad que a partir de 1860 con la finalización de la pequeña edad de hielo, entramos en un período de calentamiento (aunque han existido períodos cortos de enfriamiento) que aún hoy persiste y probablemente se extenderá. Donde no existe total consenso científico es en cuáles son los factores forzantes de ese incremento progresivo de la temperatura media global. ¿Natural, antrópico o ambos a la vez? De ser los dos ¿Cuál tiene mayor incidencia? Son algunas de las preguntas más frecuentes y a las que se busca responder con más certezas.

El calentamiento global se asume como uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad tanto actualmente como a futuro. Las manifestaciones de este fenómeno son

múltiples y afectan simultáneamente diferentes sistemas terrestres vitales para la conservación de la biodiversidad y la vida humana. Desde este punto de vista, el análisis del comportamiento de elementos caracterizadores del clima y el tiempo es fundamental para establecer tendencias, políticas y planes encaminados a la mitigación de impactos y adaptación a nuevos escenarios ambientales.

En el presente trabajo se da a conocer el comportamiento de las variables meteorológicas durante el período 1986 – 2015 en el departamento del Atlántico y los cambios comparativos del mismo con relación a los valores normales de la zona, ya que dichas variables han presentado cambios que han sido manifiestos en la frecuencia de ocurrencia de fenómenos atmosféricos de gran impacto, en la magnitud de los daños causados por estos y en la afectación de la población. La pretensión fundamental es determinar cómo los elementos meteorológicos o variables de la zona han cambiado durante, por lo menos, los últimos treinta años y como estos cambios pueden estar asociados a las manifestaciones del fenómeno del calentamiento global. Aunque el trabajo se centra soportado por los datos obtenidos, en su mayoría, de estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento del Atlántico, se consideró pertinente recurrir a información de estaciones meteorológicas ubicadas por fuera de este con el objetivo de tener una visión más amplia del comportamiento en la zona y de darle más relevancia a la franja costera debido a los procesos dinámicos que se presentan en la interacción océano continente.

Para su realización se recurrió a la recopilación de información de estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento. Específicamente se tomaron datos de doce (12) estaciones entre

sinópticas principales (SP), climatológicas principales (CP), climatológicas ordinarias (CO) y pluviométricas (PM).

El análisis de la información obtenida por adquisición al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, se centra en la determinación del comportamiento de las variables o elementos meteorológicos y como se correlacionan para caracterizar el clima de la zona de estudio. Este es un aporte para la comprensión de la dinámica atmosférica del área de estudio y su comportamiento a lo largo del período de referencia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La variabilidad del clima en el Caribe colombiano durante los últimos años ha sido altamente notoria debido a los efectos que esta ha causado en la población a través de la manifestación de fenómenos meteorológicos de gran impacto en la infraestructura pública y en los bienes domésticos. Fenómenos como lluvias intensas, considerables períodos de sequía, formación de tornados, fuertes ráfagas de vientos, el continuo paso de los huracanes por aguas del Caribe, entre otros, propician condiciones de tiempo atmosférico adversas para el desarrollo normal de las actividades de los pobladores de esta región.

Además de lo anterior, no existe en el departamento del Atlántico información bibliográfica sobre el comportamiento de las variables meteorológicas y sus posibles tendencias a corto, mediano y largo plazo que pueda servir de soporte para la toma de decisiones de los organismos departamentales encargados de la prevención y mitigación de los riesgos generados por

condiciones climáticas.

Los estudios relativos a este aspecto han quedado de lado y solamente se encuentran breves referencias de reseñas superficiales acerca del comportamiento climático generalizado de la región Caribe. Las reseñas que existen no dejan de ser más que generalizaciones amparadas en algunos promedios estadísticos que no dicen demasiado acerca de la asociación de comportamientos entre variables meteorológicas y fenómenos. Este trabajo pretende ser el punto de partida para ir subsanando esas debilidades.

JUSTIFICACIÓN

El departamento del Atlántico por hacer parte de la zona caribe colombiana, es potencialmente vulnerable a la variabilidad del clima y el tiempo, especialmente si ésta se da en el marco de un fenómeno como el calentamiento global que afecta significativamente los sistemas biológicos, geográficos y urbanos.

Dada la escasez de estudios técnicos sobre este tema y la importancia del análisis de este fenómeno tanto a nivel local como regional para determinar sus impactos, se hace necesario tomar la iniciativa en la materia, generando y aportando información técnica y académica de calidad, que pueda servir de base para generar planes y políticas que coadyuven en la mitigación de los impactos y en la adaptabilidad de la población a los cambios que puedan ocurrir.

Una primera aproximación en este objetivo es determinando los comportamientos y tendencias de las variables meteorológicas, así como las anomalías que se presentan al comparar éstas con las normales climatológicas características de la zona, con el fin de generar

asociaciones que permitan identificar las repercusiones que dichos comportamientos han tenido en los ecosistemas del área estudiada.

Con el fin de determinar estas anomalías es necesario realizar un estudio de las variables meteorológicas seleccionadas por un periodo de 30 años, tiempo que fue fijado por la Comisión de climatología de la Organización Meteorológica Internacional desde el año de 1935, de manera que logre cumplir con las características de lo que se refiere a un estudio de variabilidad climática.

El desarrollo de este proyecto es de gran importancia pues con sus resultados se pueden ver beneficiados los sectores académicos, empresarial y público; además sobre el mismo se pueden articular políticas y planes de desarrollo tanto a nivel local como departamental.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el comportamiento de variables meteorológicas en el Departamento del Atlántico durante un periodo de 30 años, para así determinar anomalías y tendencias de las mismas en la zona en estudio.

Objetivos específicos

- Recopilar información de estaciones sinópticas principales (SP), climatológicas principales (CP), climatológicas ordinarias (CO) y pluviométricas (PM) ubicadas en el departamento del Atlántico.

- Analizar la información recolectada, comparar y establecer comportamientos y tendencias de las variables seleccionadas para el estudio con las normales climatológicas establecidas para la zona.
- Establecer relaciones entre los comportamientos observados y los fenómenos ocurridos durante el tiempo seleccionado para el análisis.
- Determinar a través de índices bioclimáticos si los comportamientos hallados en el estudio, han modificado las características de la zona.

MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

Desde tiempos remotos, o más bien desde su aparición, la vida del hombre ha estado ligada por completo a las condiciones climáticas de su entorno físico. Estas, han moldeado sus hábitos, sus rasgos culturales, han sido determinantes en la expansión o contracción de la población en determinados momentos de nuestra historia, en la escasez o abundancia de alimentos (y a su vez en la práctica del nomadismo o el sedentarismo), en las estructuras jerárquicas de sus sociedades, y en sus creencias. Tal como son determinantes hoy, aunque generalmente omitimos esa realidad creyendo en la perpetuidad de las condiciones de equilibrio climático que conocemos y en las cuales hemos vivido por mucho tiempo (*Vásquez, 2009*).

Ese continuo cambio de las condiciones climáticas a través de la historia, estudiado y conocido gracias a los métodos directos e indirectos de estudio de los climas del pasado propios

de la Paleoclimatología, y generados por diversidad de factores naturales internos o astronómicos, a pequeña o gran escala temporal, ayudan a configurar, a través de su conocimiento, lo que constituye variabilidad climática y cambio climático.

Al referirse a este tipo de temas es necesario conocer la definición de algunos términos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD- el calentamiento global es el fenómeno que registra aumentos en las temperaturas promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos, ocasionados principalmente por acción antrópica; el Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2001) define al cambio climático como la variación estadísticamente significativa, ya sean de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un periodo de tiempo prolongado, generalmente decenios. Ahora, según Smith y Smith (2007), el clima se define como el patrón medio del tiempo a largo plazo, mientras que el tiempo es el comportamiento de la atmósfera en un periodo de tiempo determinado. (PNUD, 2010)

Según Vásquez, el clima presenta fluctuaciones a escalas relativamente cortas que es lo que se conoce como variabilidad climática, la cual está asociada con el registro de datos por encima o por debajo de las normales climatológicas. La diferencia registrada entre la variable analizada con respecto a la normal climatológica se conoce como anomalía. Entonces, la determinación de la variabilidad climática se logra mediante el establecimiento de las anomalías, las cuales se hacen evidentes cuando los valores de las variables climatológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de sus valores promedios.

El departamento del Atlántico se encuentra ubicado en la zona norte de Colombia, cuenta con

una extensión de más de 3 mil km², una temperatura media anual de 27°C y un régimen de lluvias bimodal con una precipitación promedio anual de 700mm al norte del departamento y 1300mm al sur. La actividad antrópica ha venido generando alteraciones climáticas con nefastas consecuencias ambientales, económicas y sociales, pues estos cambios climáticos, según la Corporación Autónoma Regional del Atlántico, CRA, en los últimos años se han presentado fenómenos relacionados a esta variabilidad climática, en donde se han generado periodos de extrema lluvia y extrema sequía que han influenciado el comportamiento y los niveles de los diferentes cuerpos de agua, inundaciones, olas de calor, tormentas eléctricas de gran intensidad, efectos en la agricultura y en la salud, además de fenómenos meteorológicos extremos que años atrás no se presenciaban.

Conociendo que los cambios que intenta hacer el hombre por apaciguar sus acciones en contra del medio ambiente son escasos, los impactos de estas variabilidades climáticas continuarán generando cambios negativos ambientales, económicos y sociales; se hace entonces necesario implementar planes integrales de mitigación y de adaptación, por lo cual el análisis de variables meteorológicas es imprescindible para cumplir con dichos planes. En este trabajo se utilizarán datos de algunas variables meteorológicas que permitirán realizar comparaciones entre las normales climatológicas establecidas para el departamento del Atlántico durante 30 años. Las variables meteorológicas fueron seleccionadas de acuerdo a su grado de importancia y representatividad en cuanto a la medición de las condiciones del estado del tiempo atmosférico y la variabilidad climática, además de ser las variables que fundamentalmente más se miden en la red de estaciones meteorológicas del país y del mundo.

Los conceptos de tiempo meteorológico y clima suelen confundirse en la actualidad, ya que ambos hacen referencia al estado de la atmósfera; su diferencia según Marín (1990) radica en

que al tiempo se le otorga un carácter momentáneo o instantáneo y particular, y al clima un valor permanente o general. El meteorólogo alemán Herman Flohn en 1968 escribió: “El clima se ha definido como el estado medio de la atmósfera, determinado a base de los datos correspondientes al intervalo de algunas décadas”, donde posteriormente incluyó en esta definición el desarrollo normal o medio del tiempo atmosférico con todas sus anomalías. La palabra permanente se refiere al estado medio de la atmósfera, lo cual se fija estadísticamente por los valores medios de un periodo suficientemente amplio, y que, desde el año de 1935, la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Internacional fijó en 30 años.

Los datos recolectados para el desarrollo de esta investigación fueron tomados de estaciones meteorológicas de propiedad del IDEAM, las cuales fueron escogidas de acuerdo a su ubicación geográfica y a su densidad de datos, buscando una máxima cobertura de información y representatividad. Una estación meteorológica es una instalación destinada para medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas por medio de instrumentos meteorológicos. Las estaciones seleccionadas para esta investigación se dividen en sinópticas principales (SP), climatológicas principales (CP), climatológicas ordinarias (CO) y pluviométricas (PM) y fueron seleccionadas estratégicamente para lograr recopilar datos de calidad (OMM, 1967).

Diseño Metodológico

Tipo de Estudio

Para la presente investigación, la metodología propuesta es de tipo cuantitativo, por cuanto se utilizan datos numéricos para fundamentar unas conclusiones posteriores. La fase final es de tipo cualitativo, ya que producto del análisis realizado hay una cualificación de las condiciones

climáticas del área de estudio. Este estudio además se considera de corte longitudinal ya que existe un tiempo entre las variables analizadas, de forma que puede establecerse una secuencia temporal entre estas, pues se comparan las normales climatológicas de la zona de estudio con los datos recolectados durante los últimos años de registro en las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Población y Muestra

Población

La población se constituye por el grupo de estaciones pertenecientes al IDEAM en el departamento del Atlántico: estaciones sinópticas principales (SP), climatológicas principales (CP), climatológicas ordinarias (CO) y pluviométricas (PM) seleccionadas estratégicamente de modo que sean representativas para el presente estudio. En total se relacionaron 67 estaciones, de las cuales 33 están actualmente suspendidas, también se incluyeron dos estaciones fuera del departamento, ubicadas en los Aeropuertos Rafael Núñez de Cartagena y Simón Bolívar de Santa Marta, con el fin de realizar una mejor caracterización de la franja costera.

Muestra

La muestra está constituida por doce (12) estaciones entre sinópticas principales (SP), climatológicas principales (CP), climatológicas ordinarias (CO) y pluviométricas (PM).

Instrumento y recolección de información

La información se obtuvo a través de fuentes primarias, por medio de una petición realizada al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM – quien facilitó los datos de las diferentes estaciones seleccionadas, durante el periodo de registro solicitado.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa Excel, a través del cual se confeccionaron gráficos comparativos, de comportamientos individuales, de tendencias y de correlación. Se realizaron también diagramas ombrotérmicos y gráficos de índices bioclimáticos.

Procedimiento para el análisis de la información

En primer lugar, luego de recibir la información solicitada al IDEAM, se revisó cada una de las estaciones con el fin de identificar cuales contenían mayor densidad de datos, después se seleccionaron las doce (12) estaciones más representativas y se efectuó un registro de los datos de cada una de las variables en el programa Excel para así hacer un análisis del comportamiento de cada una de ellas.

Las primeras informaciones analizadas fueron los datos normales característicos de la zona durante el periodo comprendido entre 1971-2000, con ello se realizó una caracterización normalizada del comportamiento climático del área de estudio.

Luego se registraron en el programa Excel los datos correspondientes con el periodo de estudio comprendido entre 1986 – 2015, realizando con esto una caracterización del comportamiento climático de los últimos treinta años en el área de estudio.

Finalmente, una vez se obtuvo el análisis de ambas series de datos, se procedió a compararlas, a través de esta comparación se determinaron anomalías y tendencias de comportamiento fundamentadas principalmente en las diferencias encontradas entre ambas series de datos. Así como se determinaron las anomalías en cada una de las variables estudiadas, también se procedió a establecer los índices bioclimáticos para estas dos series de datos, así como las correlaciones respectivas entre variables.

1. Capítulo I: Caracterización Climática Normalizada Del Área De Estudio (Promedios 1971 – 2000)

1.1 Estaciones Meteorológicas

Una estación meteorológica es el lugar o sitio donde se hace la medición y la observación de los diferentes parámetros meteorológicos que caracterizan en corto plazo el tiempo atmosférico de un lugar determinado, y que analizados y estudiados en el largo plazo arrojan información pertinente acerca del comportamiento del clima y su posible evolución. Para ello debe estar equipada de instrumentos apropiados, en buen estado y, de ser posible, contar con el personal idóneo para recolectar, almacenar y transmitir los datos suministrados por aquellos u obtenidos a través de la percepción sensorial.

Las estaciones meteorológicas se clasifican, según normas técnicas establecidas por la Organización Meteorológica mundial (OMM) y criterios del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en: Sinópticas principales (SP), sinópticas suplementarias (SS), climatológica principal (CP), climatológica ordinaria (CO), pluviométrica (PV), pluviográfica (PG), agrometeorológica (AM) de radiosonda (RS) y mareográfica (MM). Todas diferenciadas de acuerdo al tipo y cantidad de instrumentos de que son dotadas. En la tabla 1 se detallan las estaciones escogidas para el presente estudio e información pertinente relativa a la ubicación y clase.

1.2 Variables Meteorológicas

Las variables meteorológicas a analizar en el marco del presente trabajo, de acuerdo a las estaciones meteorológicas de la cual se toman los datos, son temperatura del aire seco, precipitación, vientos (recorrido, dirección y velocidad), humedad relativa, evaporación y brillo

solar. De acuerdo al tipo de estación meteorológica así será la gama de variables que podrán analizarse en el sitio particular en el que se encuentra emplazada.

Tabla 1

Estaciones consideradas para el estudio

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	MUNICIPIO	COORDENADAS			TIPO DE ESTACIÓN
			Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)	
29045120	Las Flores	Barranquilla	11°02'	74°49'	2	CP
29040230	Puerto Colombia	Puerto Colombia	10°59'	74°58'	5	PM
14010100	La pintada	Tubará	10°57'	74°59'	200	PM
2904502	Ernesto Cortissoz	Soledad	10°53'	74°47'	20	SP
29045110	Juan de Acosta	Juan de Acosta	10°50'	75°02'	20	CO
14015010	Galerazamba	Galerazamba	10°47'	75°15'	20	CP
2903507	Repelón	Repelón	10°50'	75°13'	10	CP
29035130	Santa Lucía	Santa Lucía	10°31'	74°95'	5	CP
29035120	El limón	Manatí	10°41'	75°06'	7	CO
29035080	Normal Manatí	Manatí	10°45'	74°95'	10	CP
15015050	Simón Bolívar	Santa Marta	11°13'	74°22'	4	SP
14015020	Rafael Núñez	Cartagena	10°44'	75°52'	2	SP

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

1.2.1 Temperatura del Aire

La temperatura es una variable o elemento meteorológico cuya medición requiere de mucho cuidado, razón por la cual se ha adoptado un método bastante riguroso y estandarizado con el ánimo de obtener datos lo más fidedignos posibles, minimizando la influencia de otros elementos o de factores externos que pueden inducir a una medida errónea.

Esta variable es medida en las estaciones sinópticas y climatológicas, tanto principales como secundarias; es decir, para efectos de lo que se pretende, las estaciones en las que encontraremos análisis al respecto son Aeropuerto Ernesto Cortissoz, Las Flores, Juan de Acosta, La pintada, Repelón, Galerazamba, Santa Lucía, El limón, Normal Manatí, Rafael Núñez y Simón Bolívar.

1.2.2 Temperaturas Medias Y Normales

Para evitar el empleo erróneo de los datos de temperatura, es necesario tener en cuenta la terminología y los métodos de cálculo que se han normalizado internacionalmente.

Los términos promedio y media se refieren siempre a promedios aritméticos, empleándose en forma indistinta. El término normal se utiliza como patrón de comparación, siendo igual al promedio de 30 años de datos de la variable en cuestión para una estación meteorológica determinada. Actualmente la Organización meteorológica mundial ha establecido el período 1971 – 2000 como referencia para el establecimiento de los valores normales característicos de cada estación y por ende representativos del lugar de emplazamiento de esta.

Los datos y comportamientos normalizados de las temperaturas en las estaciones de estudio se pueden observar en las tablas 2, 3 y 4 así como en las figuras del 1 al 13.

La amplitud máxima anual promedio de temperaturas ($T_{\text{Máxima media anual}} - T_{\text{Mínima media anual}}$) se presenta en la estación Normal Manatí (11.2°C) y la mínima en la estación Las Flores (4.7°C). La mayor distancia al mar de las estaciones, es decir, el efecto de la continentalidad, de las estaciones de Normal Manatí, El Limón, Repelón, Santa Lucía y Juan De Acosta, respecto a las otras estaciones, puede ser un factor determinante de este comportamiento. Entre el comportamiento de estas cinco estaciones es probable que esté jugando un papel importante la capacidad de reflexión de la radiación solar de la superficie en las diferentes áreas (albedo) debido a las diferencias de cobertura vegetal.

Además, hay que considerar la presencia de otros cuerpos de agua cercanos al lugar de emplazamiento de las estaciones, así como su cercanía a centros urbanos. La estación Simón Bolívar presenta una amplitud apreciable del orden de los 9°C , la cual está determinada por estar ubicada a sotavento de la sierra nevada y por lo cual recibe el influjo directo de los vientos secos y cálidos descendentes por dicha ladera, esta condición se conoce en el ámbito meteorológico con el nombre de sombra pluviométrica debido a la influencia que ejerce sobre el comportamiento y la cantidad de precipitaciones en el lugar.



Imagen 1. Estaciones meteorológicas de estudio

Fuente: Google Earth

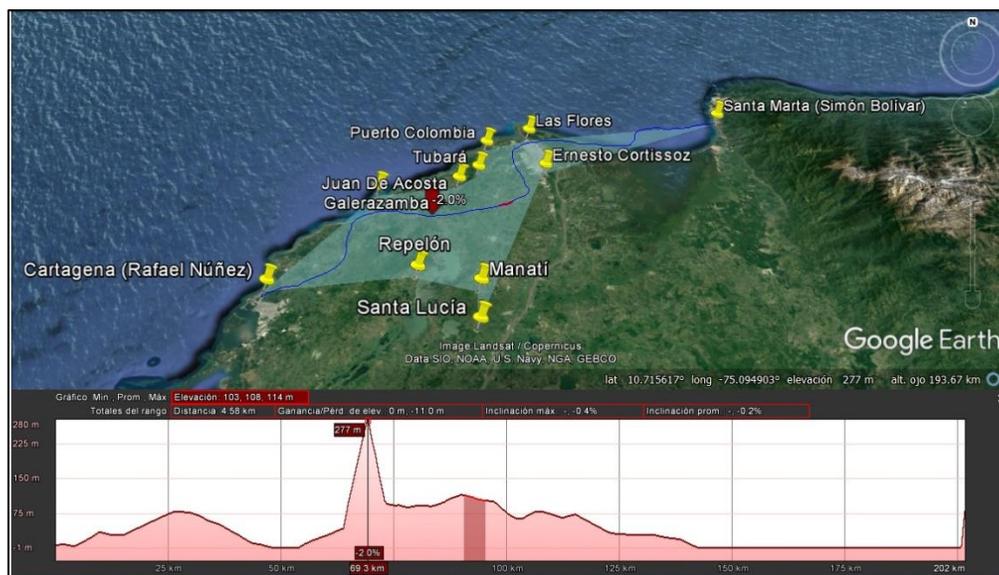


Imagen 2. Perfil de elevación del área de estudio

Fuente: Google Earth

Figuras 1 a 10. Comportamientos normales de las temperaturas medias, máximas y mínimas en algunas de las estaciones de estudio.

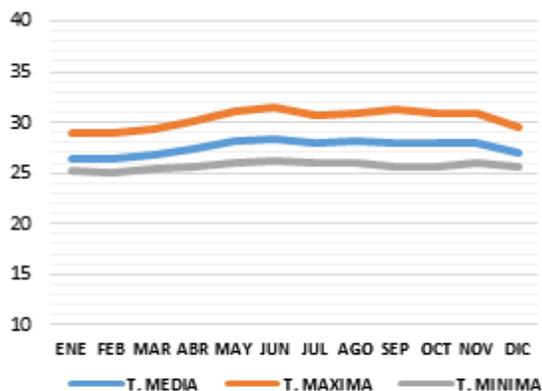


Figura 1. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

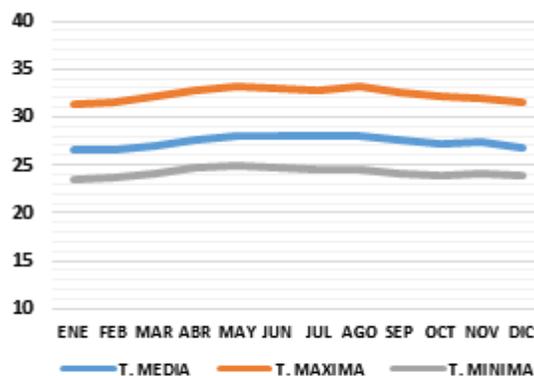


Figura 2. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Ernesto Cortisoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

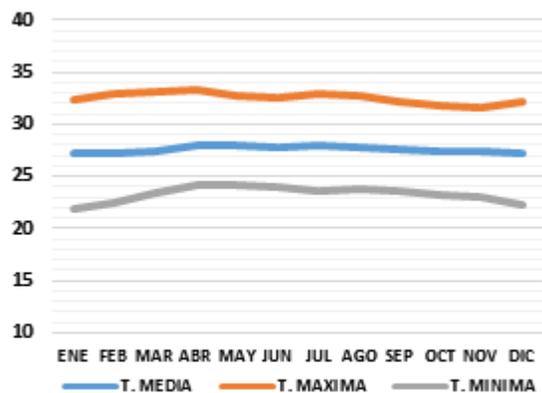


Figura 3. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

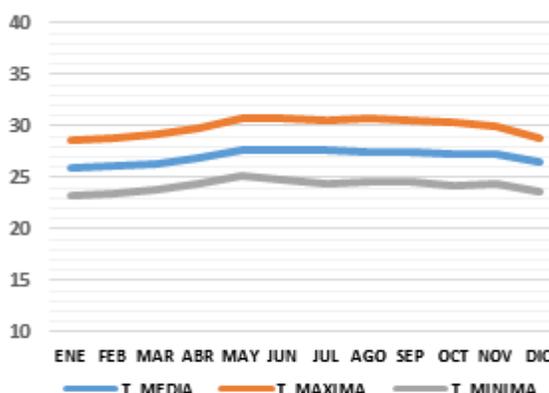


Figura 4. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

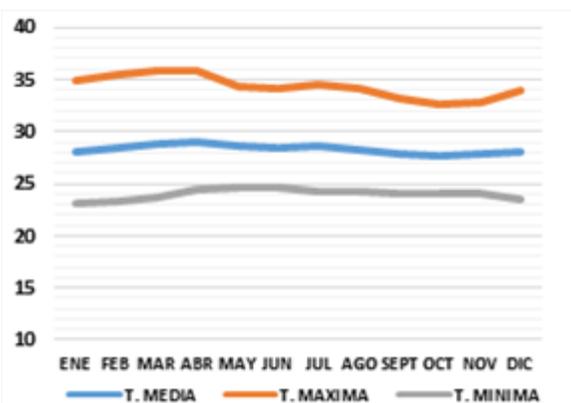


Figura 5. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación El Limón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

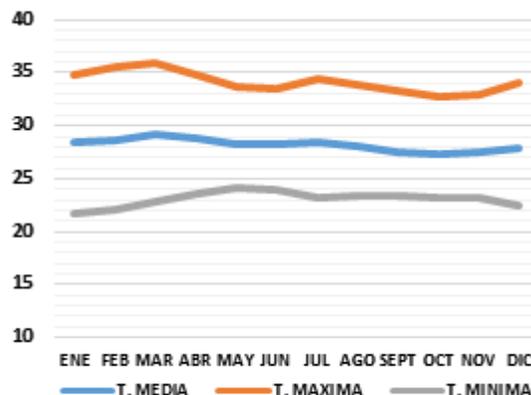


Figura 6. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Santa Lucía. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

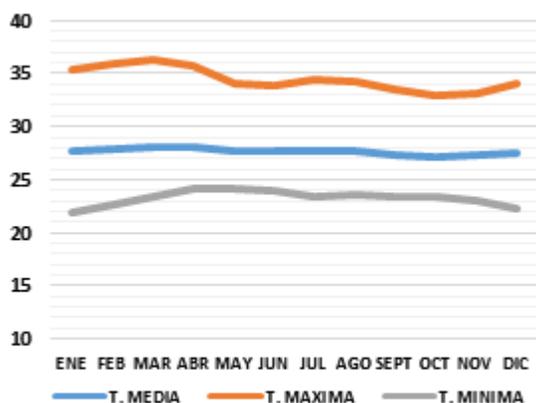


Figura 7. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

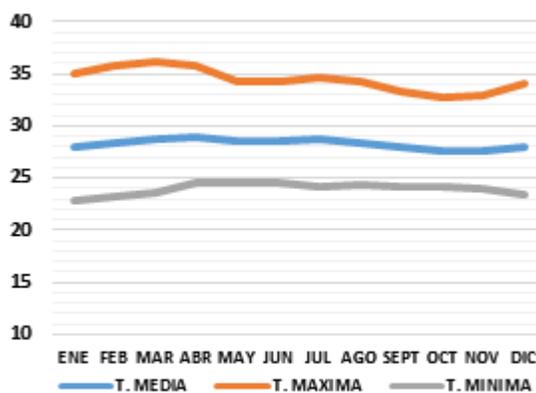


Figura 8. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Normal Manatí. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

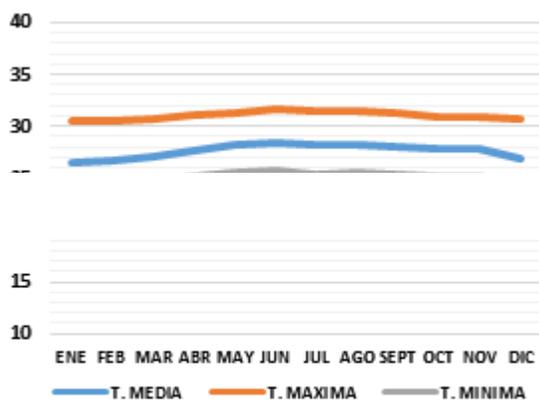


Figura 9. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

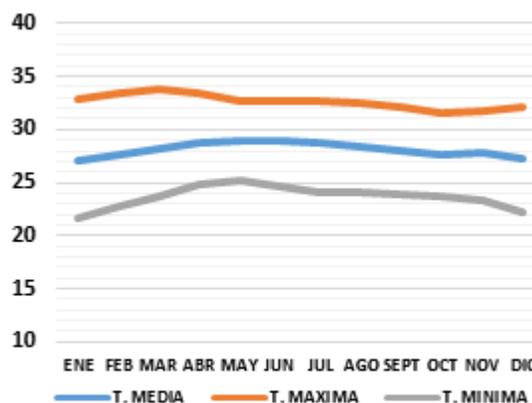


Figura 10. Promedios Normales De Temperaturas (°c) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

En las figuras numeradas de 1 a 10 se puede observar un análisis comparativo del comportamiento normalizado de las temperaturas en las diferentes estaciones de estudio dotadas con el instrumental adecuado.

En la figura 11 se evidencia el comportamiento normal comparativo de las temperaturas medias, destacándose especialmente la tendencia y niveles superiores de las estaciones de Santa Lucía, Repelón y El Limón en el departamento del Atlántico y de la estación Simón Bolívar,

todas pasan de un nivel de 28°C. Las temperaturas medias máximas se concentran definitivamente al sur del departamento, Santa Lucía, El Limón y Repelón durante el año se reparten los mayores niveles térmicos. A principios de año las temperaturas medias superiores se concentran en la estación Normal Manatí, de abril a septiembre Repelón tiene temperaturas medias superiores a las demás estaciones mientras que los tres últimos meses del año los mayores niveles térmicos los presenta la estación de El Limón. El comportamiento de esta variable en el departamento deja ver sus mayores incrementos de forma generalizada entre los meses de abril y mayo y los de junio y julio; sin embargo, en las estaciones de Santa Lucía, Repelón y El Limón este comportamiento tiene cambios, pues los primeros meses del año son fundamentalmente los más calientes. En estas estaciones se observa una disminución de las temperaturas medias que es progresiva con el correr del año, por lo general. Este comportamiento se asocia con los apreciables niveles de precipitaciones que se presentan para dichos meses. En dichas estaciones es donde se observan las mayores cantidades de precipitación para mediados del año. Este comportamiento generalizado de las temperaturas medias del área de estudio guarda una estrecha relación con el comportamiento de la precipitación y el comportamiento de los vientos en cuanto a velocidad y recorrido.

Los menores niveles de magnitud de la variable se observan en Galerazamba durante gran parte del año excepto para septiembre y octubre. Esta es una estación muy representativa debido a que allí se registran las mayores velocidades de los vientos, y debido a ello sus niveles térmicos tienden a ser menores.

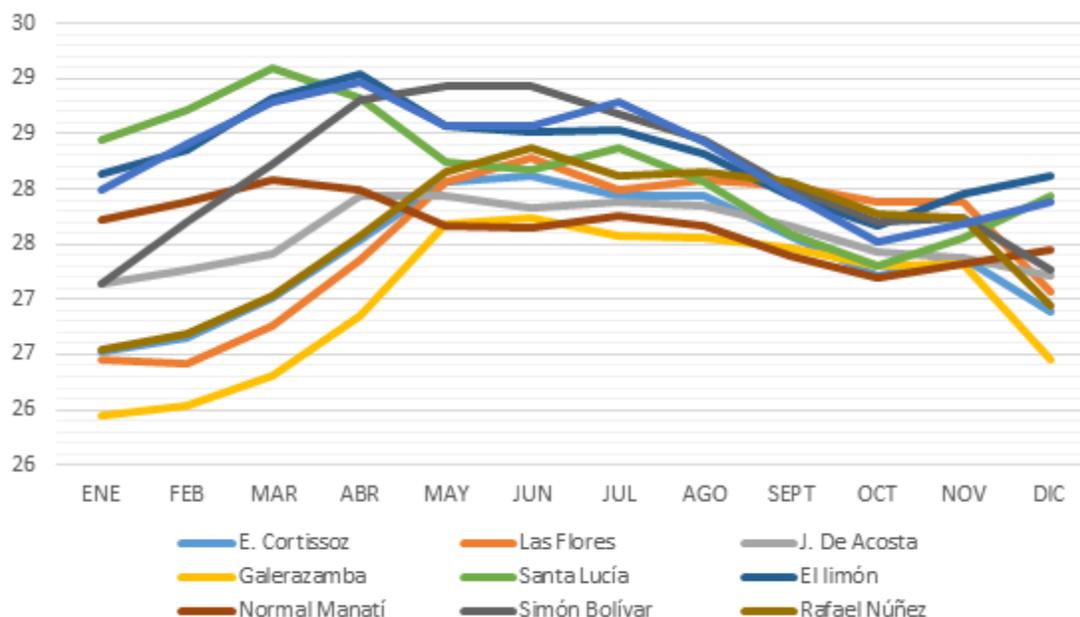


Figura 11. Comportamiento Normal De Temperaturas Medias (°c) En Las Estaciones De Estudio
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Los meses en que las temperaturas medias alcanzan sus mayores niveles en el área de estudio son abril, mayo y junio (28.3°C), meses en donde los procesos convectivos desencadenan movimientos verticales muy apreciables en contraposición a los horizontales; es decir, predominan los procesos generadores de nubosidad y lluvia por encima de los vientos característicos de los meses que le anteceden. La temperatura media anual del área de estudio está en el orden de 27.8°C. Las temperaturas medias menores se presentan en los meses de enero y diciembre con registros medios de 27.2°C y 27.3°C respectivamente.

De acuerdo a los valores normales de temperaturas medias, sin considerar otros parámetros, en el departamento del Atlántico predomina el clima cálido seco, debido a que las temperaturas medias en todo el departamento superan los 24°C. En la imagen 3 se puede observar esta condición.

En las tablas 2, 3 y 4 se pueden observar todos los valores normales de las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales promedio de todas las estaciones dotadas del instrumental para medirlo.

Las temperaturas máximas medias mensuales se comportan normalmente de acuerdo a la figura 12. Se puede observar como las líneas que representan a las estaciones meteorológicas de Normal Manatí, Repelón y Santa Lucía sobresalen sobre las de otras estaciones, especialmente a principios de año. Las estaciones ubicadas en el sur del departamento jalonan los promedios del área de estudio. Las estaciones que presentan una temperatura máxima media mayor son Normal Manatí y Repelón, ambas con un promedio de 34.4°C, seguidas de las estaciones El Limón y Santa Lucía con promedios de 34.3 °C y 34.1°C respectivamente. Las temperaturas máximas menores se observan en Galerazamba, en donde el promedio anual es de 29.9°C seguida de la estación Las Flores con un promedio anual de 30.3°C. Las estaciones más cercanas a la línea de costa presentan menores temperaturas y menores amplitudes anuales. En promedio, los meses en que las temperaturas máximas son mayores en el área de estudio son marzo y abril con 33.2°C y 33.3°C respectivamente. El comportamiento de la temperatura máxima en las estaciones de estudio es diversificado de acuerdo a factores de tipo local y el comportamiento de otras variables meteorológicas que guardan correlación con esta.

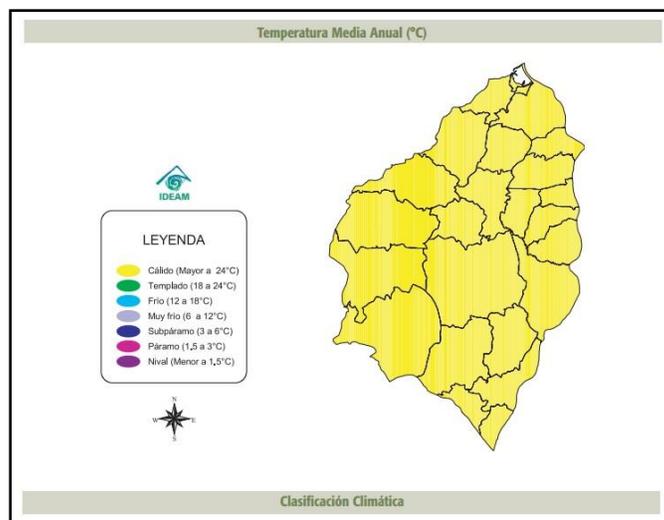


Imagen 3. Mapa de temperaturas medias y clasificación climática.
Fuente: IDEAM. Atlas Climatológico De Colombia.

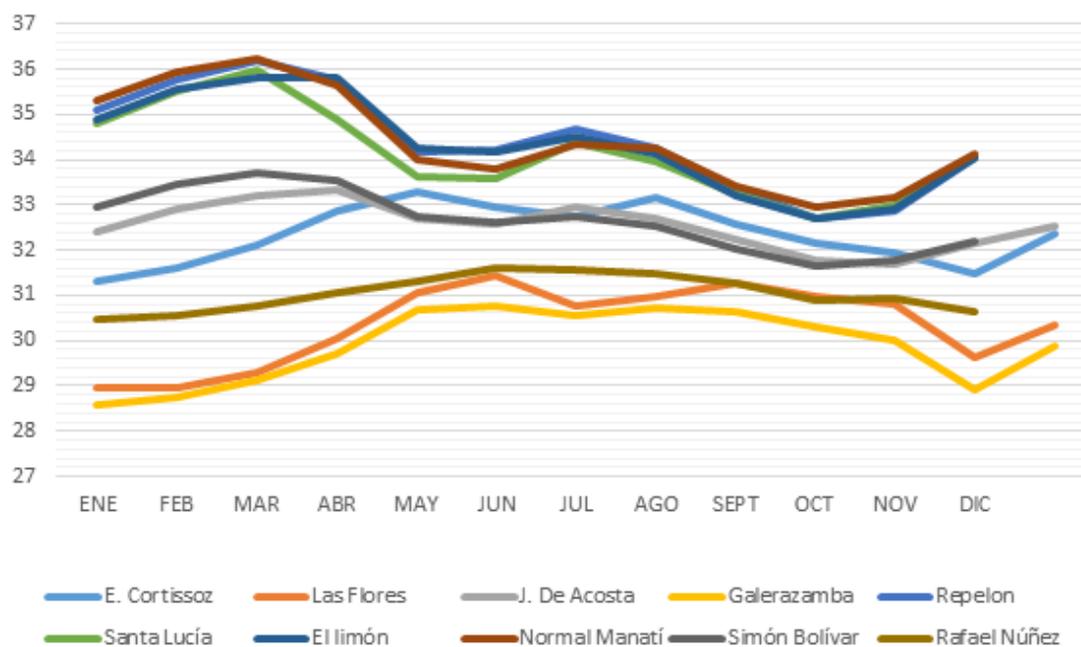


Figura 12. Comportamiento Normal De Temperaturas Máximas (°C) En Las Estaciones De Estudio
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

La estación Las Flores también presenta temperaturas máximas bajas en comparación con las demás. Este comportamiento al igual que el de Galerazamba y el de Rafael Núñez, se explica por

la cercanía al mar, el cual ejerce un efecto termorregulador debido a su calor específico que incentiva que se den amplitudes térmicas menores (6.1°C para Rafael Núñez, 5.7°C para Galerazamba y 4.7°C para Las Flores). Casos contrarios los Santa Lucía (11.1°C), El Limón (10.3°C), Normal Manatí (11.2°C) y Repelón (10.5°C), Ernesto Cortissoz (8.1°C) y Juan de Acosta (9.2°C). La estación Simón Bolívar es la excepción debido al ya mencionado efecto de sotavento (Efecto Föhn) o sombra pluviométrica, lo que propicia que a pesar de estar a muy poca distancia de la línea de costa presenta una amplitud térmica mensual promedio considerable (9.0°C).

Se puede evidenciar el influjo de la continentalidad, pues en las estaciones más distantes de la línea de costa se observan, por lo general, los menores valores de la variable, mientras que en las estaciones más cercanas las temperaturas mínimas tienden a ser mayores. Se constata que en la estación Las Flores es donde este parámetro presenta sus mayores valores, seguida de la estación Rafael Núñez. Luego se sitúa Galerazamba, un punto más para establecer el rol que juega la cercanía al mar, pues este no permite que las temperaturas máximas y mínimas sean tan extremas. Los valores medios anuales de las variables en estas estaciones son: Las Flores, 25,7°C, Rafael Núñez 24,9°C y Galerazamba 24.2°C.

El comportamiento anual de las temperaturas normales sigue patrones similares en todas las estaciones, solo cambian los valores que toman los parámetros por aspectos de tipo geográfico. Así se puede considerar que en los primeros meses del año los vientos juegan un papel importante en todo el departamento en la disminución de las temperaturas y que va ligado de manera directa al comportamiento de esta.

Entre los meses de abril, mayo y junio las temperaturas presentan aumentos que van de la mano de la disminución de la velocidad y el recorrido del viento, así como del desarrollo de procesos convectivos que propician flujos de calor desde la superficie hacia la atmosfera de manera constante.

El pico máximo se presenta generalmente entre los meses de mayo y junio, luego se experimenta un descenso que coincide con aumentos de velocidad y recorrido del viento y desactivación de los procesos convectivos hasta el mes de agosto donde nuevamente se presenta un incremento. Luego para los meses de septiembre y octubre, los más lluviosos en el departamento, las temperaturas vuelven a descender debido al normal incremento de los niveles de precipitación, los cuales ejercen un efecto mayor en la temperatura que el transporte calorífico entre superficie y atmósfera, propio de tiempo convectivo.

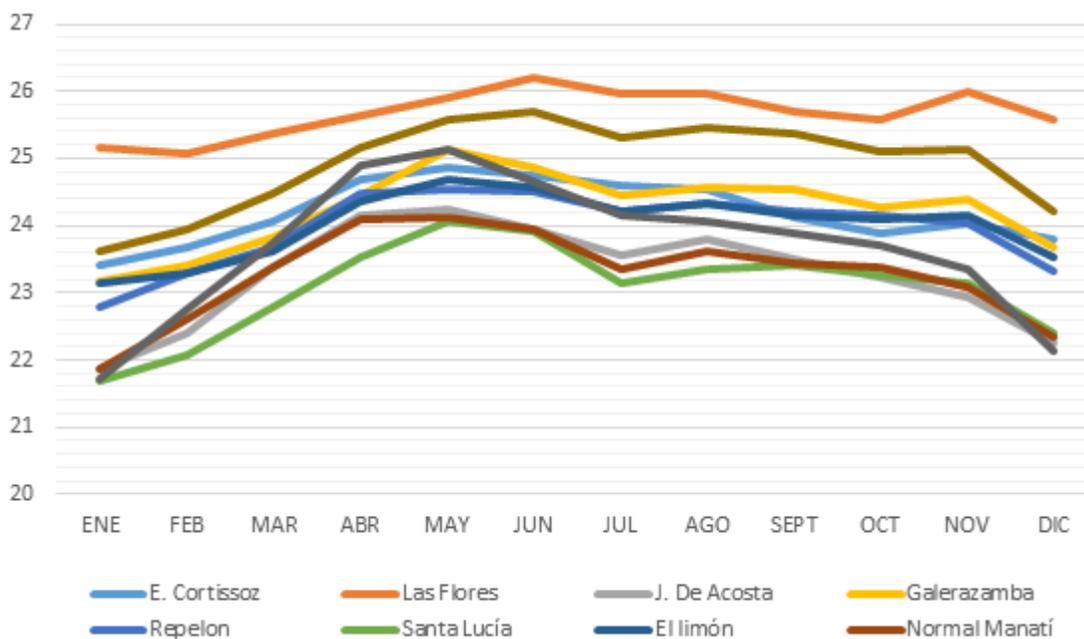


Figura 13. Comportamiento Normal De Temperaturas Mínimas (°C) En Las Estaciones De Estudio
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En la imagen 4 se puede apreciar el comportamiento de la temperatura media normal del aire sobre la superficie del mar Caribe. Este comportamiento va acorde con el evidenciado por medio de las figuras lineales anteriores. Se podrá constatar en posteriores páginas como este comportamiento depende de cómo se presenten las precipitaciones y el viento. Se puede notar el incremento progresivo de las temperaturas medias a medida que avanza el año, presentando cierta uniformidad en cuanto a los intervalos de análisis a partir del mes de abril hasta noviembre. En diciembre con el incremento de la velocidad y el recorrido de los vientos zonales (alisios) y la consecuente disminución del flujo convectivo ascendente, las temperaturas vuelven a disminuir durante por lo menos los cuatro meses siguientes.

Tabla 2

Valores De Temperaturas Medias Normales En Las Estaciones De Estudio

TEMPERATURAS MEDIAS										
Meses	E.	Las	J. De	Galera		Santa	El	Normal	Simón	Rafael
	Cortissoz	Flores	Acosta	zamba	Repelón	Lucía	limón	Manatí	Bolívar	Núñez
ENE	26.5	26.5	27.1	26.0	28.0	28.4	28.1	27.7	27.1	26.6
FEB	26.7	26.4	27.3	26.0	28.4	28.7	28.4	27.9	27.7	26.7
MAR	27.0	26.8	27.4	26.3	28.8	29.1	28.8	28.1	28.2	27.0
ABR	27.5	27.4	27.9	26.9	29.0	28.8	29.1	28.0	28.8	27.6
MAY	28.1	28.1	27.9	27.7	28.6	28.3	28.6	27.7	28.9	28.2
JUN	28.1	28.3	27.8	27.7	28.6	28.2	28.5	27.7	28.9	28.4
JUL	27.9	28.0	27.9	27.6	28.8	28.4	28.5	27.8	28.7	28.1
AGO	27.9	28.1	27.9	27.6	28.4	28.1	28.3	27.7	28.4	28.2
SEPT	27.6	28.0	27.7	27.5	28.0	27.6	27.9	27.4	28.0	28.1
OCT	27.2	27.9	27.4	27.3	27.5	27.3	27.7	27.2	27.7	27.8

NOV	27.4	27.9	27.4	27.3	27.7	27.6	28.0	27.3	27.7	27.7
DIC	26.9	27.1	27.2	26.5	27.9	27.9	28.1	27.5	27.3	27.0
MEDIA	27.4	27.5	27.6	27.0	28.3	28.2	28.3	27.6	28.1	27.6
ANUAL										

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Tabla 3

Valores De Temperaturas Máximas Normales En Las Estaciones De Estudio

TEMPERATURAS MÁXIMAS										
Meses	E. Cortissoz	Las Flores	J. De Acosta	Galera zamba	Repelón	Santa Lucía	El limón	Normal Manatí	Simón Bolívar	Rafael Núñez
ENE	31.3	28.9	32.4	28.6	35.1	34.8	34.9	35.3	32.9	30.5
FEB	31.6	28.9	32.9	28.8	35.8	35.5	35.6	36.0	33.5	30.6
MAR	32.1	29.3	33.2	29.1	36.2	36.0	35.8	36.2	33.7	30.8
ABR	32.9	30.0	33.4	29.7	35.8	34.9	35.8	35.7	33.5	31.1
MAY	33.3	31.0	32.7	30.7	34.2	33.6	34.3	34.0	32.8	31.3
JUN	33.0	31.4	32.6	30.8	34.2	33.6	34.2	33.8	32.6	31.6
JUL	32.7	30.8	32.9	30.5	34.7	34.4	34.5	34.3	32.8	31.6
AGO	33.2	31.0	32.7	30.7	34.3	33.9	34.1	34.2	32.5	31.5
SEPT	32.6	31.3	32.3	30.6	33.4	33.2	33.2	33.4	32.0	31.3
OCT	32.2	31.0	31.8	30.3	32.7	32.7	32.7	32.9	31.6	30.9
NOV	31.9	30.8	31.7	30.0	32.9	33.0	32.9	33.2	31.8	30.9
DIC	31.5	29.6	32.1	28.9	34.0	34.1	34.0	34.1	32.2	30.6
MEDIA	32.3	30.3	32.5	29.9	34.4	34.1	34.3	34.4	32.7	31.0
ANUAL										

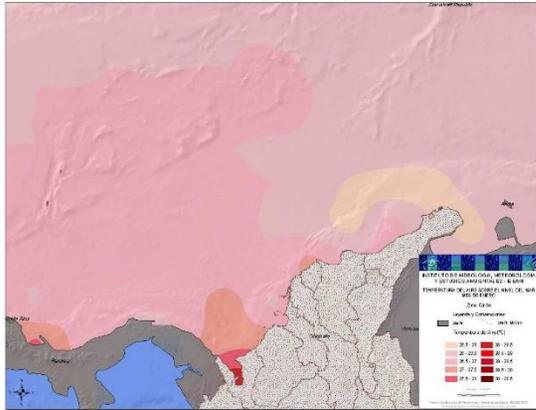
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Tabla 4

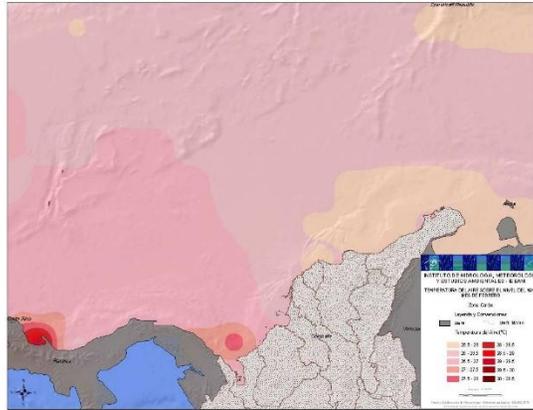
Valores De Temperaturas Mínimas Normales En Las Estaciones De Estudio.

TEMPERATURAS MÍNIMAS										
Meses	E.	Las	J. De	Galera	Repelón	Santa	El	Normal	Simón	Rafael
	Cortissoz	Flores	Acosta	zamba		Lucía	limón	Manatí	Bolívar	Núñez
ENE	23.4	25.2	21.9	23.2	22.8	21.7	23.1	21.9	21.7	23.6
FEB	23.7	25.1	22.4	23.4	23.3	22.1	23.3	22.6	22.8	24.0
MAR	24.1	25.4	23.4	23.8	23.7	22.8	23.6	23.4	23.8	24.5
ABR	24.7	25.6	24.2	24.4	24.5	23.5	24.4	24.1	24.9	25.2
MAY	24.9	25.9	24.2	25.1	24.5	24.1	24.7	24.1	25.1	25.6
JUN	24.8	26.2	23.9	24.9	24.5	23.9	24.6	24.0	24.7	25.7
JUL	24.6	26.0	23.6	24.5	24.2	23.1	24.2	23.4	24.1	25.3
AGO	24.5	26.0	23.8	24.6	24.3	23.3	24.3	23.6	24.1	25.5
SEP	24.1	25.7	23.5	24.5	24.2	23.4	24.1	23.5	23.9	25.4
OCT	23.9	25.6	23.2	24.3	24.2	23.3	24.1	23.4	23.7	25.1
NOV	24.0	26.0	22.9	24.4	24.0	23.1	24.2	23.1	23.3	25.1
DIC	23.8	25.6	22.2	23.7	23.3	22.4	23.5	22.3	22.1	24.2
MEDIA	24.2	25.7	23.3	24.2	24.0	23.1	24.0	23.3	23.7	24.9
ANUAL										

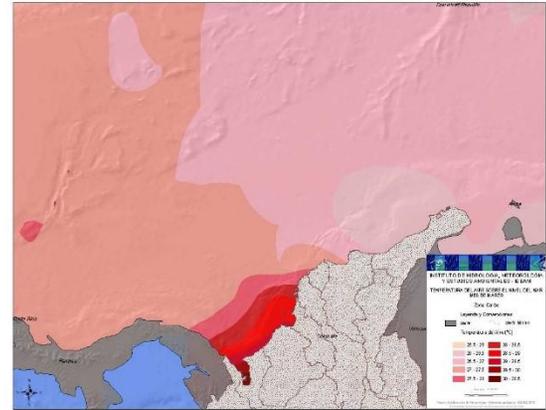
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores



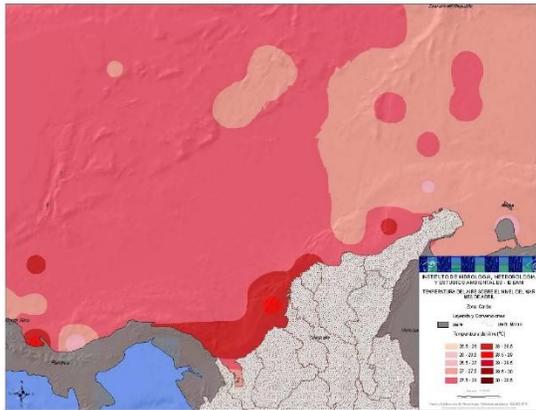
ENERO



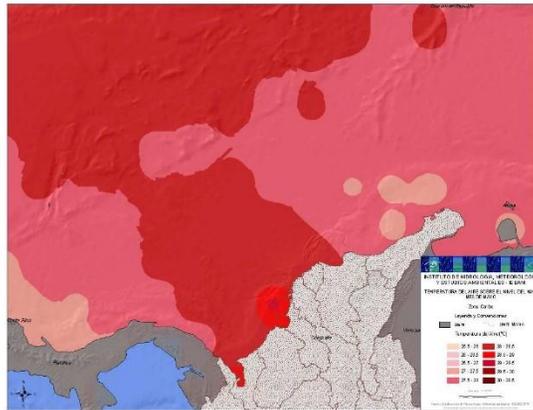
FEBRERO



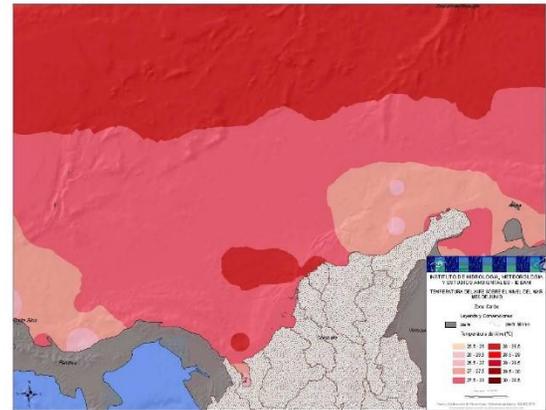
MARZO



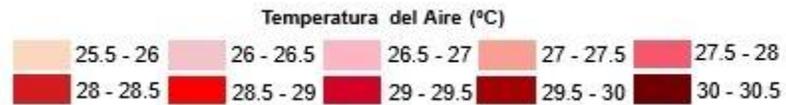
ABRIL

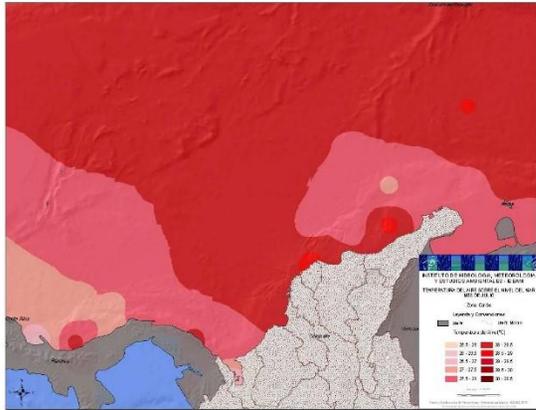


MAYO

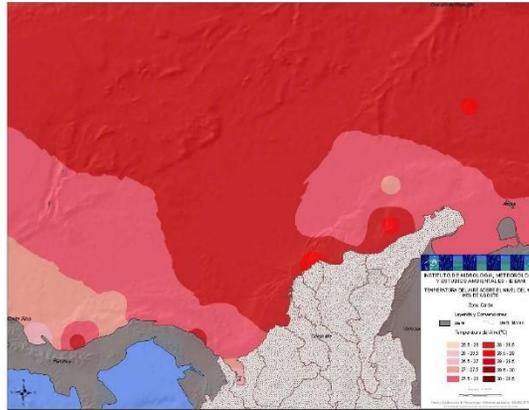


JUNIO

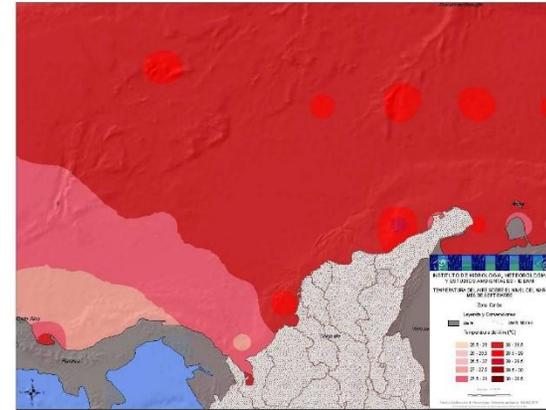




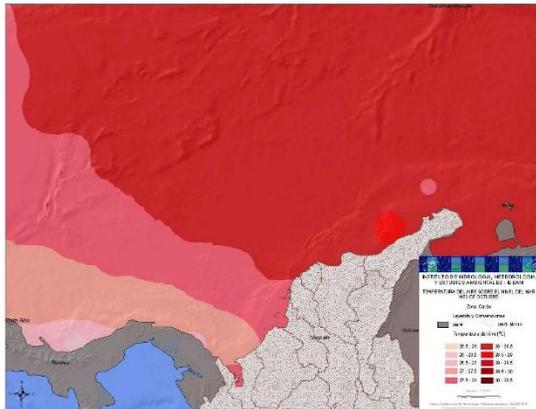
JULIO



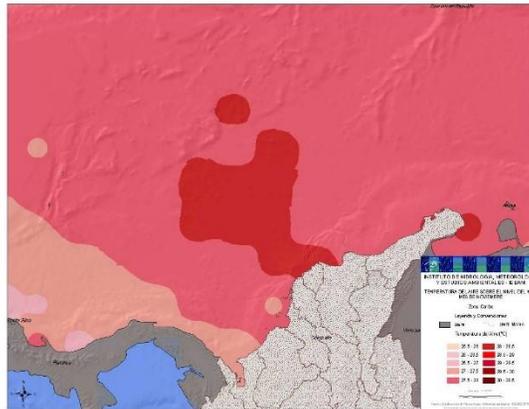
AGOSTO



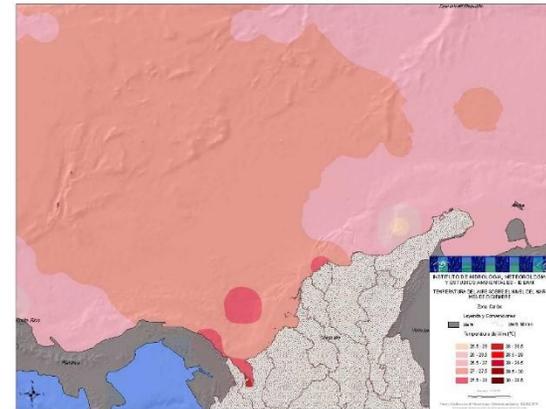
SEPTIEMBRE



OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE

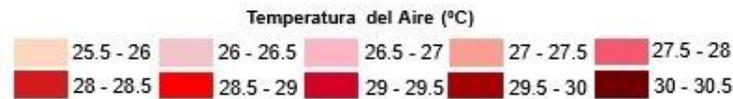


Imagen 4. Temperatura Promedio Mensual Del Aire (°C) Sobre El Nivel Del Mar Caribe
Fuente: IDEAM

1.3 Precipitación

El termino precipitación se refiere a la caída de agua, ya sea en estado líquido o sólido, desde la atmósfera hacia la superficie. Por lo general solo la lluvia y la nieve desprendidas de las masas nubosas son los contribuyentes más significativos en los niveles pluviométricos a nivel global. Las nubes son, en consecuencia, la fuente principal de la precipitación, aunque la mayoría de ellas no son generadoras de este fenómeno debido a que las gotitas de agua o cristales de hielo que las forman no alcanzan la superficie terrestre hasta que no crecen lo suficiente para vencer el empuje de las corrientes de aire ascendentes que las mantienen en suspensión en el aire.

1.3.1 Formación De Las Precipitaciones

Cuatro condiciones son necesarias para que se origine precipitaciones: 1.) ascendencia del aire y su consecuente enfriamiento; 2.) condensación del vapor de agua y formación de nubes; 3.) fuerte concentración de humedad; y 4.) crecimiento de las gotas de agua de la nube. Las dos primeras se dan en la atmósfera sin demasiada dificultad, sin embargo, una vez formadas las nubes, estas no siempre ocasionan precipitaciones, de lo que se desprende la importancia de los dos últimos requisitos. La humedad contenida en las masas nubosas no es suficiente para producir lluvia continuada; pues el mecanismo de precipitación va acompañado de la generación de las nubes con nuevos aportes de vapor de agua de las áreas por donde pasa la lluvia.

La última condición es quizá la más crítica. La razón es que las gotas de lluvia tienen tamaños milimétricos mientras que las gotitas de la nube son micrométricas y flotan en el aire en tanto no crezcan y pesen lo suficiente para caer al suelo (el volumen de las gotas de lluvia es, aproximadamente, un millón de veces superior que las que forman la nube).

Existen tres tipos de precipitación característicos en la región Caribe que varían en intensidad y frecuencia durante todo el año. Estos son lluvia, llovizna y chubascos.

Las principales características asociadas a estas tres formas de precipitación son:

1.3.2 Lluvia

Es la forma más común de precipitación, hasta el extremo de usarse los dos términos como sinónimos en buen número de ocasiones. La forman gotas líquidas de diámetro variable superior a 0,5 milímetros, pudiendo alcanzar un máximo de 7 milímetros, que proceden de la coalescencia (agrupamiento, unión) de pequeñas gotas en las nubes de estas áreas intertropicales.

1.3.3 Llovizna

Es un tipo de precipitación muy uniforme, de gotas próximas unas a otras, que precisa la existencia de humedad relativa elevada por debajo de la nube, de lo contrario esas gotas son evaporadas antes de llegar al suelo. El diámetro de las gotas de llovizna es inferior a 0,5 mm y parecen flotar en el aire, de manera que hacen perceptibles los movimientos atmosféricos.

1.3.4 Chubasco

Es una precipitación intensa y de corta duración que cae desde nubes convectivas con gran desarrollo vertical, por excelencia los denominados cumulonimbos, muy frecuentes durante los meses con máxima precipitación en la región, por lo general, mayo en el primer semestre y septiembre y octubre en el segundo. Además, generalmente vienen acompañados de tormentas eléctricas.

1.3.5 Procesos Generadores De Precipitaciones En El Atlántico Y El Caribe

Los sistemas meteorológicos que generalmente son los responsables de los procesos de precipitación en el Caribe se citan a continuación.

- Zona de confluencia intertropical
- Ondas del Este del Caribe
- Ciclones tropicales
- El ciclo Niño – Niña Oscilación del sur.
- Oscilación de Madden Julian (OMJ)
- Vientos locales (brisas tierra - mar)
- Complejos convectivos de mesoescala (CCM)

Los aspectos característicos y conceptuales de algunos de estos procesos se detallan a continuación.

1.3.5.1 Zona de confluencia intertropical (ZCIT).

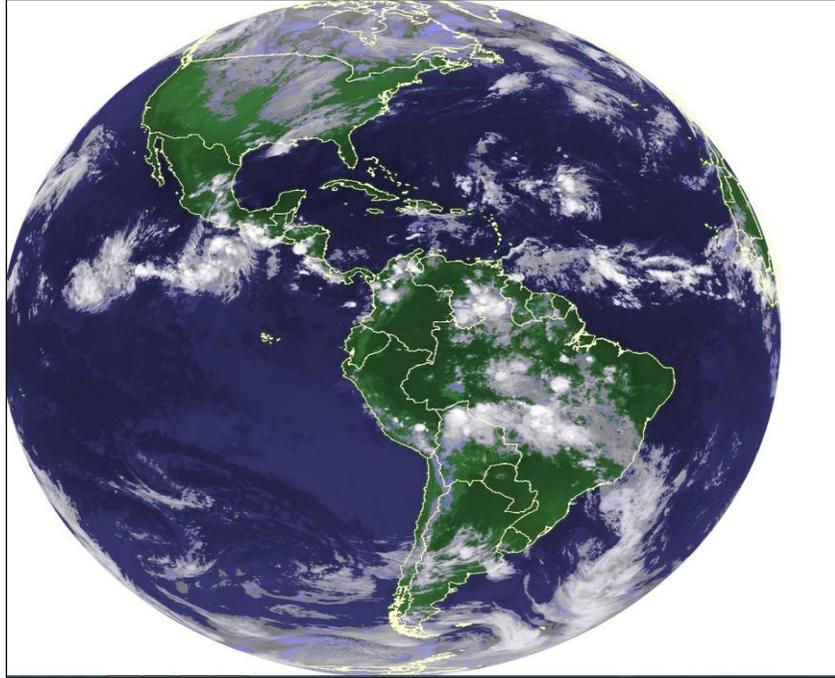


Imagen 5. *Imagen satelital GOES ESTE Canal Infrarrojo Aumentado*

Fuente: IDEAM.

Los vientos alisios de los dos hemisferios se dirigen desde el cinturón de las altas presiones subtropicales hacia el Ecuador, conformando en asociación con flujos convectivos y de calor latente de grandes proporciones una región de presión relativamente baja que se conoce como Vaguada ecuatorial o Zona de confluencia Intertropical (ZCIT).

La posición promedio del centro de esta vaguada ecuatorial no está en el ecuador geográfico, sino a la latitud de 5°N que, algunas veces se le llama ecuador meteorológico. Aunque el área en general sea una región de vientos débiles y de dirección variable, pueden

formarse tormentas eléctricas locales debidas al calentamiento de la superficie subyacente y a la orografía. Incluso pueden producirse turbonadas locales acompañadas de chubascos.

La zona de confluencia o convergencia provoca la formación de nubes y precipitaciones de gran extensión, las que se presentan generalmente en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre en Barranquilla son propias de este sistema. Las cimas de los cumulonimbos se despliegan a niveles muy altos, formando capas de altoestratos y de cirrostratos. Mientras se desarrollan tormentas eléctricas en las celdas convectivas caen, por lo general, lluvias de los altoestratos sobre una gran superficie. El ancho de la banda de mal tiempo varía en función de la escala de convergencia.

El desarrollo vertical de las nubes se extiende a todo el espesor de la troposfera hasta la tropopausa de las regiones tropicales a altitudes de 17 Km. o más. La base de las nubes puede descender a algunos cientos de metros, e incluso bajar algunas veces casi hasta la superficie.

La ZCIT se mueve latitudinalmente hacia el hemisferio en el cual es verano, siguiendo el movimiento aparente del sol con algún tiempo de retraso de aproximadamente dos meses. El flujo convergente de vientos unido a la evaporación suministrada por el mar, proveen el calor latente necesario para mantener la convección y el campo de presiones ideales para la formación de tormentas y los fenómenos que se le asocian. Generalmente los dos períodos o temporadas de precipitaciones que caracterizan al departamento del atlántico y a la región Caribe van asociados con el paso en esta región de la Zona de Confluencia de los alisios.

1.3.5.2 Ondas del Este del Caribe.

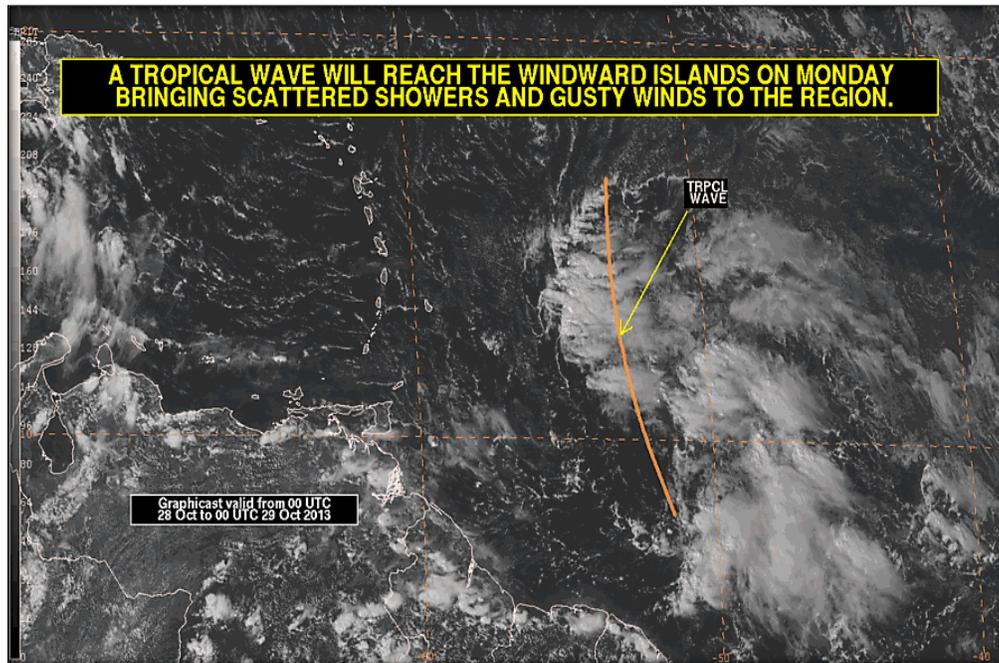


Imagen 6. *Onda de este en el Caribe el 27 de octubre de 2013*

Fuente: Centro Nacional De Huracanes De Miami.

Las ondas de perturbación que se propagan hacia el oeste (con dirección este) son la fuente de muchos ciclones tropicales. La mayoría de las ondas que observamos en el Atlántico y el Caribe se originan en África. Las observaciones indican que las perturbaciones en el flujo de bajo nivel hacia el este ocurren como resultado de varias circunstancias distintas. A veces, el término onda tropical se emplea para describir estos diferentes sistemas, que son capaces de producir enormes cantidades de lluvia y también se asocian con vientos fuertes e inundaciones.

Una manera de definir una onda tropical es como una vaguada o máxima curvatura ciclónica en los vientos alisios del este. Las ondas tropicales pueden alcanzar una amplitud máxima en la troposfera inferior o media, pueden ser un reflejo de una depresión fría en la troposfera superior, o bien la extensión hacia el ecuador de una vaguada de latitudes medias. En algunos casos también pueden ser inflexiones hacia el polo de los ciclones de niveles inferiores en las latitudes bajas.

En términos generales, se trata básicamente de sistemas de escala sinóptica de una extensión latitudinal considerable, en el orden de 10 a 15 grados de latitud. Las ondas tropicales suelen existir apartadas de la zona de convergencia intertropical, o ZCIT, aunque pueden extenderse hasta dicha zona.

Su longitud de onda puede abarcar entre 1500 y 3000 Km. y por lo general se desplazan hacia el oeste a una velocidad de 5 a 10 m/s (entre 10 y 20 nudos). En la temporada pico ocurren con una frecuencia aproximada de una onda cada 3 o 4 días. Exhiben su mayor intensidad en el nivel de 850 a 700 hectopascales, que es donde alcanzan su máxima amplitud, normalmente son de núcleo frío hasta alrededor de 600 hectopascales, con un núcleo cálido menor arriba de dicho nivel, y suelen estar inclinadas hacia el este con la altura.

1.3.5.3 Ciclonés tropicales

La energía que pone en marcha el motor de la atmósfera proviene del sol, pero no en todo el planeta el sol calienta de la misma manera. Por eso la atmósfera busca

constantemente su equilibrio, y para ello utiliza ciertos mecanismos que le permiten transportar el exceso de calor desde la zona tropical hacia regiones más frías. El ciclón tropical es uno de esos mecanismos.

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la intensidad de sus vientos sostenidos en:

Depresión tropical. Es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos son menores de 62 Km/h (33 Kt). Se considera un ciclón tropical en su fase formativa. Puede formarse lentamente a partir de una perturbación tropical o de una onda de los vientos del Este que no alcanza a organizarse.

Tormenta tropical. Es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos fluctúan entre 62 y 118 Km/h (34 a 63 Kt). A partir de aquí ya se lo nombra.

Huracán. Es el más severo de los fenómenos meteorológicos conocidos como ciclones tropicales. Se caracteriza por un intenso centro de baja presión, rodeado de bandas nubosas dispuestas en forma de espiral que giran alrededor de su centro (ojo del huracán) en sentido de las agujas del reloj en el Hemisferio Sur y en contra de las agujas del reloj en el hemisferio norte, produciendo vientos que sobrepasan los 119 Km/h (64 Kt) y provocando lluvias torrenciales. Vientos de más de 240 Km/h han sido medidos en los huracanes más intensos.

Tabla 5*Escala De Huracanes Saffir-Simpson*

Categoría de huracanes	Velocidad máxima sostenida del viento (V. Máx.; promedio de un minuto)			Nivel de daños anticipado
	m/s	km/h	millas/h	
1	33 - 42	119 - 153	74 - 95	Mínimos
2	43 - 49	154 - 177	96 - 110	Moderados
3	50 - 58	178 - 208	111 - 129	Extensos
4	59 - 69	209 - 251	130 - 156	Extremos
5	> 70	> 252	> 157	Catastróficos

Nota: (Los huracanes de categoría 3 a 5 se le denominan huracanes mayores).

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

1.3.5.4 Oscilación de Madden Julian (OMJ)

La OMJ es un sistema acoplado océano-atmósfera. La componente atmosférica se caracteriza por una oscilación que se propaga hacia el este desde el continente marítimo a lo largo de la línea ecuatorial a aproximadamente 5 m/s, lo cual corresponde a un período aproximado de 30 a 60 días para la OMJ atmosférica, cuya escala espacial se puede describir en términos de una longitud de onda local aproximada de 12 000 a 20 000 km.

La OMJ suele estar más organizada en la región comprendida entre el océano Índico austral a través de Australia, hacia el este, hasta el Pacífico occidental, en el verano austral. La señal atmosférica característica es evidente en la presión de superficie, la intensidad de los vientos troposféricos en altura y en niveles inferiores (divergencia) y en los campos

representativos de la convección profunda (humedad relativa, radiación de onda larga saliente y agua precipitable). La onda no es evidente en los vientos de la troposfera media.

La componente oceánica de la OMJ exhibe una oscilación cuyo período es algo más largo, entre 60 y 75 días. La señal oceánica característica de la OMJ es evidente en la temperatura superficial del mar (TSM), la profundidad de la capa de mezcla, el flujo de calor latente superficial y los campos de tensión del viento en la superficie.

Al nivel de 200 hectopascales se hace evidente su fase convergente o divergente. Si la fase es divergente en altura, en superficie y en la atmósfera baja se esperan movimientos convectivos importantes que por lo general desencadenan episodios tormentosos con lluvias fuertes. Si su fase es convergente en el nivel de 200 hectopascales, en superficie se esperan movimientos divergentes que propician cielos claros y estabilidad atmosférica.

1.3.5.5 El ciclo Niño – Niña Oscilación del sur.

Es de suma importancia establecer la diferencia entre los términos Corriente y Evento El Niño. El primero de estos, Corriente El Niño, trata de un evento periódico y normal que sucede cada año durante los meses de diciembre a abril. Esta tiene características de aguas cálidas que provienen del norte de la cuenca de Panamá y bajan por las costas de Sudamérica, la cual marca el inicio de la estación cálida y húmeda de la región costera del Ecuador.

El segundo término, Evento El Niño o también conocido como evento ENOS (El Niño Oscilación Sur) por su relación con la Oscilación del Sur, por el contrario, se trata de un

evento no periódico, por lo que este sucede de manera sorpresiva y sus consecuencias se dan a nivel global y no únicamente en las costas de Sudamérica como en el caso anterior.

Cuando la presión es alta en el Océano Pacífico Central, la misma tiende a ser baja entre el Océano Índico y Australia; estas condiciones están asociadas a lluvias cuya intensidad varía en sentido contrario a la presión. La alternancia entre anomalías positivas y negativas entre dichas regiones oceánicas, constituye la esencia del fenómeno conocido como Oscilación Austral. La anomalía de la diferencia de presión entre la isla de Tahití (Polinesia francesa) y el puerto de Darwin (norte de Australia) es usada como índice (IOS - Índice de Oscilación del Sur). Un valor positivo corresponde a una intensificación de la actividad convectiva en toda la región del sudeste asiático y Australia, mientras que un índice negativo corresponde a un decrecimiento de las precipitaciones en dicha región y a un aumento de las mismas en el Pacífico Central.

Ambos mecanismos el Oceánico y el atmosférico están íntimamente relacionados entre sí, lo que ha llevado a los científicos a hablar de un único fenómeno llamado ENOS (El Niño-Oscilación del Sur)

La costa Caribe y en especial el departamento del Atlántico han sufrido las consecuencias de tipo meteorológico, económico y social que entraña la presencia de este fenómeno en estas latitudes.

1.3.6 Medida de la precipitación

La precipitación es uno de los elementos del clima más difíciles de medir con exactitud, y probablemente muchos de los acontecimientos registrados solo podamos considerarlos como estimaciones razonables.

La cantidad de precipitación se indica en milímetros de altura (mm), o en litros por metro cuadrado (L/m²), caído por unidad de tiempo. Ambas expresiones son correctas, pues el número de litros vertidos en un cuadrado de un metro de lado alcanza el mismo número de milímetros de altura.

Convencionalmente, para medir la precipitación se utilizan dos instrumentos (aunque existen otros, en Colombia los dos mencionados son los que se utilizan en las estaciones meteorológicas): el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen de precipitación caída durante el día meteorológico (7 am a 7 am del día siguiente). El segundo es un aparato de registro continuo que permite determinar la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado.

1.3.7 Valores Medios a estudiar

Para este trabajo se analizó el comportamiento de los valores de la precipitación total mensual y el total de días con precipitaciones mensuales.

1.3.7.1 Precipitación Total Mensual

Se tomaron los valores totales de precipitación de todos los meses durante el período 1971 – 2000, el cual corresponde a la normal climatológica establecida por la OMM. Los valores promedios dan cuenta del comportamiento de la variable durante la serie y que tanta variación pueden experimentar los valores relativos de un período determinado al ser comparados con las normales. (Actualmente la normal climatológica es el promedio de la serie 1971 – 2000).

1.3.7.2 Total de días con precipitaciones en el mes.

Es el número de días en que se presentan precipitaciones en el mes. Se toma este dato para establecer cómo se distribuyen los totales de precipitación durante este período. A través de la serie de datos se obtienen los valores medios con el objetivo de establecer el número de eventos de precipitación promedio que se pueden dar en un mes y en el año. Igual que los promedios de cantidades totales, se hace una comparación con los valores normales (promedios 1971 – 2000) para establecer anomalías.

A continuación, se referencian los valores y comportamiento normal de las precipitaciones en las estaciones Ernesto Cortissoz, Las Flores, Juan de Acosta, Repelón, Galerazamba, Santa Lucía, El limón, Normal Manatí, Rafael Núñez y Simón Bolívar (Período 1971 – 2000).

El régimen normal de precipitaciones presenta algunas variaciones en las estaciones en estudio. Se puede considerar que en las estaciones Ernesto Cortissoz, Las Flores, Repelón, Santa Lucía, El Limón y Normal Manatí es bimodal, mientras que en Juan de Acosta y

Galerazamba, Rafael Núñez y Simón Bolívar es, en mayor medida, modal. Existe un marcado comportamiento de manera generalizada a aumentar en la segunda mitad del año, especialmente alrededor del mes de octubre como máximo referente. La estación Normal Manatí es una excepción a la regla debido a que el mes más lluvioso para esta estación es mayo.

Este régimen está determinado por la migración de la zona de confluencia intertropical, el paso de las ondas del este, la temporada de huracanes en el Caribe, la distancia con relación a la línea de costa, la elevación, los ciclos ENSO, entre otros de nivel local.

Atendiendo al factor que provoca la elevación del aire en la atmósfera, la precipitación puede clasificarse en: convectiva, por convergencia, orográfica y frontal o ciclónica.

- **Precipitación ciclónica o frontal:** está asociada a los frentes o superficies de contacto entre masas de aire cálido y frío, y las borrascas o ciclones que en ellos se generan. Para el caso del área de estudio de este trabajo este tipo de precipitaciones ocurren por la presencia o paso de ondas del este, depresiones tropicales o los efectos residuales de tormentas tropicales o huracanes.
- **Precipitación convectiva:** se relaciona principalmente con las intensas corrientes que tienen lugar en las células de convección y suelen ser lluvias de tipo tormentoso, con chubascos y fuertes aguaceros, procedentes de nubes cúmulos y cumulonimbos. El mecanismo desencadenante de su formación es el desigual calentamiento del suelo que actúa como efecto de disparo para iniciar el

movimiento ascendente. Este tipo de precipitaciones son características de regiones cálidas y húmedas, como son las regiones tropicales y ecuatoriales en las cuales se encuentra el área de estudio.

- **Precipitación por convergencia:** este tipo de precipitaciones tiene su origen en el ascenso de aire que converge hacia las zonas de bajas presiones. Es característico del cinturón de bajas presiones ecuatoriales en la, ya reseñada, Zona de convergencia intertropical (ZCIT), donde el ascenso de aire por confluencia de los alisios se ve forzado por los movimientos convectivos del aire en el área ecuatorial.
- **Precipitación orográfica:** se produce cuando una masa de aire es forzada a ascender por encima de una barrera montañosa; al elevarse por la ladera de barlovento, el aire se enfría adiabáticamente, condensa y precipita. A sotavento el efecto es contrario, tal como sucede hacia la ciudad de Santa Marta con relación a los flujos descendentes de aire desde la Sierra Nevada. La nubosidad se disipa mientras el aire desciende y se calienta de forma adiabática dando origen a un viento cálido y seco conocido como Föhn o Chinook y a la generación de una sombra pluviométrica que se proyecta sobre este lado de la montaña y que, además propicia climas áridos o desérticos.

En la costa por lo general la precipitación es de naturaleza convectiva y por convergencia, movida principalmente por flujos de calor de la superficie hacia la atmósfera y por la confluencia de los vientos alisios, salvo casos como Santa Marta, en donde se puede considerar que tiene efectos orográficos.

La mayor precipitación anual promedio de la zona de estudio se presenta en la estación Normal Manatí con un nivel de 10061 milímetros registrados con una frecuencia media de 98 días, seguidamente la estación Rafael Núñez presenta un nivel de 1008 mm caídos con una frecuencia de 96 días en el año. Santa Lucía y El Limón siguen con cantidades registradas de 981 y 957 mm respectivamente, caídos con una frecuencia de 99 y 94 días.

La menor cantidad en el Atlántico se registra en la Estación Las Flores con 642 mm en 59 días. En toda el área de estudio Simón Bolívar presenta la cantidad anual menor de precipitaciones, 501 mm caídos en 77 días en promedio.

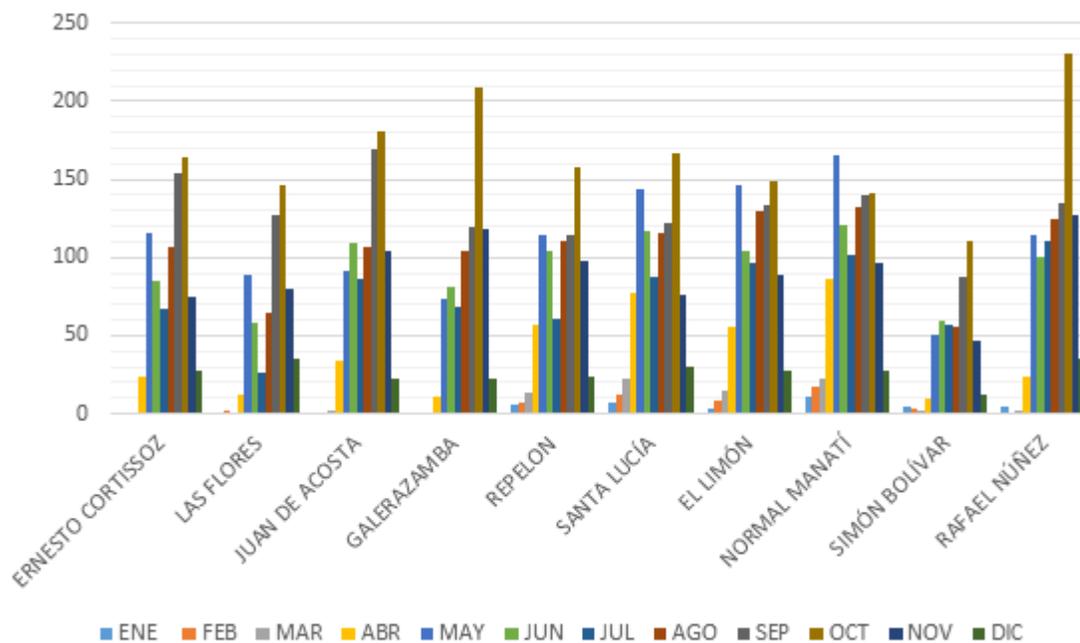


Figura 14. Comportamiento Normal De Precipitaciones (mm) En Las Estaciones De Estudio Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Galerazamba registra un promedio anual normalizado de 810 mm destacándose especialmente las cantidades registradas en el mes de octubre, las cuales rebasan a las de las demás estaciones para este mismo mes, excepto a la Rafael Núñez que presenta para ese mes un promedio de 230 mm. La precipitación normal de octubre en Galerazamba es del orden de 209 mm. La frecuencia de la precipitación en esta estación es de 72 días al año.

Santa Lucía es el lugar del departamento del Atlántico en que llueve con más frecuencia, cada 3.6 días aproximadamente (99 días al año) llueve una cantidad de 10.7 mm. En la estación Rafael Núñez llueve 10,5 mm cada 4 días también.

Desde el punto de vista climatológico, una de las características más representativas de las lluvias, la constituye el número de días en que se presenta este fenómeno durante un mes determinado. Este parámetro ha sido en general, poco estudiado en nuestro país, ya que la mayor parte de la atención de los climatólogos se ha dedicado al estudio de la cantidad total de lluvia medida en milímetros bien sea a nivel diario, mensual y anual. El número de días con lluvia es, sin embargo, de gran importancia para diferentes aplicaciones, como son estudios de sequía, agricultura, transporte y otros. Es además fundamental realizar el seguimiento del número de días con lluvia, relacionado con el promedio o normal climatológica en las mismas escalas temporales en que se monitorea el total de lluvia.

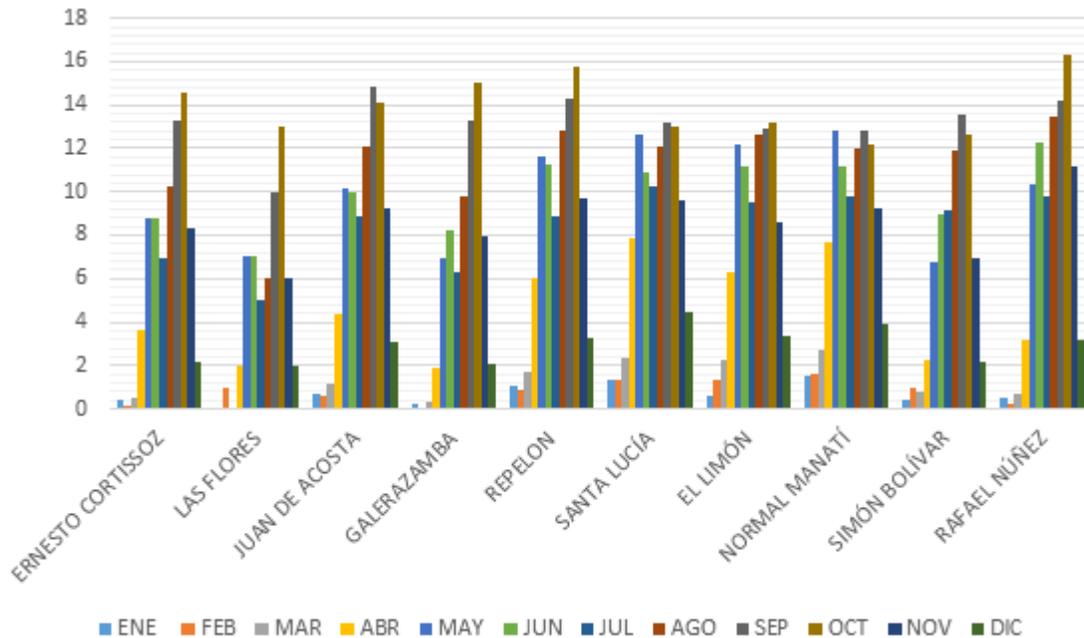


Figura 15. Comportamiento Normal Comparativo De La Precipitación (No Días) En Las Estaciones De Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En la imagen 7 se puede observar que las cantidades de precipitación caída o registrada en las estaciones del departamento del Atlántico, se encuentran en el rango de 500 y 1500 mm, destacándose en esa medida dos áreas diferenciadas; las que reciben entre 500 y 1000 mm y las que están entre 1000 y 1500 mm.

Este comportamiento junto al de las temperaturas medias configura dos tipos de clima en el departamento, un clima cálido seco y otro cálido húmedo. Al primero pertenecen las estaciones Ernesto Cortissoz, Las Flores, Galerazamba, Repelón, Santa Lucía y El Limón al segundo, Normal Manatí y Rafael Núñez.

En las imágenes 7 y 8 se puede apreciar la distribución de mm y días de precipitación en el departamento. En la tabla 6 se recopilan los datos normales de esta variable en las estaciones de estudio.

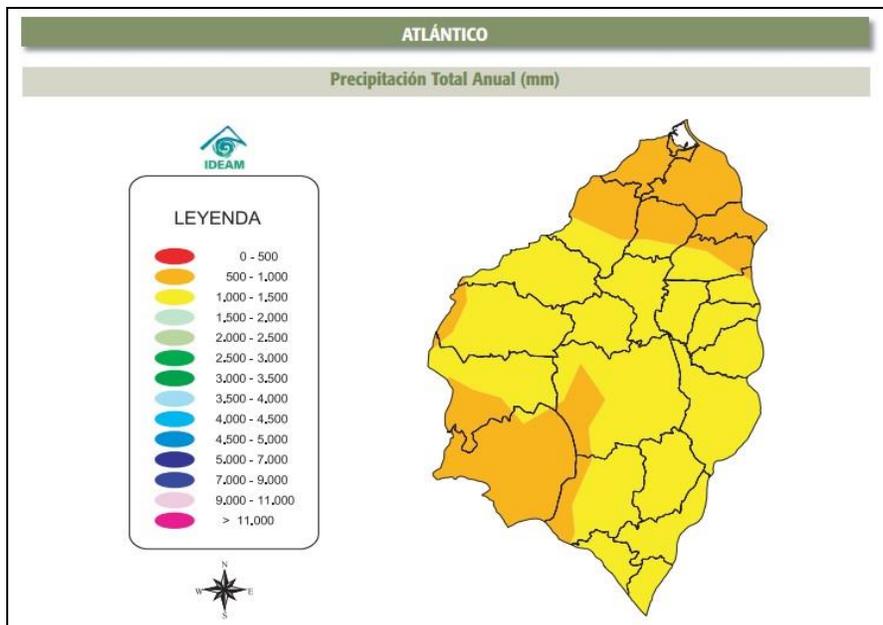


Imagen 7. *Distribución de la precipitación (mm)*

Fuente: Atlas climatológico de Colombia

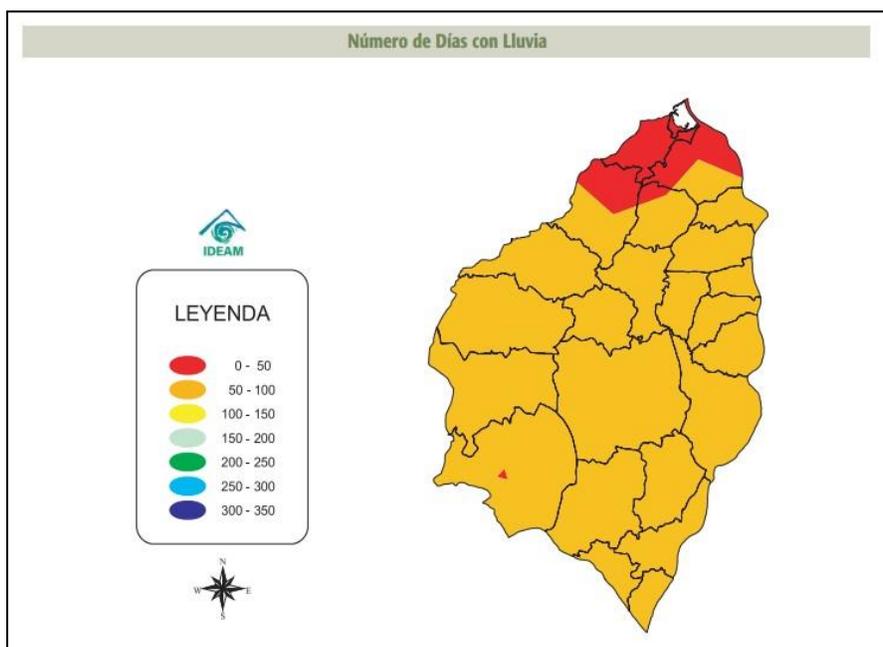


Imagen 8. *Días de precipitación en el departamento del Atlántico*

Fuente: Atlas climatológico de Colombia

Tabla 6

Valores normales de cantidades de precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio

MESES	ESTACIONES METEOROLÓGICAS									
	ERNESTO CORTISSOZ	LAS FLORES	JUAN DE ACOSTA	DE GALERA ZAMBA	REPELON	SANTA LUCÍA	EL LIMÓN	NORMAL MANATÍ	SIMÓN MANATÍ	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	1	1	1	1	6	8	4	11	4	4
FEB	0	2	1	0	7	12	8	17	3	1
MAR	1	1	2	0	14	23	15	22	2	2
ABR	24	12	34	11	57	77	55	86	9	24
MAY	116	89	91	74	114	144	146	166	51	115
JUN	85	58	109	82	104	117	104	121	60	100
JUL	67	26	87	68	61	87	97	102	57	110
AGO	107	65	107	105	111	116	129	132	55	125
SEP	154	128	170	120	114	123	134	140	88	135
OCT	164	146	181	209	158	167	149	141	111	230
NOV	74	80	104	118	98	76	88	97	47	128
DIC	27	35	23	22	24	31	28	27	13	35
TOTAL ANUAL	822	642	909	810	867	981	957	1061	501	1008

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Tabla 7

Valores normales de frecuencias de precipitaciones (No de días) en las estaciones de estudio.

MESES	ESTACIONES METEOROLÓGICAS									
	ERNESTO CORTISSOZ	LAS FLORES	JUAN DE ACOSTA	GALERA ZAMBA	REPELON	SANTA LUCÍA	EL LIMÓN	NORMAL MANATÍ	SIMÓN BOLÍVAR	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	0	0	1	0	1	1	1	2	0	1
FEB	0	1	1	0	1	1	1	2	1	0
MAR	0	0	1	0	2	2	2	3	1	1
ABR	4	2	4	2	6	8	6	8	2	3
MAY	9	7	10	7	12	13	12	13	7	10
JUN	9	7	10	8	11	11	11	11	9	12
JUL	7	5	9	6	9	10	10	10	9	10
AGO	10	6	12	10	13	12	13	12	12	13
SEP	13	10	15	13	14	13	13	13	14	14
OCT	15	13	14	15	16	13	13	12	13	16
NOV	8	6	9	8	10	10	9	9	7	11
DIC	2	2	3	2	3	4	3	4	2	3
TOTAL	78	59	89	72	97	99	94	98	77	96
ANUAL										

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

1.3.8 Análisis comparativo entre temperaturas medias y precipitaciones en algunas estaciones del área de estudio

Teóricamente la temperatura y la precipitación guardan una estrecha relación. A mayores temperaturas más significativo son los mecanismos generadores de precipitación, especialmente la convección que es por excelencia en estas latitudes el principal aportante. De acuerdo a lo observado en las estaciones en estudio, las precipitaciones mensuales y los promedios de temperaturas medias no siempre guardan una correlación matemática significativa; sin embargo, por experiencia ambas variables interactúan de manera directa en la configuración de los diferentes estados de tiempo característicos de la región Caribe colombiana y por ende, del área de estudio.

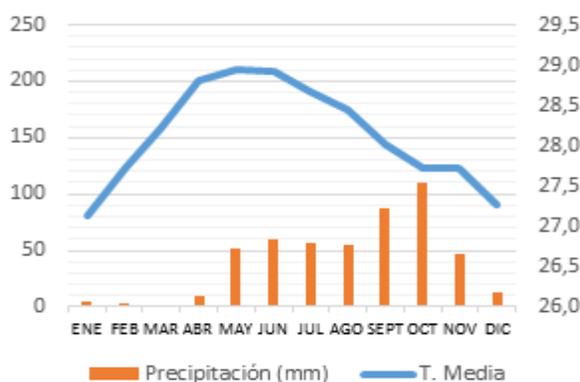


Figura 16. Comportamiento Normal Comparativo De La Precipitación (mm) Y Las T. Medias (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración de los Autores

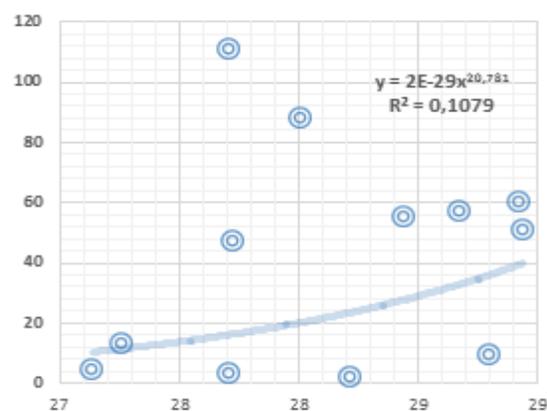


Figura 17. Correlación Potencial Entre Precipitación (mm) Y T. Medias Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración de los Autores

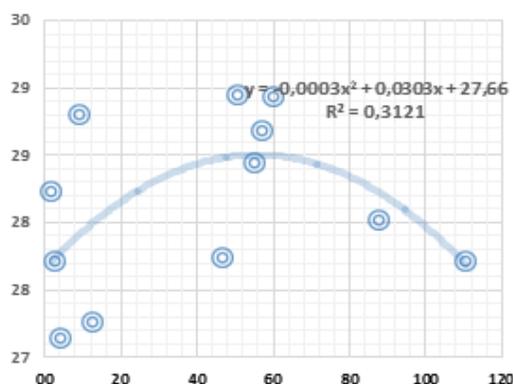


Figura 18. Correlación Polinómica Entre Precipitación (mm) y T. Media (°C) en la Estación Simón Bolívar Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

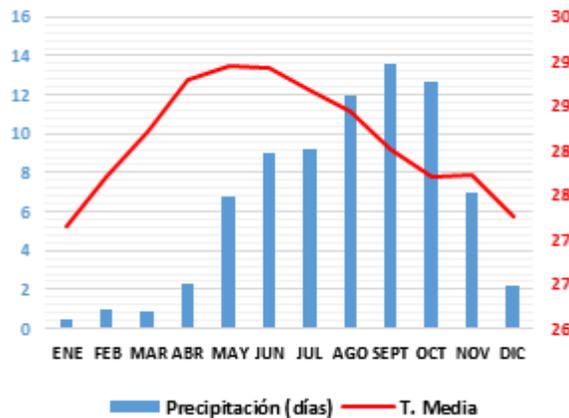


Figura 19. Comportamiento Comparativo De La Precipitación (Días) Y Las T. Medias (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los autores

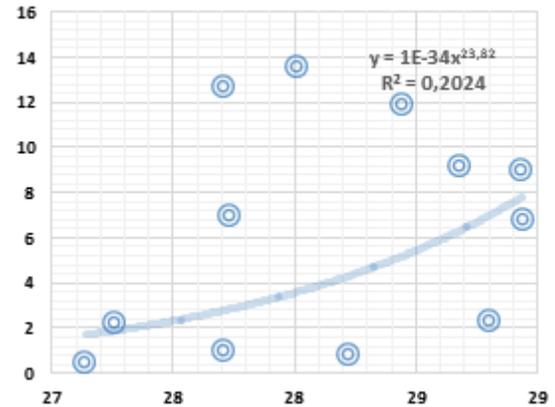


Figura 20. Correlación Potencial Entre Precipitación (Días) Y T. Medias Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

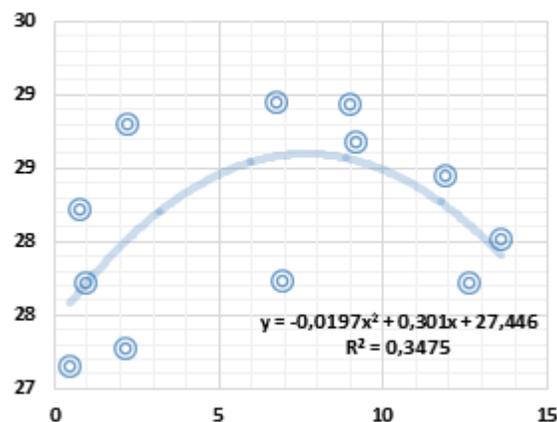


Figura 21. Correlación Polinómica Entre Precipitación (mm) Y T. Media (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

Cabe aclarar que no son las únicas variables a tener en cuenta en los cambios de tiempo, otras como los vientos y la presión atmosférica también son determinantes.

En las figuras numeradas de 16 a 39 se observan los comportamientos de la precipitación y las temperaturas medias de las estaciones Simón Bolívar, Galerazamba, Ernesto Cortissoz y Repelón. En la primera, la correlación entre ambas variables no es

significativa, se podría decir que es relativamente nula tanto si se relaciona la temperatura media con la cantidad de precipitación o con la frecuencia (No de días) de presentación de esta, lo que queda medianamente notorio es que las precipitaciones determinan en cierta medida el comportamiento de la temperatura cuando se hacen presente. Esta condición se debe principalmente al efecto generado por la sierra nevada de Santa Marta sobre esta estación. Los vientos secos descendentes por la ladera de sotavento ejercen un efecto directo sobre el comportamiento de ambas variables, suprimiendo los procesos convectivos y elevando las temperaturas. Nótese que la amplitud térmica en la estación Simón Bolívar es del orden de los 9°C.

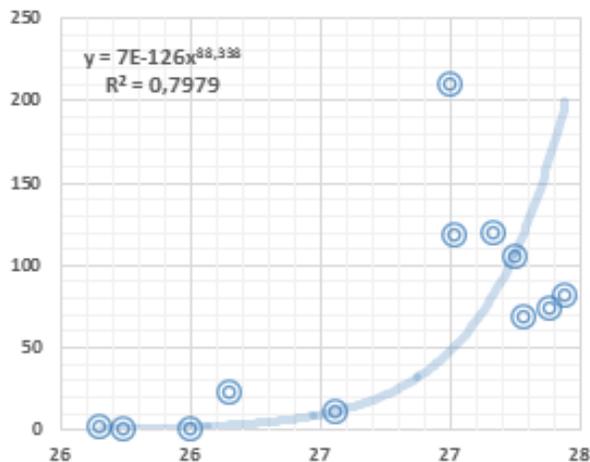


Figura 22. Correlación Potencial Entre La Precipitación (Mm) Y T. Media (°c) Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

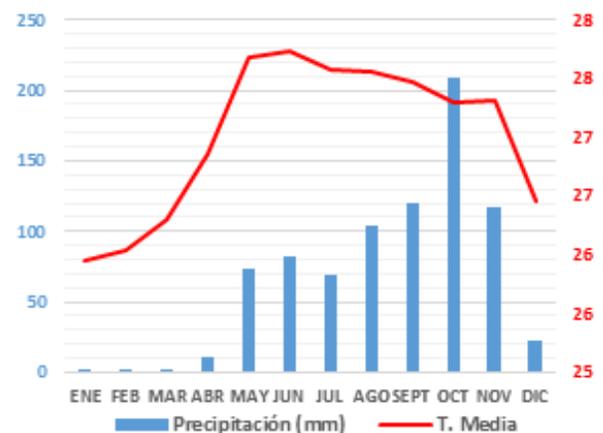


Figura 23. Comportamiento Normal Comparativo entre la Precipitación (mm) y La T. Media En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

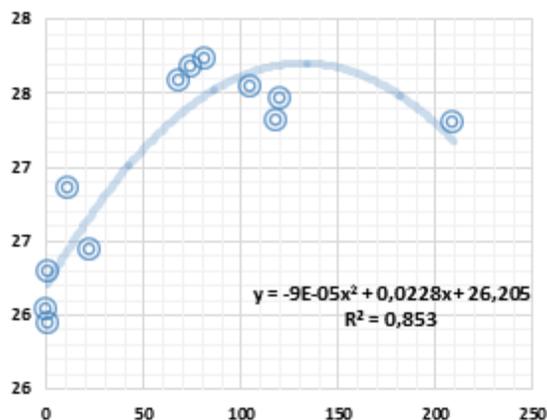


Figura 24. Correlación Polinómica Entre La Precipitación (mm) y La T. Media (°c) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Para el caso de Galerazamba se puede decir que la correlación de ambas variables si es significativa. Sin la incidencia directa del efecto causado por la sierra nevada los aumentos de temperatura conllevan de manera general a un incremento de las precipitaciones; una vez generada la precipitación las temperaturas tienden a disminuir. Esto se constata con una correlación potencial entre las cantidades de precipitación y sus frecuencias con los promedios de temperaturas medias tal como se observa en las figuras anteriores.

En la estación Ernesto Cortissoz la correlación no llega a ser tan significativa como la que se da en Galerazamba, pero es mucho más directa que la que se observa en la estación Simón Bolívar de Santa Marta; algo lógico teniendo en cuenta que esta estación se encuentra en medio de las dos anteriores y por lo tanto su comportamiento va ligado a la misma dinámica costera de aquellas y a su distancia respecto a la Sierra Nevada de Santa Marta. Es decir, que el efecto geográfico de la Sierra sobre la estación Ernesto Cortissoz en lo referente a la inhibición de los niveles de precipitaciones generados es menor que en la estación Simón Bolívar, pero mayor que en Galerazamba. Por esta razón se aprecia una mejor correlación entre temperatura y precipitaciones en esta última.

En lo que respecta a la estación de Repelón, el análisis es diferente. Aquí la correlación matemática entre ambas variables es muy baja, tal vez influenciada por el efecto de continentalidad tal como lo deja ver su marcada amplitud térmica (10,5°C). Habría que incorporar otras variables al análisis para acercarnos a determinar por qué la correlación es tan baja.

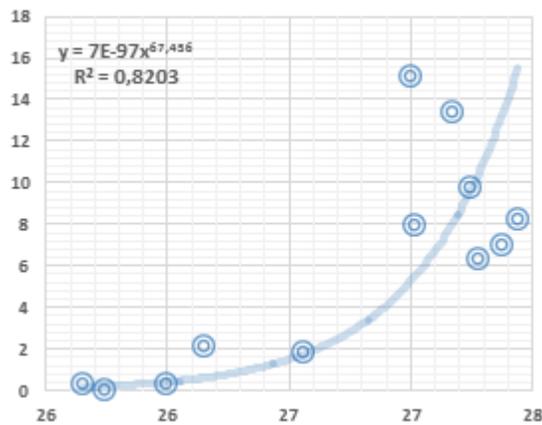


Figura 25. Correlación Potencial Entre La Precipitación (Días) Y T. Medias (°C) Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

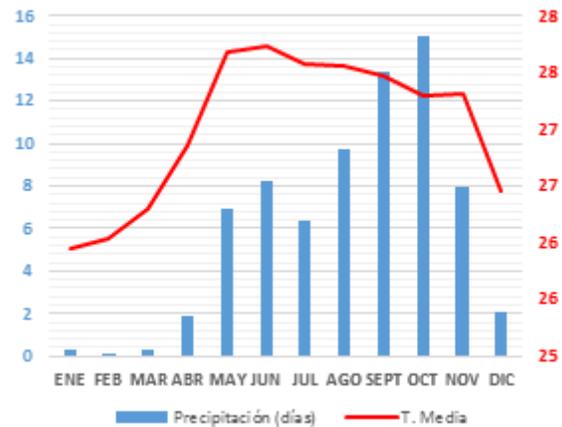


Figura 26. Comportamiento Normal Comparativo Entre La Precipitación (Días) Y La T. Media En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

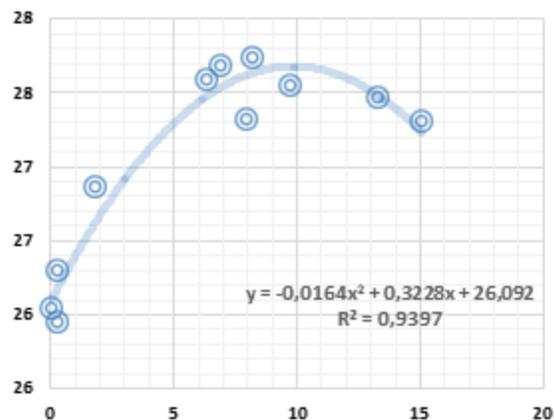


Figura 27. Correlación Polinómica Entre Precipitación (Días) Y T. Media (°C) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En el área de estudio los primeros meses del año las temperaturas medias son menores por efecto del gran recorrido de los vientos alisios sobre la zona, esto propicia al mismo tiempo, ausencia de precipitaciones. Cuando comienza a disminuir la incidencia de los vientos las temperaturas comienzan incrementarse y el desarrollo de procesos convectivos aparece en escena. Para el segundo semestre del año coinciden abundantes precipitaciones con temperaturas en disminución debido a que las mayores cantidades de lluvias propician la disminución diaria y por ende mensual de las temperaturas. Se puede considerar que temperaturas y precipitaciones hacen parte de un ciclo retroalimentativo en el que ambas variables se contrarrestan.

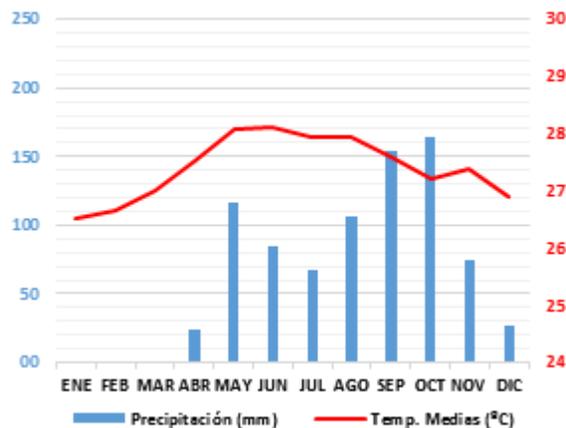


Figura 28. Comportamiento Normal Comparativo Entre La Precipitación (mm) Y La T. Media (°C) En La Estación E. Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

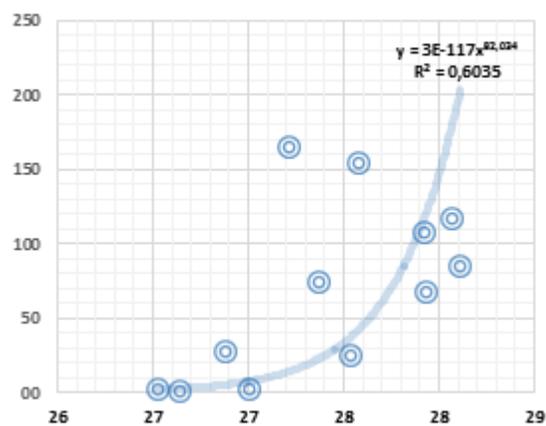


Figura 29. Correlación Potencial Entre Precipitación (mm) Y T. Media (°C) Estación E. Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

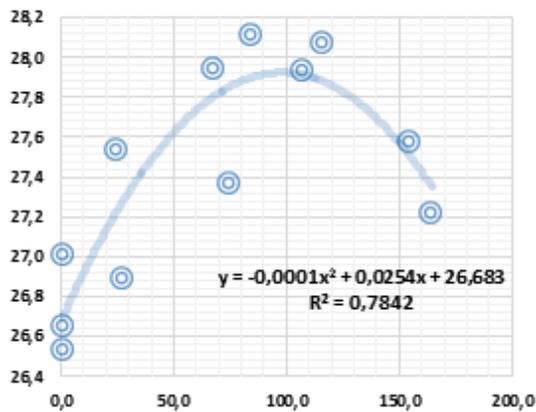


Figura 30. Correlación Polinómica Entre La Precipitación (mm) Y T. Media (°C) En La Estación E. Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

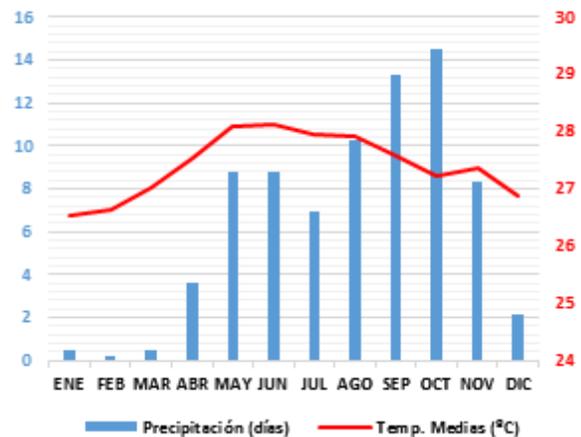


Figura 31. Comportamiento Normal Comparativo Entre La Precipitación (Días) Y La T. Media (°C) En La Estación E. Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

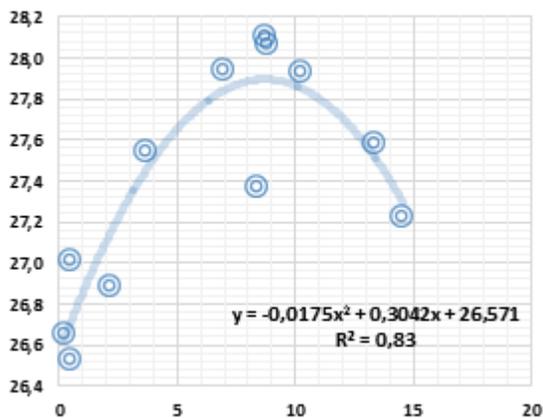


Figura 32. Correlación Potencial Entre Precipitación (Días) Y T. Media (°C) En La Estación E. Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

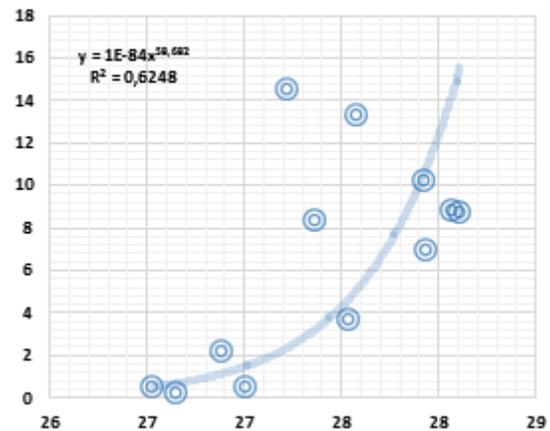


Figura 33. Correlación Polinómica Entre Precipitación (Días) Y T. Media (°C) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

De esta manera en las distintas estaciones de estudio, a pesar de la cercanía y la similitud geográfica, se pueden encontrar aspectos diferenciales en la manera como se correlacionan unas variables con otras.

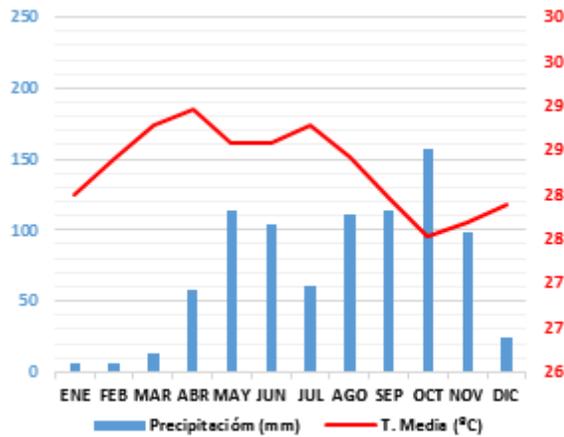


Figura 34. Comportamiento Normal Comparativo Entre La Precipitación (mm) Y La T. Media (°c) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

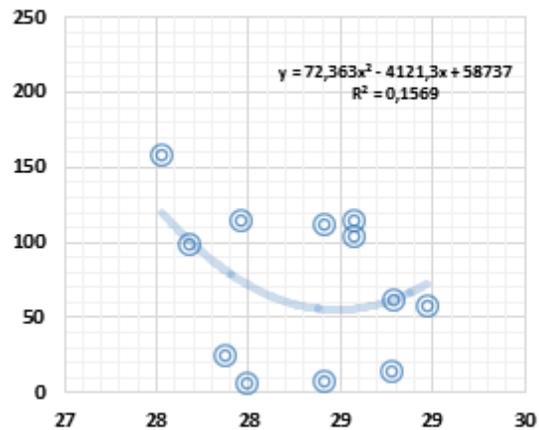


Figura 35. Correlación Polinómica Entre La Precipitación (mm) Y La T. Media (°c) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

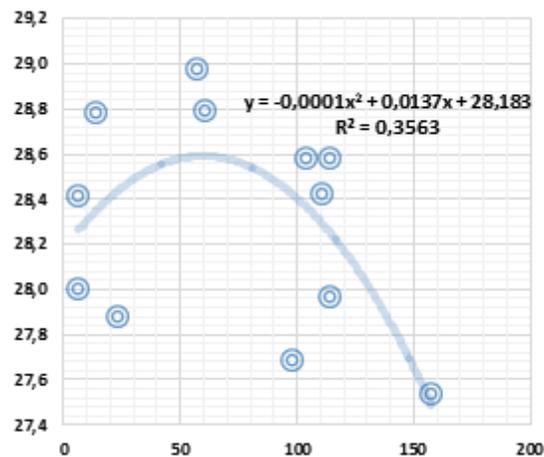


Figura 36. Correlación Polinómica Entre Precipitación (mm) y T. Media (°C) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En la imagen 9 se puede apreciar como la precipitación en el Caribe se incrementa a medida que avanza el año. Siendo escasa entre los meses de diciembre y marzo, considerados los meses áridos del área de estudio, e incrementándose a partir del mes de abril con variaciones de intensidad hasta el mes de noviembre.

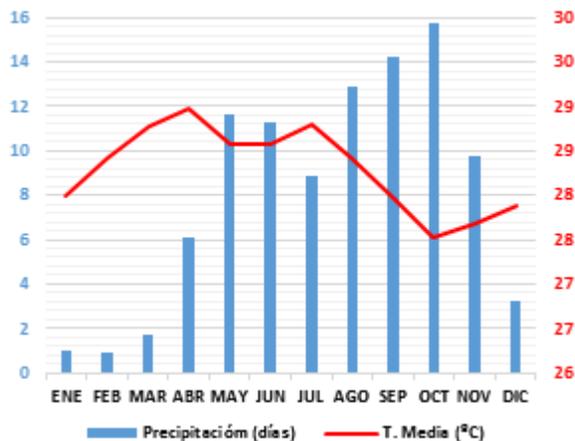


Figura 37. Comportamiento Normal Comparativo Entre Precipitaciones (Días) Y T. Media (°c) Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

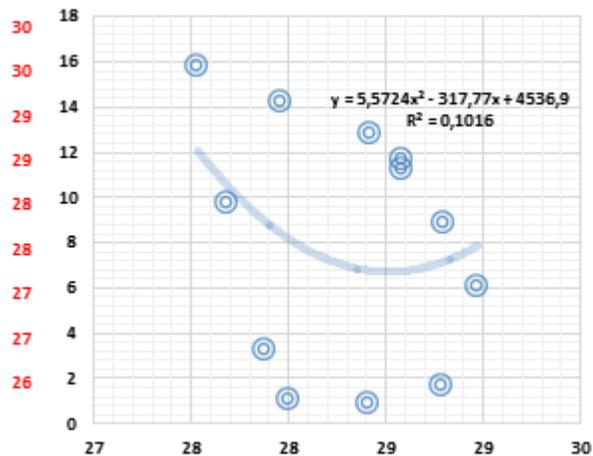


Figura 38. Correlación Polinómica Entre Precipitaciones (Días) Y T. Media (°c) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

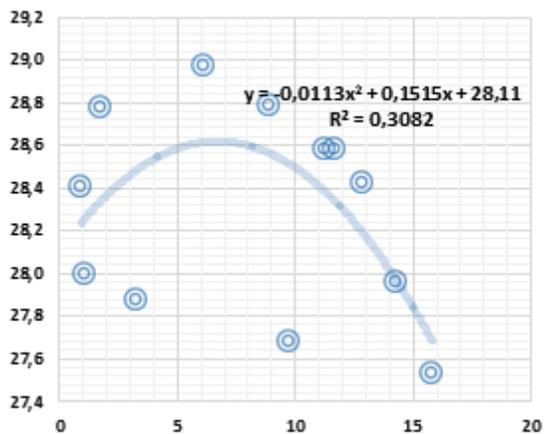
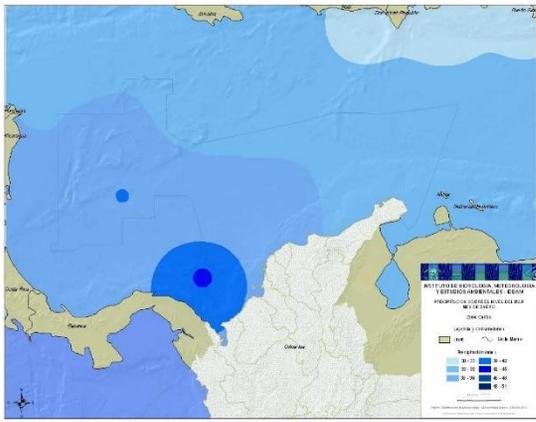
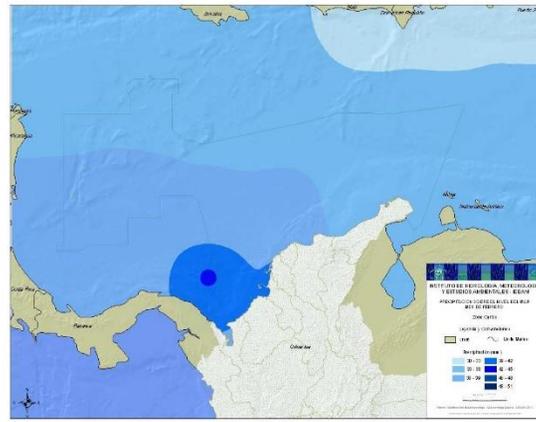


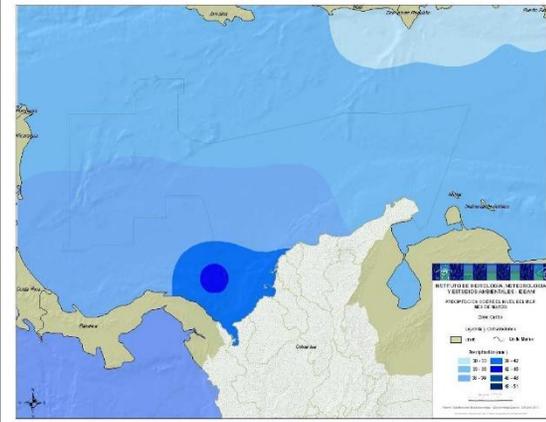
Figura 39. Correlación Polinómica Entre Precipitación (Días) Y T. Media (°C) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores



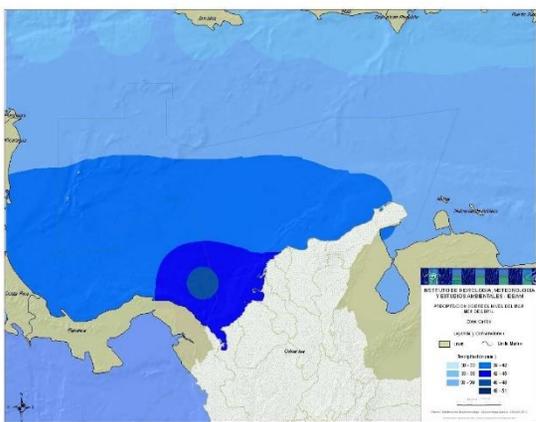
ENERO



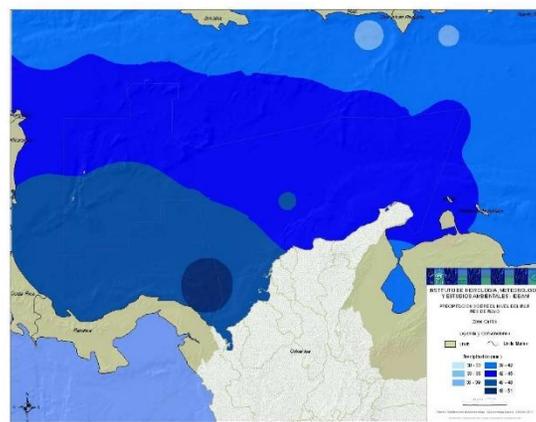
FEBRERO



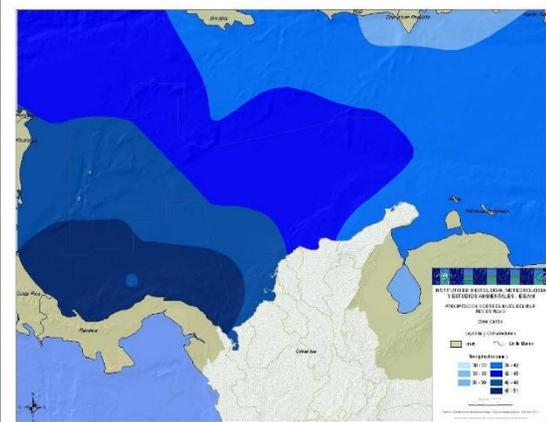
MARZO



ABRIL

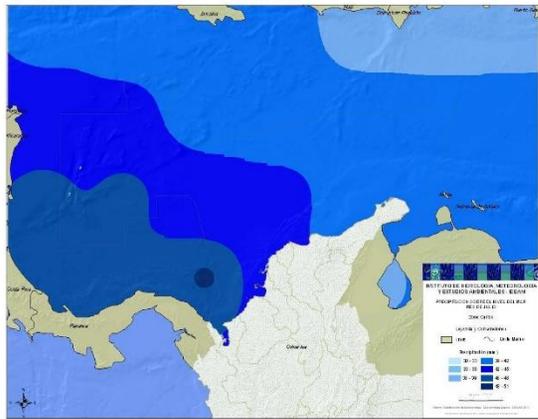


MAYO

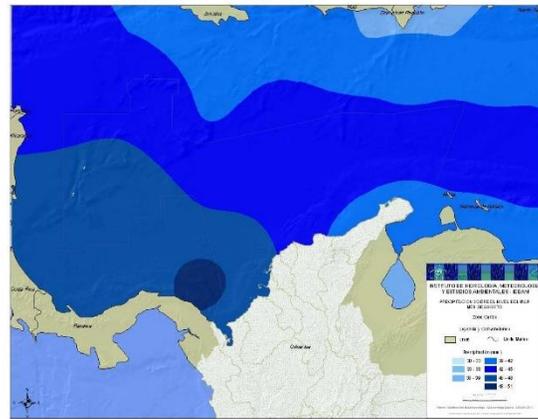


JUNIO

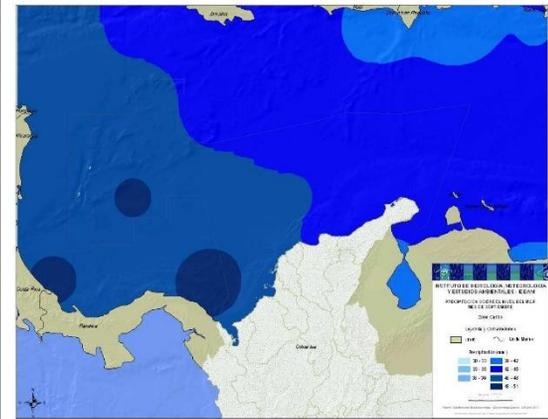




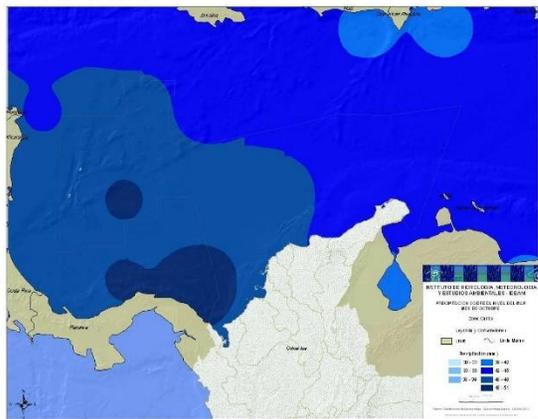
JULIO



AGOSTO



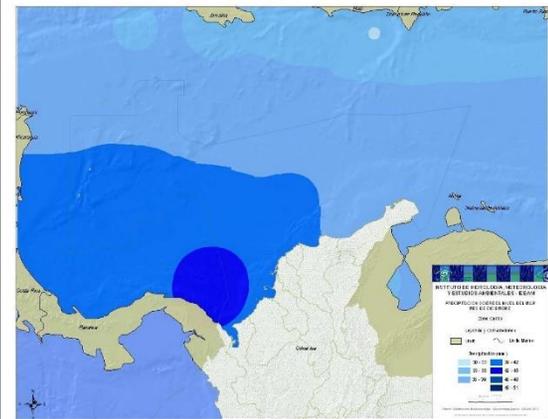
SEPTIEMBRE



OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE

Imagen 9. Precipitación promedio (mm) mensual normal sobre el mar caribe

Fuente: Atlas climatológico de Colombia 2005.



1.4 Humedad del aire

Las continuas transformaciones a las que se ve sometido el vapor de agua en la atmosfera influyen en la presentación de los fenómenos meteorológicos y las condiciones meteorológicas reinantes. El comportamiento de esta variable en el tiempo permite conocer el comportamiento climático de una determinada región.

1.4.1 Humedad relativa

Hace referencia a la relación entre la tensión del vapor que experimenta una masa de aire en un momento dado y la que tendría si estuviese saturada expresada como porcentaje.

Una de las maneras en que puede determinarse es:

$$HR = \frac{e_p}{e_s} * 100$$

donde e_p = presión parcial del vapor de agua y e_s
= presión de saturación del vapor

El valor de 100% caracteriza a un aire completamente saturado de vapor, mientras que cero (0) se refiere a un aire completamente seco.

1.4.2 Medición de la Humedad

Los instrumentos utilizados para medir la humedad relativa en Colombia son: el psicrómetro y el higrógrafo, el primero de lectura directa y el segundo de registro.

1.4.3 El Psicrómetro

Es quizá el más común de los instrumentos utilizados para medir la humedad relativa. Este instrumento consta de dos termómetros, uno común o seco que indica la temperatura del aire, y otro denominado húmedo, conocido así por portar una muselina alrededor de su depósito. La evaporación del agua que impregna la muselina produce enfriamiento y el termómetro marcará una temperatura más baja que el termómetro seco, tanto más baja, cuanto más rápida sea la evaporación. La diferencia entre las lecturas de dichos termómetros (llamada diferencia psicométrica) permite, con ayuda de algunas tablas confeccionadas matemáticamente, la obtención de los valores de humedad.

1.4.4 EL HIGRÓGRAFO

Es un instrumento que permite un registro continuo del comportamiento de la humedad relativa en un período de tiempo determinado. Su elemento sensible, aquel reacciona ante los cambios de la variable, es un haz de cabellos. Cuando el aire está seco las células del cabello están juntas unas a otras; pero cuando el aire está húmedo los espacios entre las células absorben vapor de agua y el cabello aumenta en grosor y longitud. Estos cambios en el cabello son amplificados por un sistema de palancas, que luego por medio de unos brazos transportadores de plumillas registradoras marcan en una gráfica de papel el comportamiento continuo de la variable.

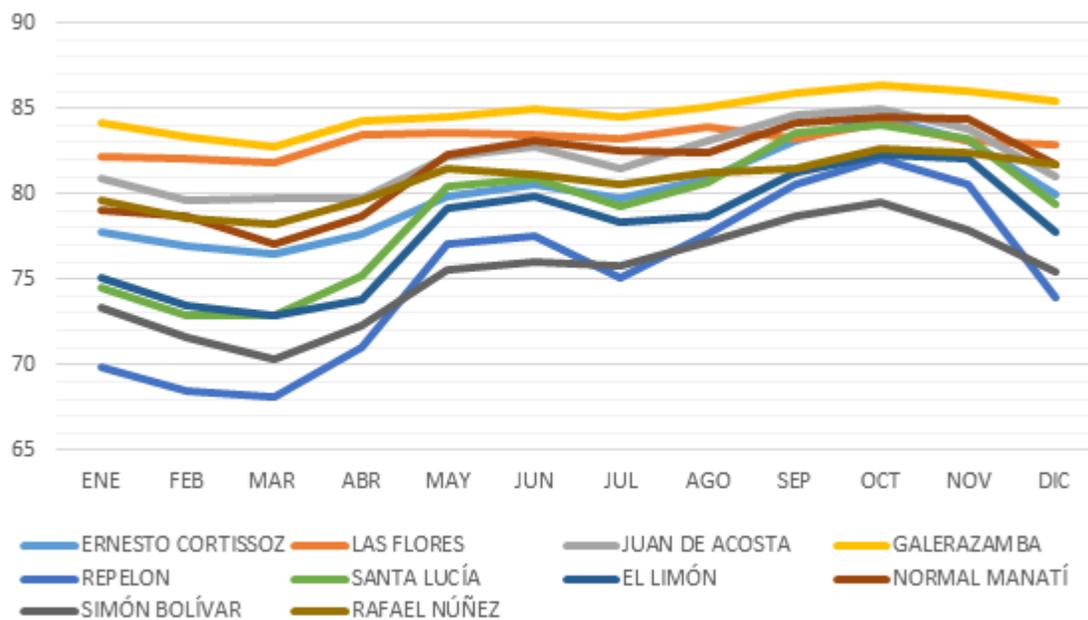


Figura 40. Comportamiento normal comparativo de la humedad relativa (%) en las estaciones de Estudio.
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

Del área de estudio las estaciones que presentan menor humedad relativa promedio anual son Repelón y Simón Bolívar ambas con 75%, más allá de que la primera es una de las estaciones con mayores registros de precipitación y de mayor frecuencia de ocurrencia. En esta estación el comportamiento se explica por su mayor amplitud térmica debido a su mayor distancia al mar; en la estación Simón Bolívar por el efecto Foëhn.

La estación con mayores registros de este parámetro es Galerazamba (85%), que es una de las estaciones con menores niveles de precipitación y con una de las menores amplitudes térmicas. Aspectos que van correlacionados de manera directa.

En la tabla 8 se recopilan los valores normales mensuales y anuales de este parámetro en las estaciones de estudio.

Tabla 8*Valores normales de humedad relativa (%) en algunas de las estaciones de estudio*

ESTACIONES METEOROLÓGICAS										
Meses	Ernesto Cortissoz	Las flores	Juan de acosta	Galera Zamba	Repelon	Santa lucía	El limón	Normal manatí	Simón bolívar	Rafael Núñez
ENE	78	82	81	84	70	75	75	79	73	80
FEB	77	82	80	83	69	73	73	79	72	79
MAR	76	82	80	83	68	73	73	77	70	78
ABR	78	83	80	84	71	75	74	79	72	80
MAY	80	84	82	85	77	80	79	82	76	81
JUN	81	83	83	85	78	81	80	83	76	81
JUL	80	83	81	85	75	79	78	82	76	81
AGO	81	84	83	85	78	81	79	82	77	81
SEP	83	83	85	86	81	84	81	84	79	81
OCT	84	84	85	86	82	84	82	84	80	83
NOV	83	83	84	86	81	83	82	84	78	82
DIC	80	83	81	85	74	79	78	82	75	82
MEDIA	80	83	82	85	75	79	78	82	75	81

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

1.4.5 Análisis comparativo entre Humedad relativa, temperaturas medias y precipitaciones en algunas estaciones del área de estudio.

La humedad relativa guarda estrecha relación tanto con la temperatura como con la precipitación. Cuando las temperaturas son altas, los niveles de humedad relativa son generalmente bajos debido a la gran capacidad que tiene el aire en ese momento para retener vapor de agua y la dificultad para ser saturado; sin embargo, cuando ocurre lo contrario, es decir, que la temperatura baja o disminuye, los niveles de humedad relativa son generalmente altos debido a la menor capacidad que tiene el aire para albergar vapor de agua en su interior y la facilidad de saturarse.

Respecto a su correlación con las precipitaciones vale decir que, ante la presencia de estas en sus más variadas formas, la humedad relativa tiende a elevarse debido a que se configura la saturación del aire.

1.4.5.1 Humedad relativa - Temperaturas medias.

La humedad relativa y las temperaturas medias evidencian una correlación medianamente significativa en las estaciones de referencia. La estación en donde es más notoria la relación que guardan estas dos variables es Galerazamba. En dicha estación el índice de correlación es del orden del 65%.

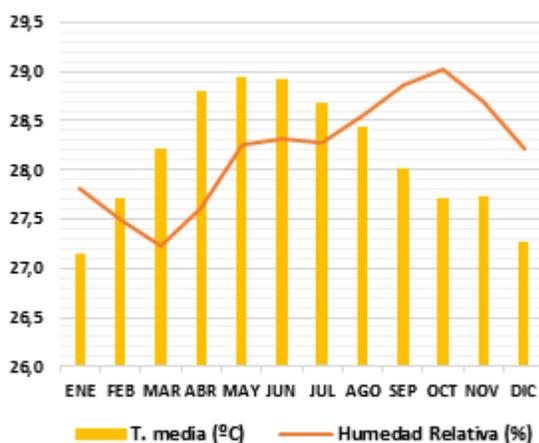


Figura 41. Comportamiento Normal Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

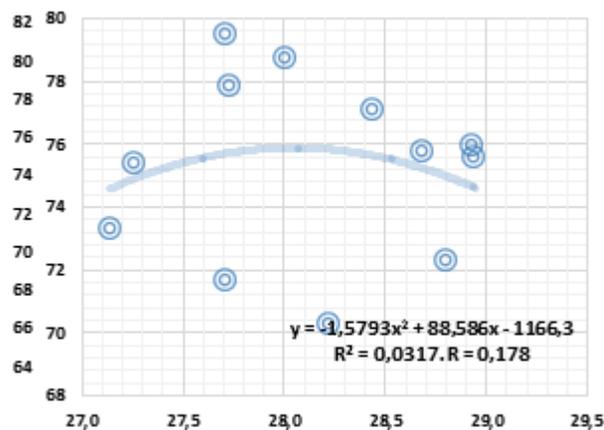


Figura 42. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

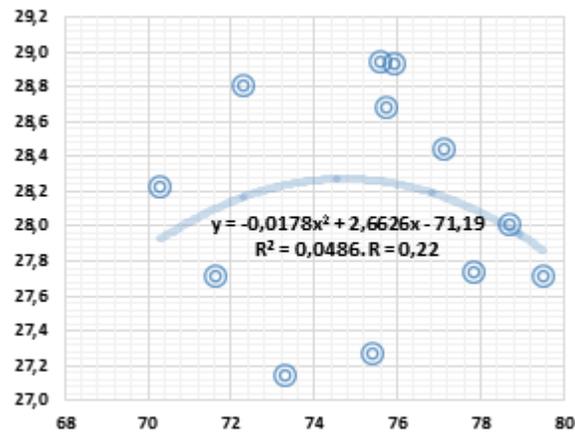


Figura 43. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En la estación Simón Bolívar este índice es muy bajo, tal vez propiciado este comportamiento por la incidencia de la sierra nevada de Santa Marta, la cual, tal como se detalló en líneas anteriores tienen una gran influencia en el comportamiento de las precipitaciones y las temperaturas, lo que puede estar induciendo también en cómo se presenta la correlación de estas con otras variables. Por otro lado, el hecho que esta estación presenta unos de los menores niveles promedio de humedad relativa puede ser determinante en este comportamiento.

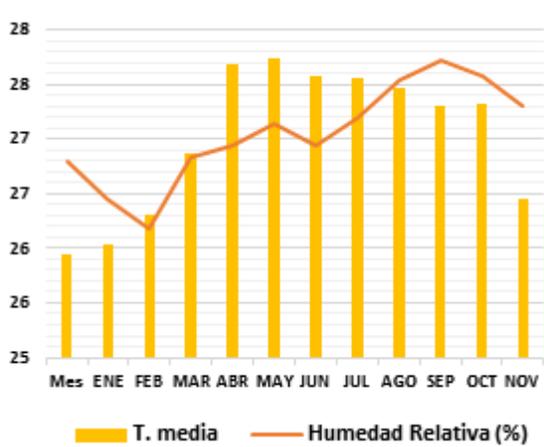


Figura 44. Comportamiento Normal Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

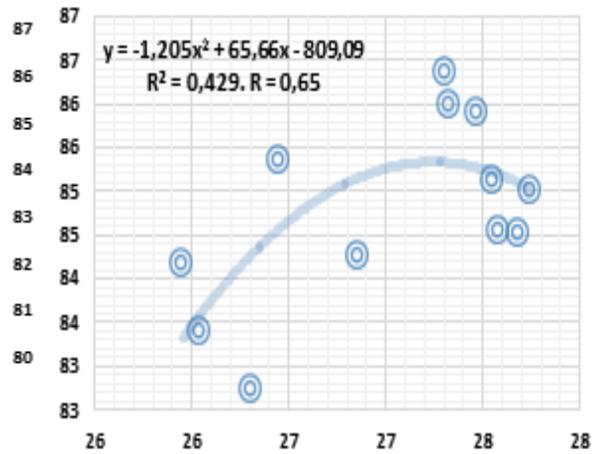


Figura 45. Correlación Polinómica Entre La Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Galerazamba Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

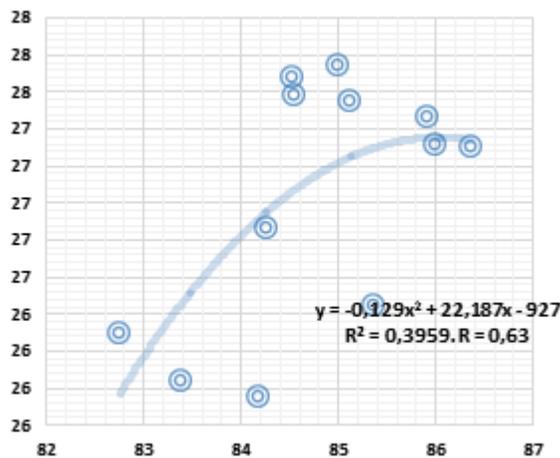


Figura 46. Correlación Polinómica Entre La Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Galerazamba Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

En la estación Ernesto Cortissoz la correlación entre estas dos variables es mayor que en la estación Simón Bolívar, pero menor que en Galerazamba. La correlación es mayor cuando se considera la temperatura como variable dependiente; es decir, que la temperatura media se ve muy influenciada por la humedad relativa, en mayor medida en que la

temperatura influencia en la humedad relativa. En la primera situación la correlación es de 67% y en la segunda de 57%.

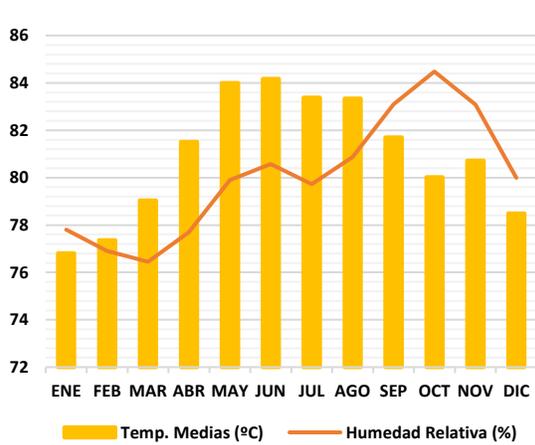


Figura 47. Comportamiento Normal Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C). Estación Ernesto Cortisoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

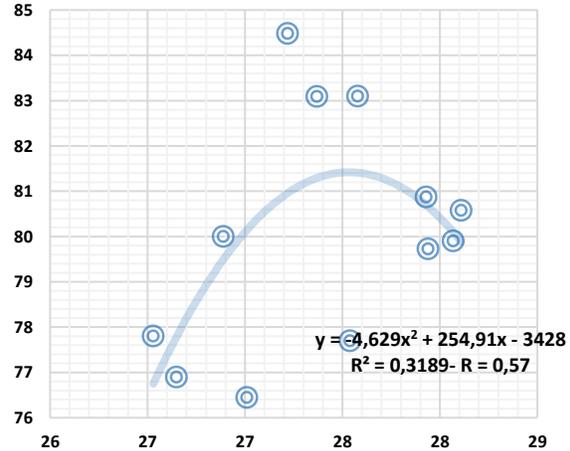


Figura 48. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Ernesto Cortisoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

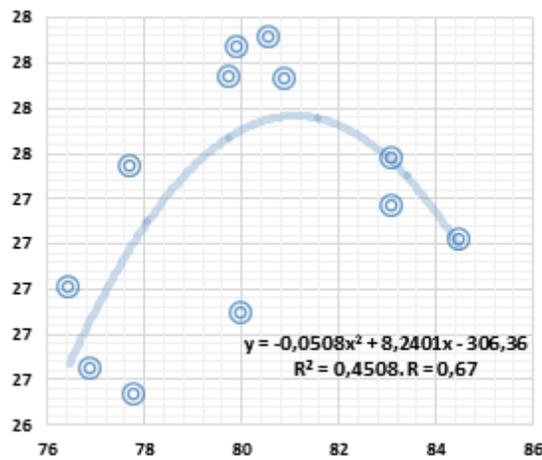


Figura 49. Correlación Polinómica Entre La Humedad Relativa (%) Y La T. Media (°C) En La Estación Ernesto Cortisoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores

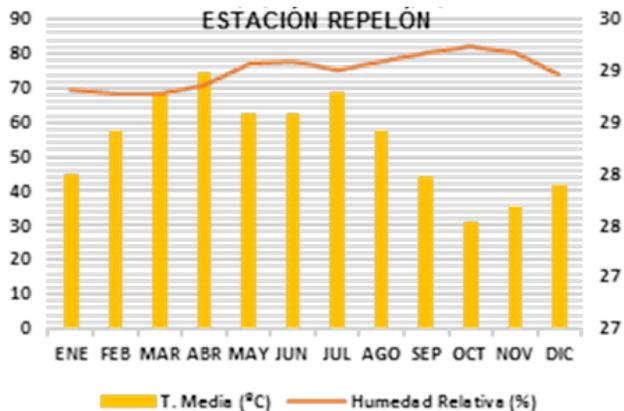


Figura 50. Comportamiento Normal Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

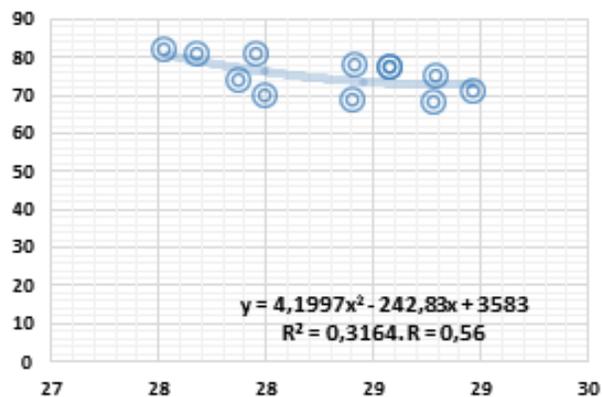


Figura 51. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y T. Media (°C) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

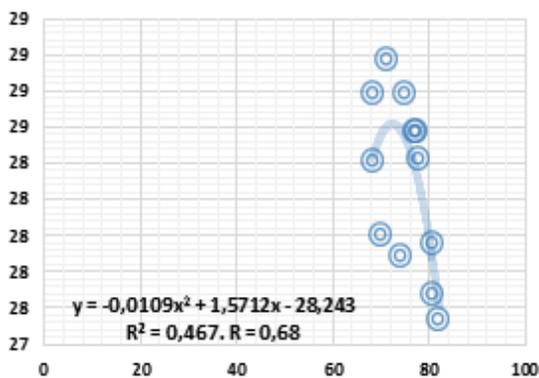


Figura 52. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa Y T. Media En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

En la estación Repelón sucede algo similar a lo que ocurre en la estación Ernesto Cortissoz, no solo en cuanto a comportamiento, sino también en el nivel de correlación. Estos comportamientos evidenciados en las correlaciones de las dos variables pueden estar influenciados por el comportamiento de otra.

1.4.5.2 Humedad relativa – precipitaciones

La humedad relativa y la precipitación son dos variables muy ligadas que tienen comportamientos retroalimentativos; es decir, la influencia que ejerce la una sobre la otra son igualmente significativos. En las estaciones de referencia las correlaciones son significativamente altas, especialmente en Simón Bolívar y Repelón, en las cuales los niveles de correlación se encuentran alrededor del 92%. En las estaciones Ernesto Cortissoz y Galerazamba estos niveles están alrededor del 88%.

La relación de estas dos variables es directa, cuando las cantidades de precipitaciones, así como sus frecuencias aumentan, de la misma manera lo hace la humedad relativa debido a la elevación de los niveles de saturación que se presenta cuando la precipitación ocurre e incluso momentos antes de iniciar.

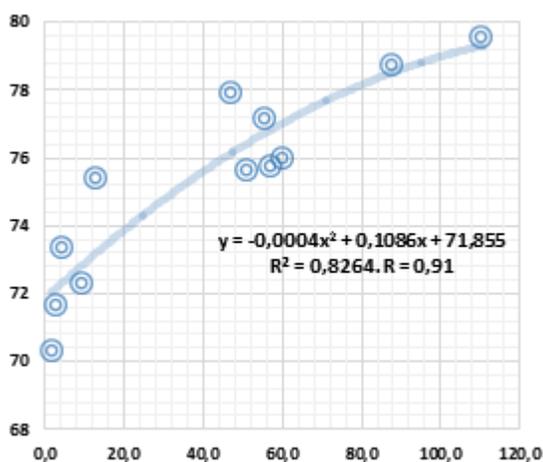


Figura 53. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y Precipitación (mm) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

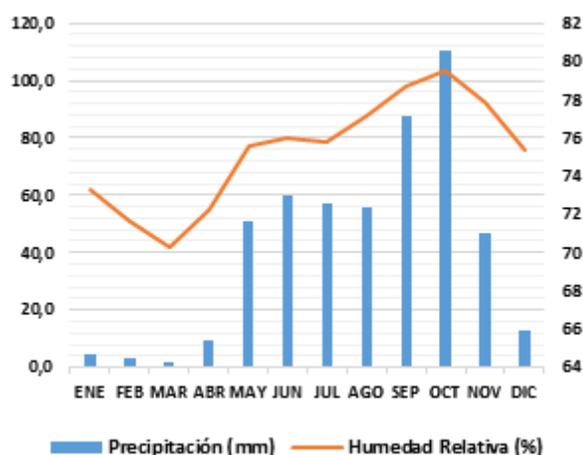


Figura 54. Comportamiento Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y Precipitación (Mm) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

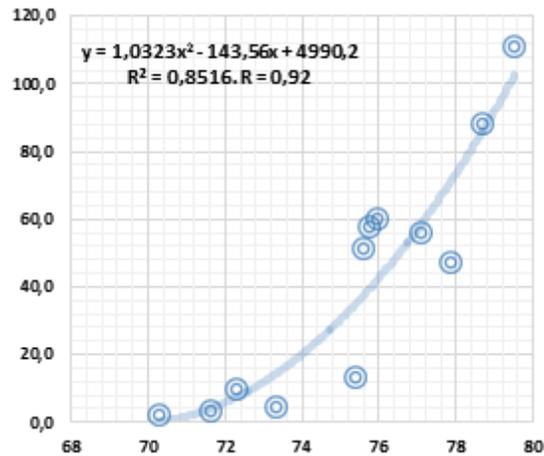


Figura 55. Correlación Polinómica Entre Humedad Relativa (%) Y Precipitación (Mm) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

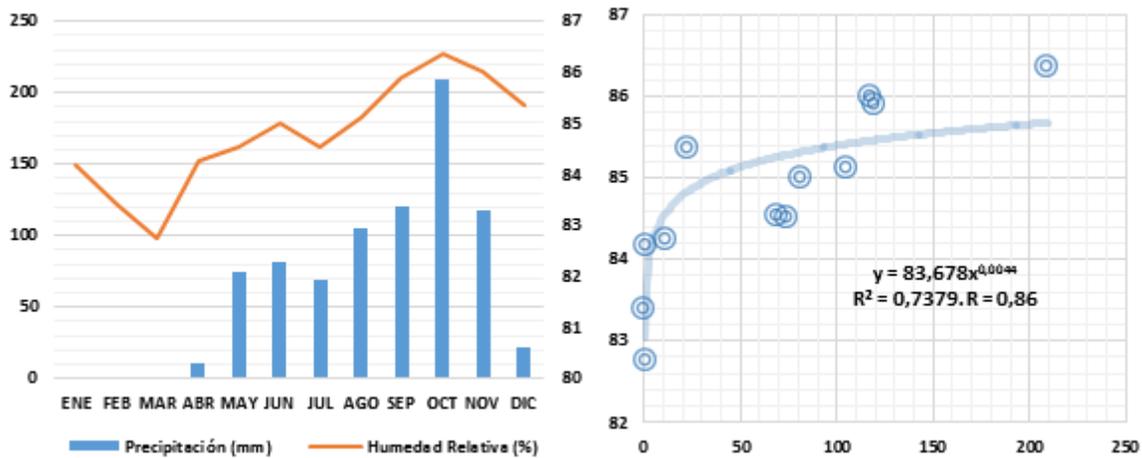


Figura 56. Comportamiento Normal Comparativo Entre La Humedad Relativa (%) Y La Precipitación (Mm) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

Figura 57. Correlación Potencial Entre La Humedad Relativa (%) Y Precipitación (Mm) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

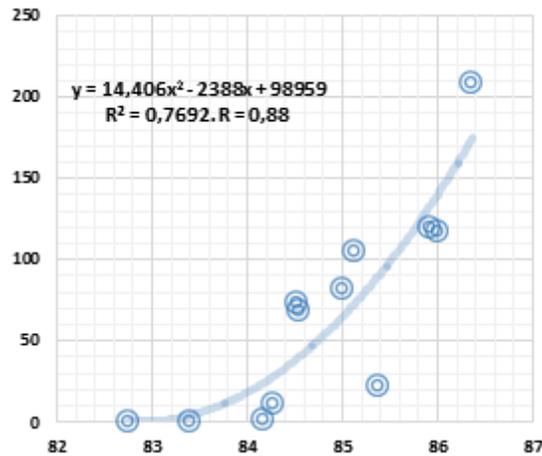


Figura 58. Correlación Polinómica Entre La Humedad Relativa (%) Y La Precipitación (Mm) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

Humedad relativa – Precipitación

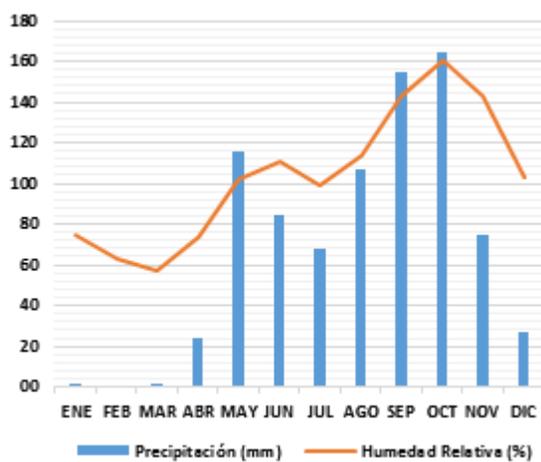


Figura 59. Comportamiento Normal Comparativo Entre Humedad Relativa (%) Y Precipitación (Mm) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

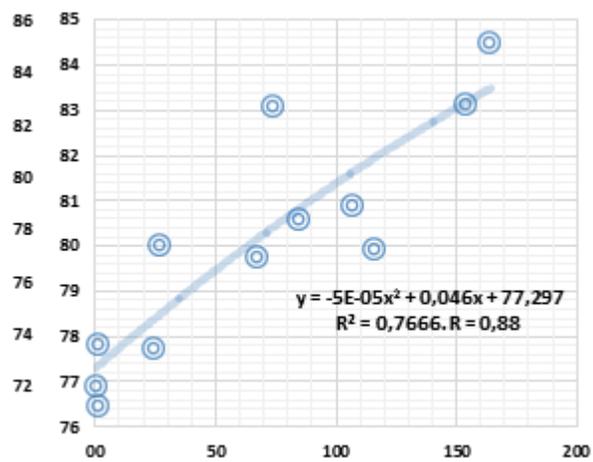


Figura 60. Correlación Polinómica Entre La Humedad Relativa (%) Y La Precipitación (Mm) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

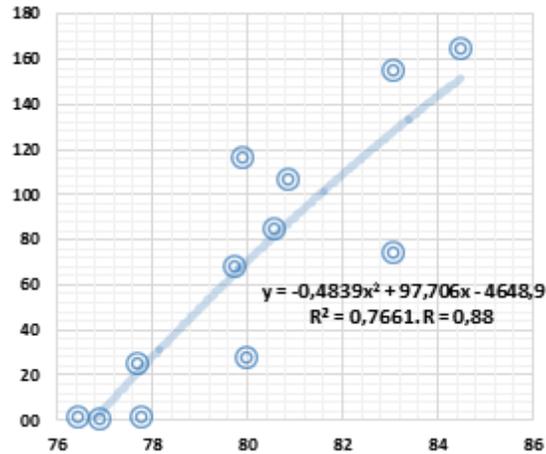


Figura 61. Correlación Polinómica entre La Humedad Relativa (%) y la Precipitación (mm) en la Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

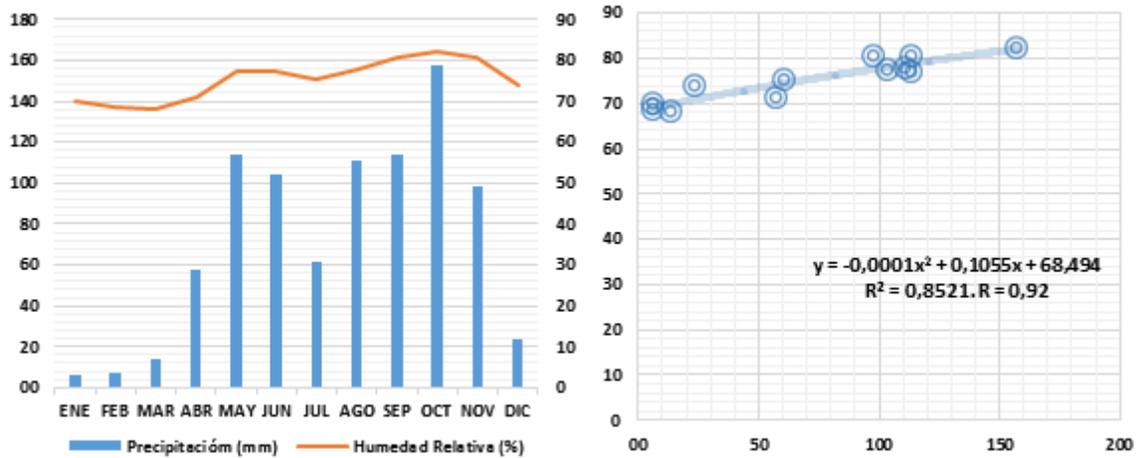


Figura 62. Comportamiento Normal Comparativo entre Humedad Relativa (%) y Precipitación (mm) en la Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

Figura 63. Correlación Polinómica entre Humedad Relativa (%) y la Precipitación (mm) en la Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

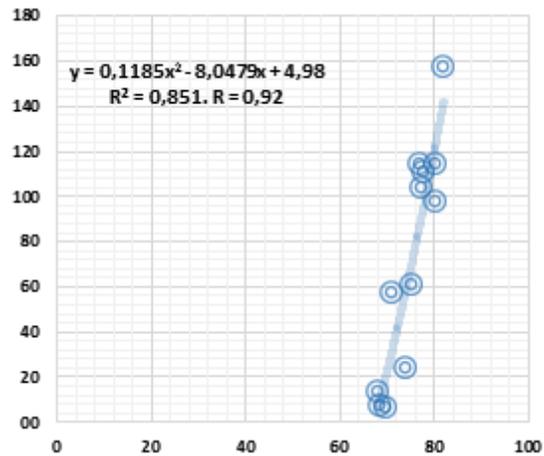
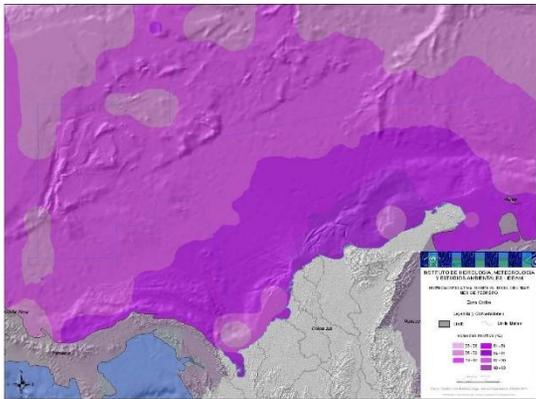


Figura 64. Correlación Entre Humedad Relativa (%) Y Precipitación (mm) en La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

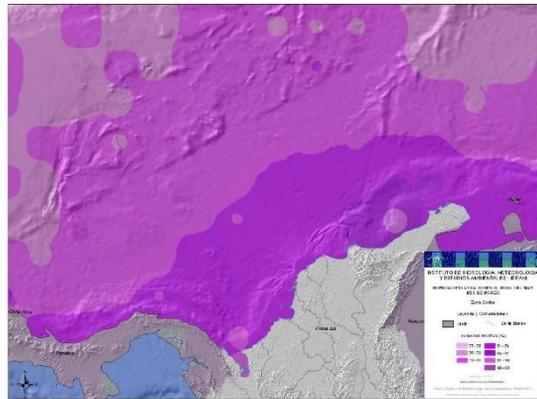
En la imagen 10 se observa como varía o se comporta esta variable sobre el mar Caribe en promedio durante el año. Se puede apreciar como las variaciones mes a mes no son tan significativas. Vientos, precipitaciones y temperaturas son las variables que se conjugan para determinar su comportamiento.



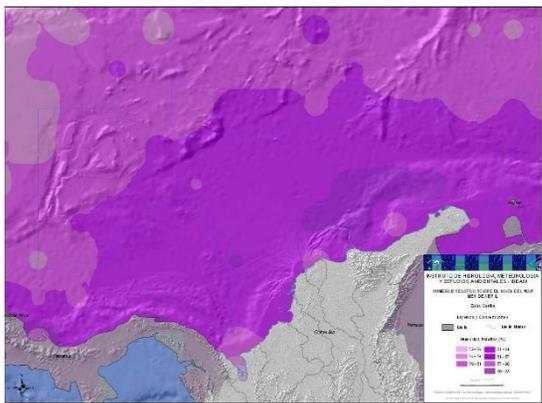
ENERO



FEBRERO



MARZO



ABRIL



MAYO

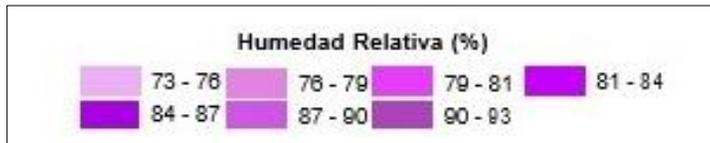


JUNIO

Imagen 10

Humedad relativa (%) normal mensual sobre el mar Caribe

Fuente: Datos IDEAM

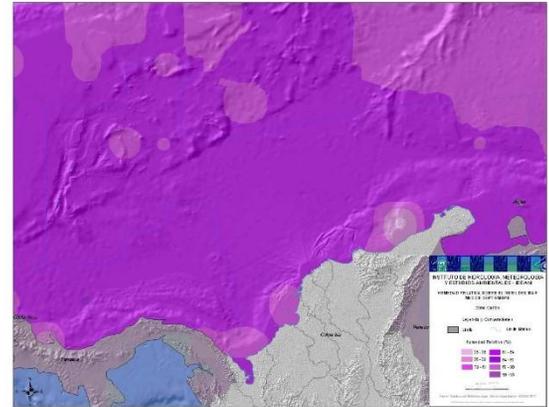




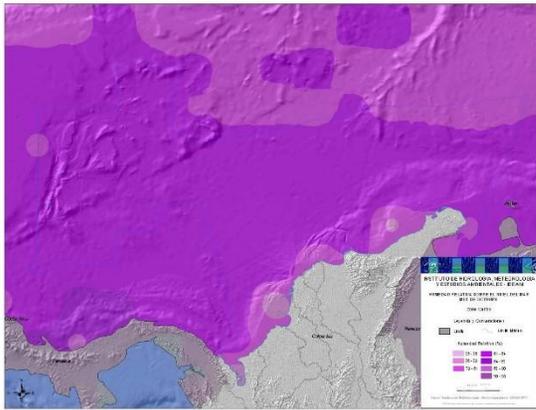
JULIO



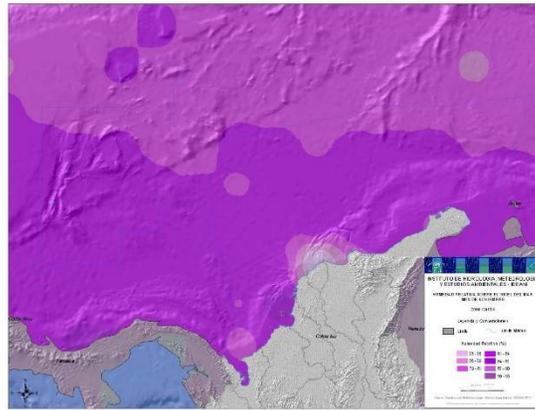
AGOSTO



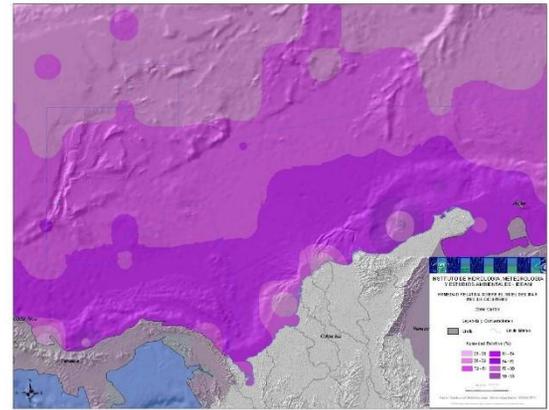
SEPTIEMBRE



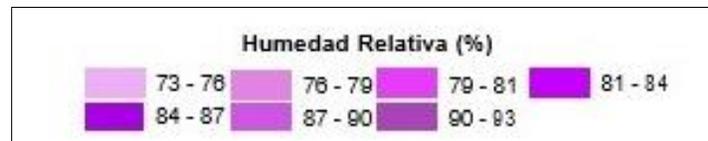
OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



1.5 BRILLO SOLAR

La energía solar es el motor que dinamiza los procesos atmosféricos y por ende la variabilidad climática. El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de su paso por la atmósfera en donde es objeto de varios procesos (Absorción, difusión y reflexión de nubes, gases y partículas en suspensión) alcanza la superficie terrestre en donde es reflejada o absorbida. La radiación que es absorbida por la tierra luego es reenviada a la atmósfera en forma de radiación de onda larga, es decir energía calorífica. El mosaico climático mundial depende del balance radiativo.

El parámetro de radiación analizado en este trabajo es el brillo solar, el cual hace referencia a las horas de insolación durante el día; es decir, las horas en que el sol es visible o es efectivo en el día.

El instrumento que con el cual se mide este parámetro es el heliógrafo. Este instrumento es registrador y en él el sol quema una cartulina graduada en horas, la cual está ubicada concéntricamente, dependiendo de la época del año, debajo de una esfera de vidrio.

La figura 65 muestra el comportamiento de este parámetro en el departamento de Atlántico. Aquí se aprecia la coherencia que mantienen todas las estaciones de estudio con relación al comportamiento cíclico y estacional de este parámetro.

El comportamiento del brillo solar va ligado al comportamiento de la nubosidad baja y media. Entre más nubosidad haya en la atmósfera menor será el brillo solar.

La estación con mayor número de horas con brillo solar en Rafael Núñez (2577 horas). En el departamento del Atlántico es la Estación Ernesto Cortissoz (2561 horas) y la de menor número de horas es Normal Manatí con 2126 horas promedio al año.

En la tabla 9 se muestran los valores normales de la variable en las estaciones de estudio. Las figuras comprendidas entre el 66 y el 73 muestran la correlación existente entre el brillo solar y la humedad relativa. En estas se aprecia que la correlación existente es inversa; es decir, cuando las horas de brillo solar aumentan la humedad relativa disminuye, algo que es lógico si se considera que cuando las horas de brillo solar aumentan también lo hacen las temperaturas. Dado que a mayor temperatura del aire la humedad relativa tiende a bajar, entonces esa misma relación se presenta con el brillo solar.

La presencia del brillo solar supone un aumento de las temperaturas o el mantenimiento de temperaturas que condicionan al aire a tener una mayor capacidad de retención de vapor de agua. En la medida en que el brillo solar disminuye también lo hace la temperatura y esto propicia el aumento de la humedad relativa debido a que la cantidad de vapor existente en el aire puede ser suficiente para saturarlo. Dentro de las estaciones de referencia las que presentan mayor correlación de estas dos variables son Ernesto Cortissoz y Repelón con niveles alrededor del 85%, mientras que Galerazamba presenta el nivel más bajo de correlación con un 60.5%. La estación Simón Bolívar presenta una correlación entre estas variables del orden de 76%.

El comportamiento de esta correlación en la estación de Galerazamba se puede explicar debido al efecto que producen los vientos en las temperaturas, pues aún a pesar de que haya abundante brillo solar, aquí el viento constante y especialmente fuerte, ocasionan disminución de las temperaturas. Algo similar ocurre en las demás estaciones en los primeros meses del año cuando los vientos alisios discurren con apreciables velocidades; sin embargo, en Galerazamba el efecto es más notorio y repercute en este comportamiento durante casi todo el año.

En la figura 74 se aprecia el comportamiento comparativo entre las horas de brillo solar promedio de toda el área de estudio y el porcentaje promedio mensual de humedad relativa.

Aunque no son variables directamente correlacionadas, si guardan relación en cuanto a comportamientos. La figura 75 da cuenta de la correlación polinómica entre ambas en toda el área de estudio. Se puede considerar que los variables inversamente proporcionales.

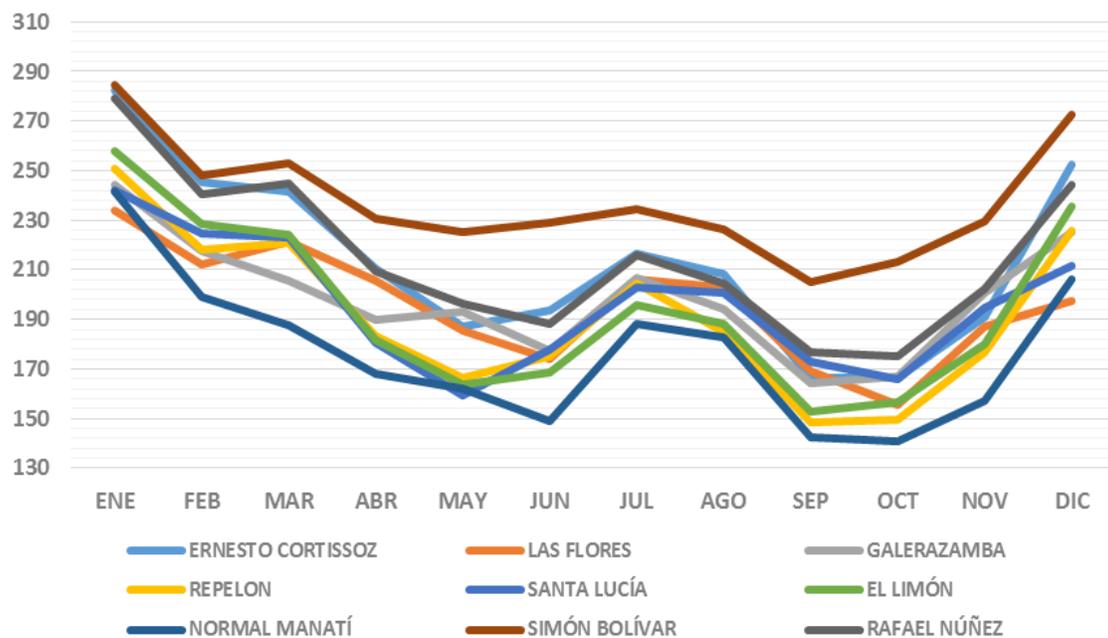


Figura 65 Comportamiento Normal Comparativo Del Brillo Solar (No De Horas) En Las Estaciones De Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

Tabla 9

Valores normales promedio de brillo solar en las estaciones de estudio

MESES	ESTACIONES								
	ERNESTO CORTISSOZ	LAS FLORES	GALERA ZAMBA	REPELON	SANTA LUCÍA	EL LIMÓN	NORMAL MANATÍ	SIMÓN BOLÍVAR	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	283	234	244	251	242	258	241	285	279
FEB	245	212	218	218	225	229	199	248	240
MAR	241	221	206	221	223	224	188	253	245
ABR	211	206	190	183	181	181	168	231	210
MAY	187	185	193	166	159	164	162	225	197
JUN	194	174	177	175	178	169	149	229	188
JUL	217	206	207	204	203	196	188	235	216
AGO	208	203	194	185	201	188	183	226	204
SEP	166	169	164	148	173	153	143	205	177
OCT	167	155	167	149	166	157	141	213	175
NOV	191	187	201	177	195	180	157	230	202
DIC	252	197	225	226	212	235	206	273	245
TOTAL	2561	2350	2385	2304	2356	2333	2126	2853	2577
ANUAL									

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

1.5.1. Análisis comparativo entre el Brillo solar y la Humedad relativa

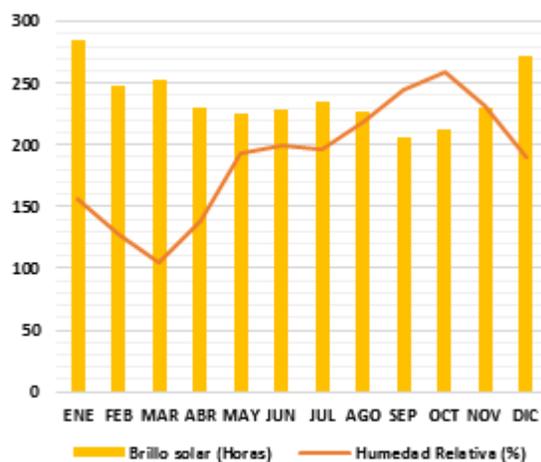


Figura 66. Comportamiento Normal Comparativo Entre Brillo Solar (Horas) Y Humedad Relativa (%) En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

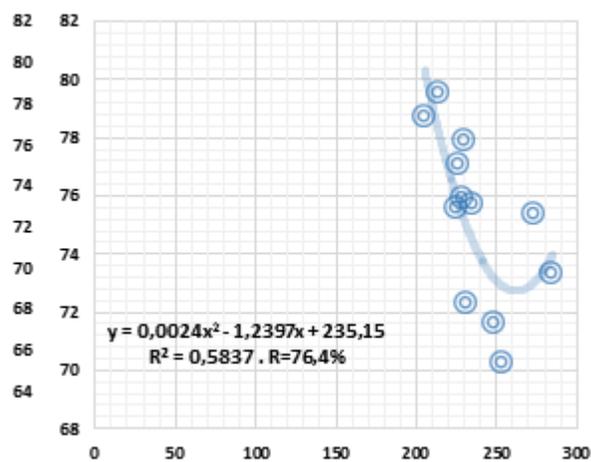


Figura 67. Correlación Polinómica Entre El Brillo Solar (Horas) Y La Humedad (%) Relativa En La Estación Simón Bolívar. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

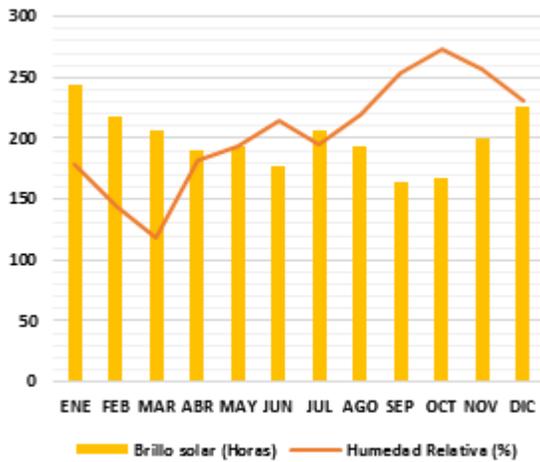


Figura 68. Comportamiento Normal Comparativo Entre Brillo Solar (Horas) Y Humedad Relativa (%) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

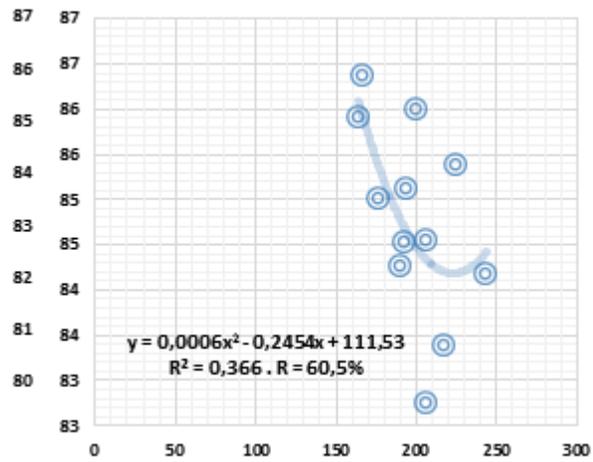


Figura 69. Correlación Polinómica Entre El Brillo Solar (Horas) Y La Humedad Relativa (%) En La Estación Galerazamba. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

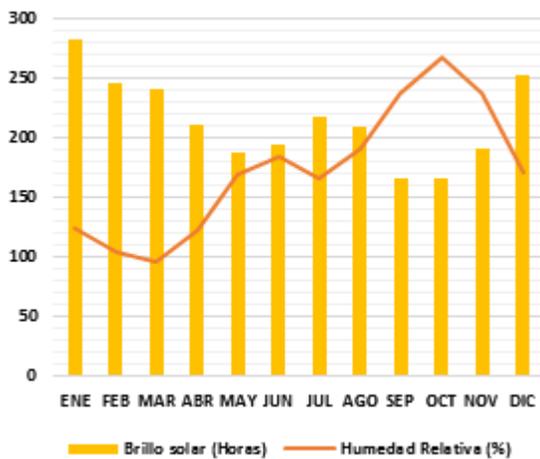


Figura 70. Comportamiento Normal Comparativo Entre El Brillo Solar (Horas) Y La Humedad Relativa (%) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

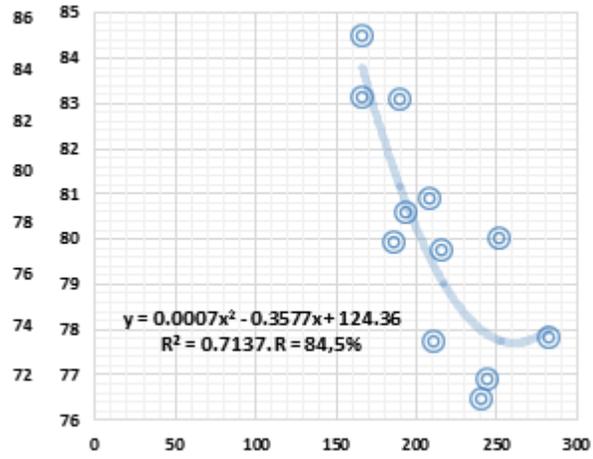


Figura 71. Correlación Polinómica Entre El Brillo Solar (Horas) Y La Humedad Relativa (%) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

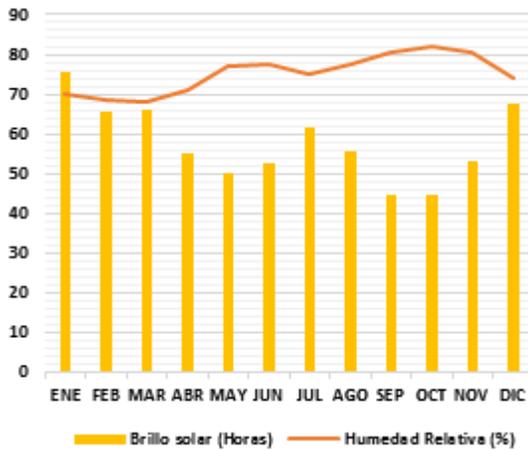


Figura 72. Comportamiento Normal Comparativo Entre Brillo Solar (Horas) Y Humedad Relativa (%) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

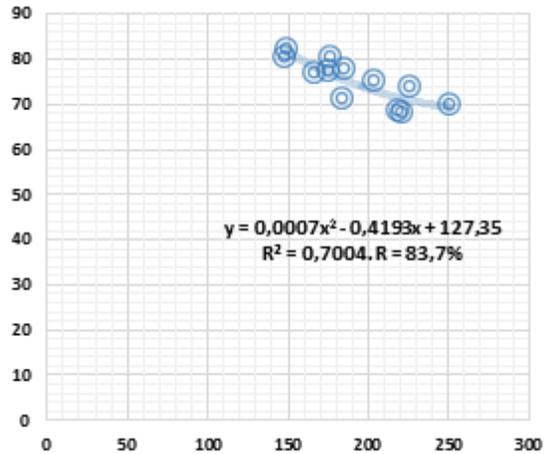


Figura 73. Correlación Polinómica Entre El Brillo Solar (Horas) Y La Humedad Relativa (%) En La Estación Repelón. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

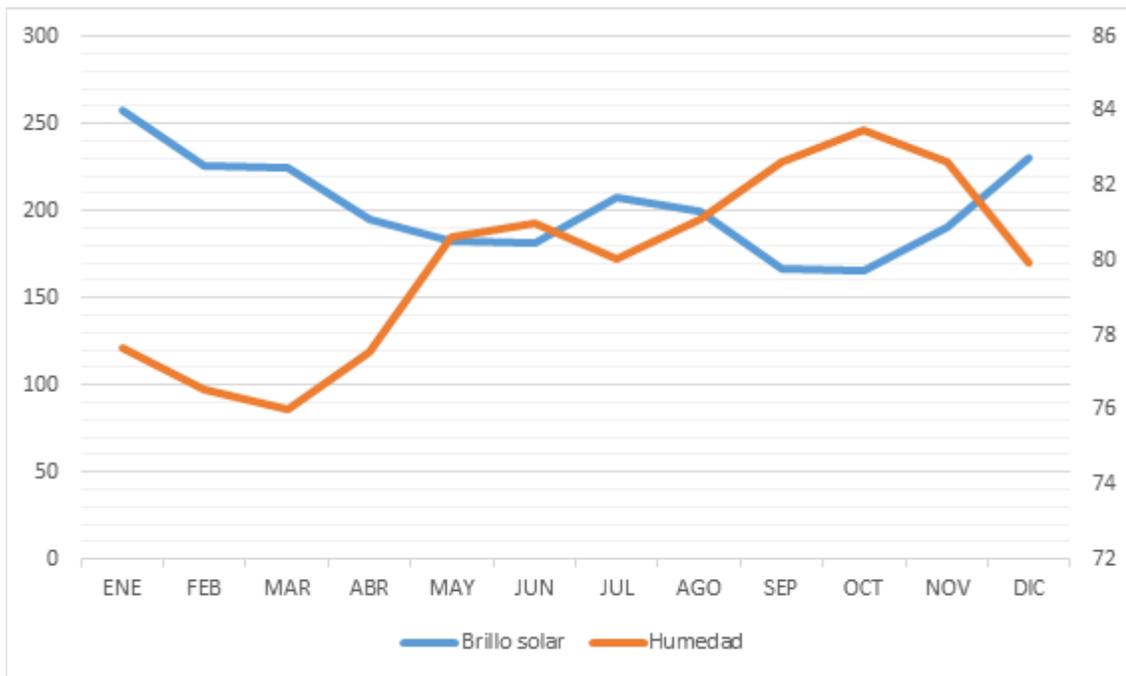


Figura 74. Comportamiento Normal Comparativo Del Billo Solar (no de horas) Y De La Humedad Relativa (%) En El Área De Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

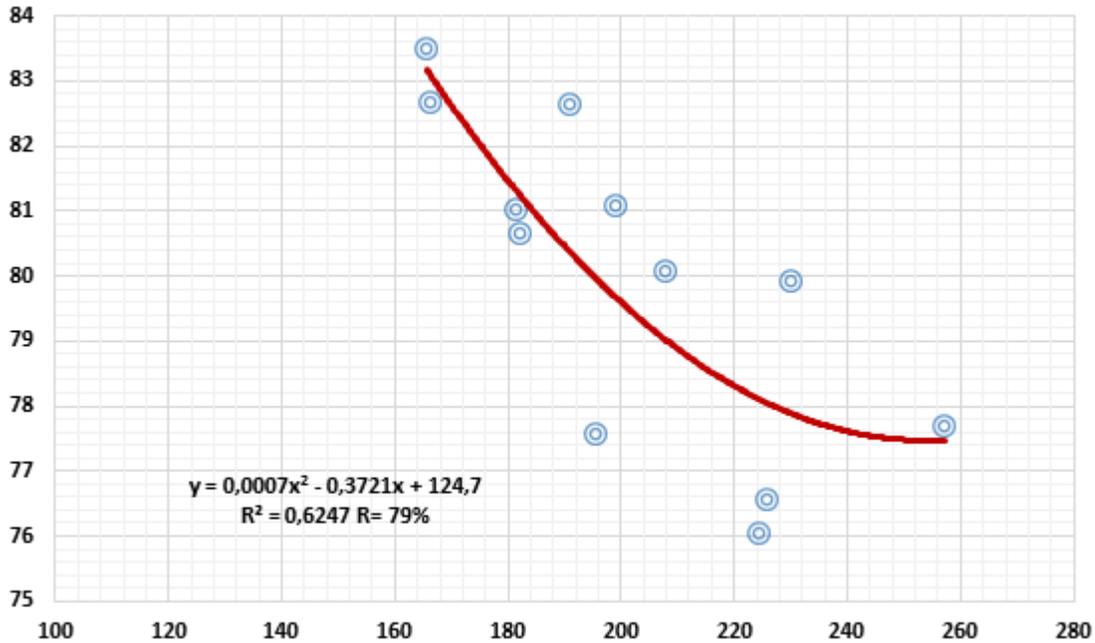


Figura 75. Correlación Normal Del Brillo Solar (no de horas) Y La Humedad Relativa (%) En El Área De Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

1.6 Evaporación

La evaporación es el resultado del proceso físico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor. Este proceso se distingue de la ebullición, principalmente por dos razones:

- a) La evaporación se puede producir a cualquier temperatura, mientras que la ebullición se produce únicamente a una temperatura determinada, que es función de la presión atmosférica (100°C a nivel del mar).
- b) En la ebullición, el agua pasa del estado líquido al estado de vapor en forma tumultuosa; en la evaporación, por el contrario, el pasaje se efectúa en forma tranquila

1.6.1 Importancia de medir la evaporación

Es indispensable medir la velocidad de la evaporación y la transpiración para poder determinar la cantidad de agua disponible para ser utilizada por el hombre en las ciudades y aglomeraciones urbanas y para la vida animal y vegetal en el campo.

Los datos de evaporación se utilizan ampliamente en diferentes ramas del sector productivo, principalmente en las aplicaciones a la agricultura y a la generación de energía. En agricultura el dato de evaporación permite estimar necesidades de riego mediante el balance hídrico que incluya también precipitación, propiedades del suelo y estado del cultivo. De la misma manera, se debe incluir el dato de evaporación en el manejo de embalses mediante modelos de balance hidrológico.

1.6.2 Factores Que Influyen En La Evaporación

Los factores más determinantes que influyen en que se produzca la evaporación en una superficie evaporante determinada son:

- Radiación total, solar y terrestre.
- Temperatura del aire y de la superficie evaporante.
- Velocidad del viento en superficie.
- Presión atmosférica.
- Naturaleza de la superficie.
- Cantidad de agua contenida en la superficie evaporante.

1.6.3 Instrumentos De Medición

El instrumento de mayor utilización en Colombia para efectuar la medida de la evaporación es el tanque clase A. Este es un tanque cilíndrico de 120,7 centímetros de diámetro y 25,5 centímetros de altura, hecho en lámina de hierro galvanizado o en libre de vidrio. En el interior del tanque se pintan dos líneas amarillas, una a 5 centímetros y la otra debajo del borde, con el fin de mantener correcto el nivel del agua.

Este instrumento mide la evaporación efectiva, es decir, la cantidad de masa líquida que una superficie de agua pierde por haberse convertido en vapor durante un determinado período de tiempo.

Los valores máximos de evaporación en el país se encuentran en la zona norte, debido a la influencia que ejercen sobre esta los sistemas subtropicales. En el departamento del Atlántico históricamente los promedios de evaporación alcanzan niveles de 2.000 milímetros. Los sistemas de mayor preponderancia desde el punto de vista evaporativo son los anticiclones, esto unido a que la mayor parte de estas tierras se encuentran al nivel medio del mar. Ello contribuye a que exista un clima muy seco y cálido durante todo el año.

En la mayor parte de las estaciones del Atlántico presentan un régimen con tendencia modal, tal como se aprecia en el siguiente gráfico.

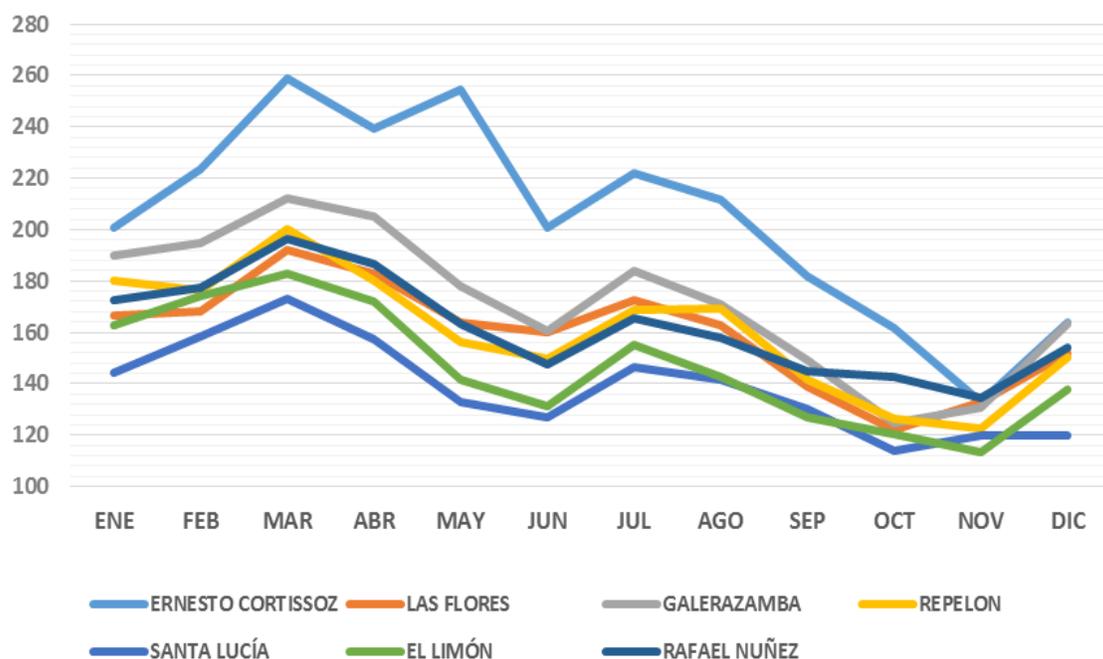


Figura 76. Comportamiento Normal Comparativo De La Evaporación (mm) De Las Estaciones En Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores.

Tabla 10

Valores normales promedio de brillo solar en las estaciones de estudio

MESES	ESTACIÓN						
	ERNESTO CORTISSOZ	LAS FLORES	GALERA ZAMBA	REPELON	SANTA LUCÍA	EL LIMÓN	RAFAEL NUÑEZ
ENE	201	167	190	180	144	163	173
FEB	223	168	195	177	158	174	177
MAR	259	192	212	200	173	183	196
ABR	239	183	205	180	157	172	187
MAY	255	164	178	156	133	141	163
JUN	201	160	160	150	127	131	148
JUL	222	172	184	169	146	155	166
AGO	211	163	171	169	142	143	158
SEP	182	139	149	142	130	127	145
OCT	162	122	125	126	114	121	143
NOV	133	133	131	123	120	114	135
DIC	164	152	163	150	120	138	154
TOTAL ANUAL	2451	1915	2062	1921	1664	1760	1943

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

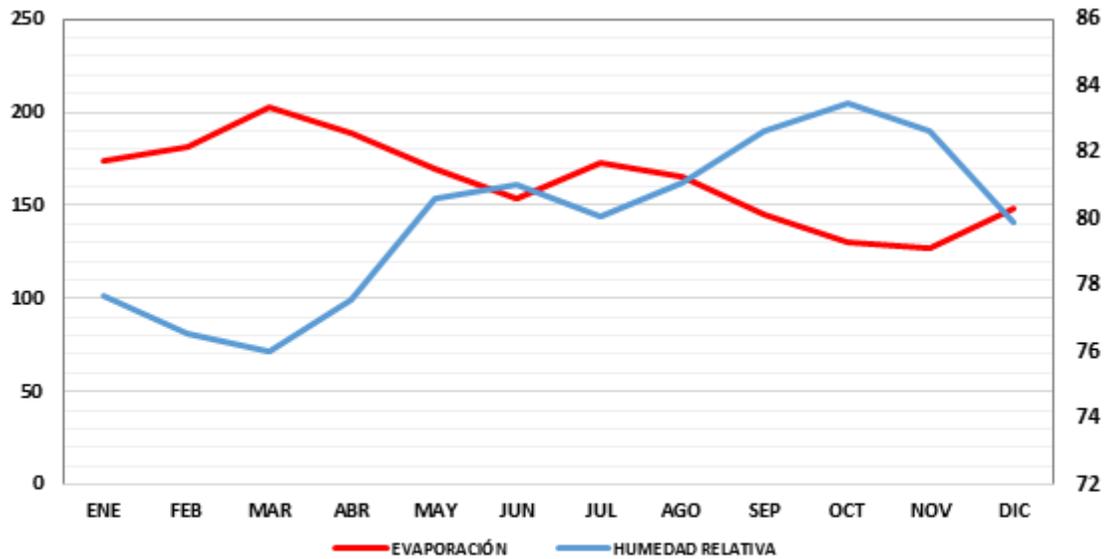


Figura 77. Comportamiento Comparativo Entre La Evaporación (mm) Y Humedad Relativa (%). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores

La evaporación es máxima en los primeros meses del año cuando mayor es la velocidad y el recorrido del viento. Luego disminuye a medida que aumenta la precipitación. Este comportamiento se aprecia en todas las estaciones, aunque la cantidad de milímetros evaporados es diferente.

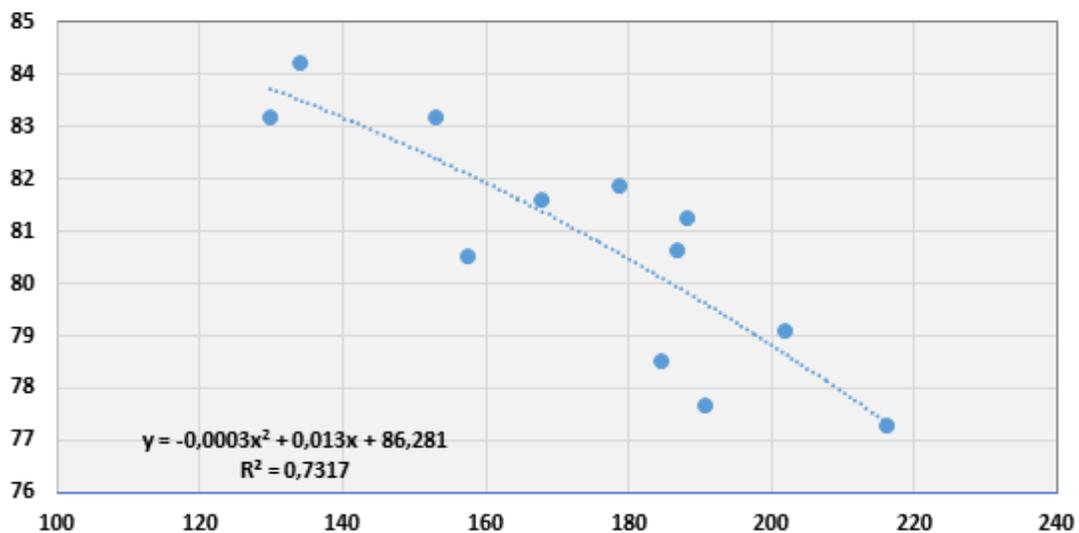


Figura 78. Correlación Normal Entre La Evaporación Y La Humedad Relativa En El Área De Estudio. Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

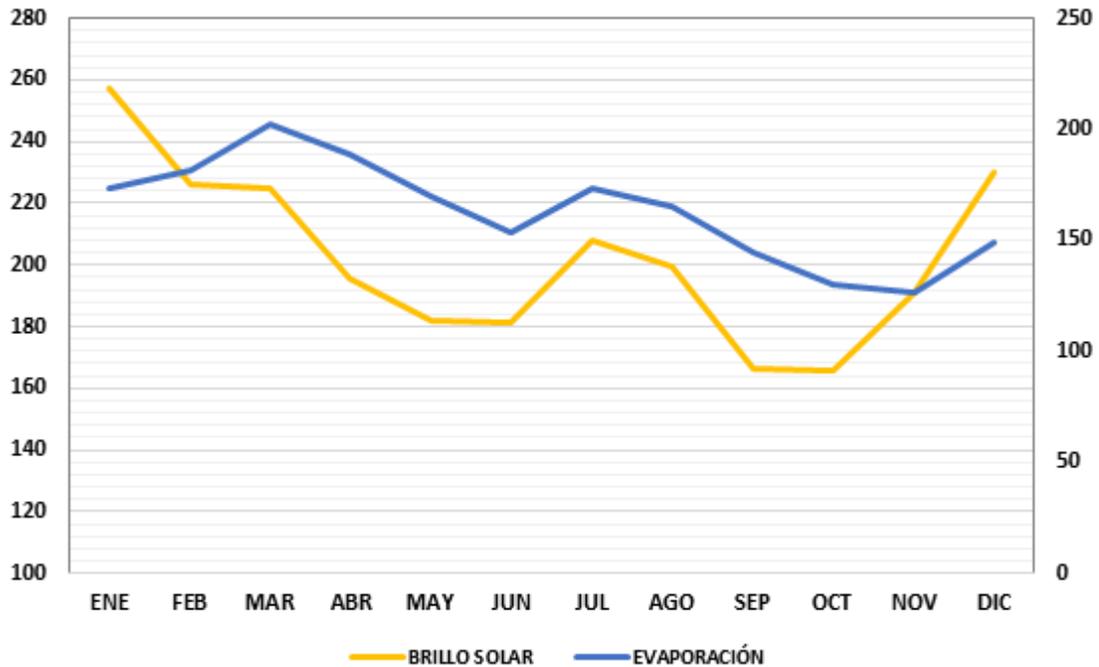


Figura 79. Comportamiento Normal Comparativo Entre El Brillo Solar (No De Horas) Y La Evaporación (mm). Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los Autores

En la figura 77 se aprecia el comportamiento comparativo entre la evaporación y la humedad relativa, se pueden considerar variables inversamente proporcionales, pues el coeficiente de determinación entre ambas es apreciable, tal como se muestra en la figura 78. Los valores de humedad relativa están muy ligados a las temperaturas, mientras que la evaporación va más ligada por un lado al viento y por el otro al brillo solar.

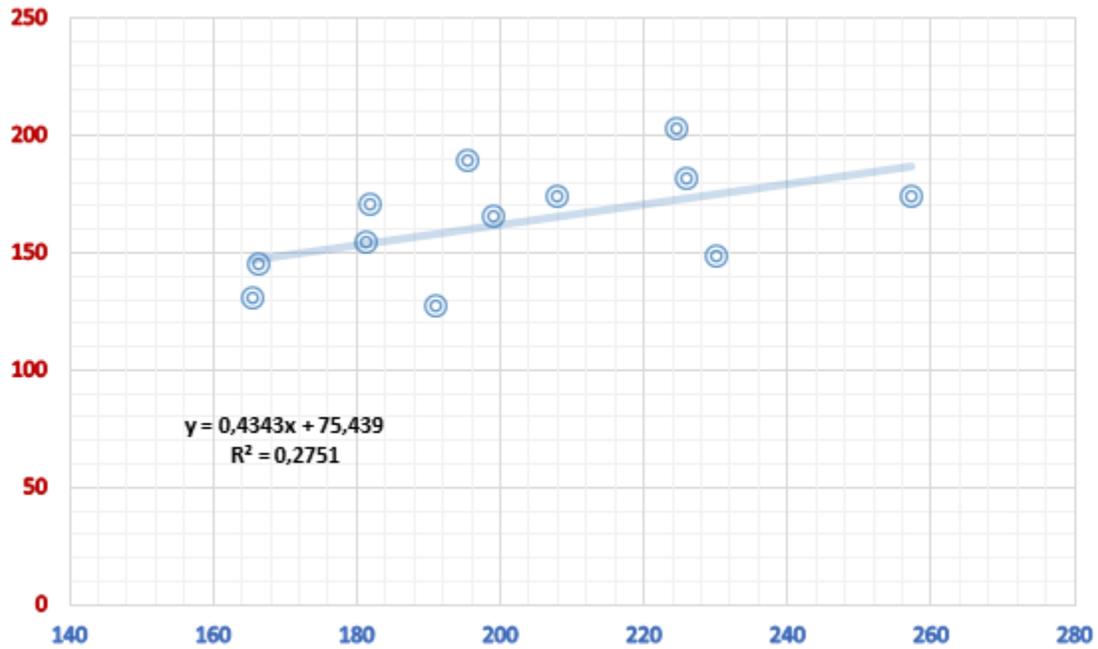


Figura 80. Correlación Normal Entre El Brillo Solar (No de horas) Y La Evaporación (mm)

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

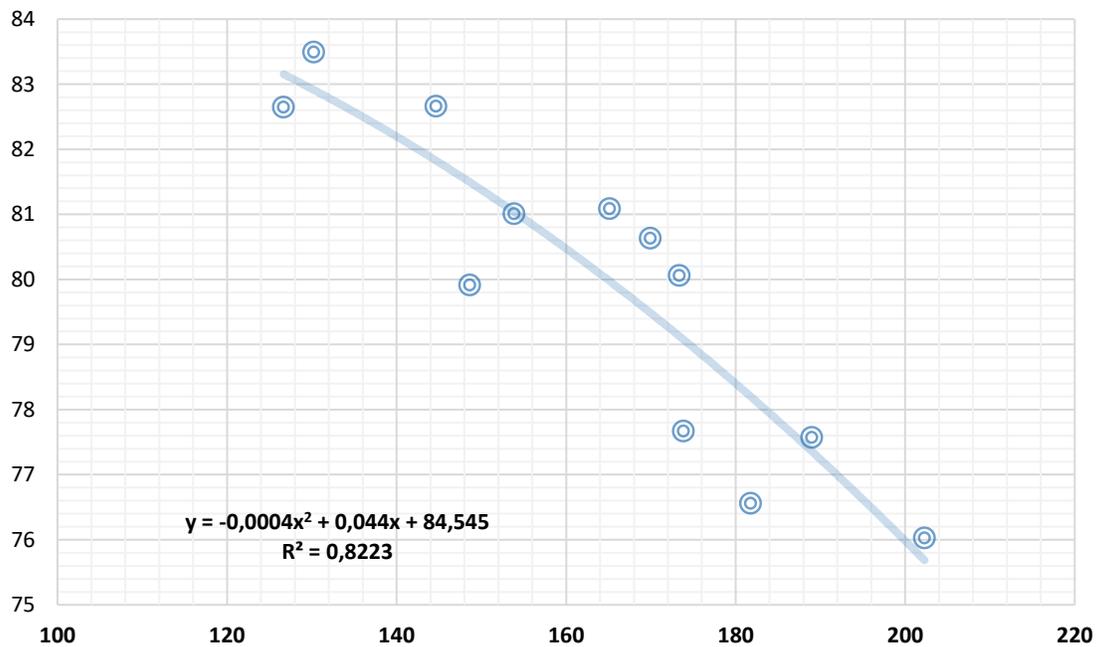


Figura 81. Correlación Normal Entre La Humedad Relativa (%) Y El Brillo Solar (No de horas).

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

1.7 El Viento

El viento se define como el movimiento horizontal o para-horizontal del aire, no incluyéndose en él los movimientos verticales del mismo, los cuales, por otro lado, tienen una componente mucho menor que aquellos a pesar de su gran importancia para la comprensión de numerosos fenómenos meteorológicos. Sin embargo, conviene aclarar que estos movimientos horizontales constitutivos del viento se entienden como movimientos relativos respecto a la superficie terrestre y no como movimientos absolutos.

El viento se mide a partir de dos magnitudes: su dirección y su intensidad. La dirección se mide a partir del punto del cual sopla el viento; es decir, de donde proviene. Se expresa a partir de ocho direcciones principales y 24 secundarias o específicas, a través de un círculo graduado llamado la rosa de los vientos. Cada dirección representa o hace alusión a grados sexagesimales o angulares.

El viento ejerce considerable influencia en los procesos de evaporación, en el Atlántico y el Caribe son variables directamente proporcionales. También es de importancia en la producción de la precipitación, ya que sólo con la entrada continua de aire húmedo a una tormenta, se puede mantener la precipitación.

1.7.1 Instrumentos de Medida del Viento

Existan varios instrumentos para medir y registrar la dirección y velocidad del viento, en general conocidos como anemómetros y anemógrafos. El anemómetro más utilizado es el rotativo de cazoletas o cubetas, el cual normalmente consta de tres cubetas cónicas o hemisféricas montadas simétricamente sobre un eje vertical de rotación en soportes a igual distancia y perpendiculares al eje vertical.

1.7.2 Medición del Recorrido del Viento

El recorrido del viento es la distancia recorrida por el viento durante un intervalo de tiempo. Se mide en kilómetros. Posee un mecanismo parecido a los contadores kilométricos de los automóviles que permite determinar el recorrido del viento en un intervalo de tiempo dado.

Colombia por estar ubicada en la zona intertropical se ve influenciada por los vientos alisios. El Atlántico, por estar ubicada en el hemisferio norte recibe la influencia de los vientos alisios del noreste, los cuales marcan la pauta en cuanto al patrón de vientos que imperan en el departamento. Las direcciones de donde sopla el viento en este departamento son, generalmente, el norte y el noreste.

Los vientos más intensos en la región se presentan en los primeros meses del año (enero, febrero y marzo), precisamente por la presencia permanente de los alisios. Durante los meses de octubre hasta noviembre se pueden registrar algunos vientos con intensidades apreciables por efecto de la presencia de huracanes en el Caribe.

En el trópico y en Colombia, los vientos locales tienen gran preponderancia en el aporte de humedad, en favorecer los movimientos verticales y en la formación de nubes convectivas, las cuales provocan chubascos o tormentas, particularmente en las tardes; estas pueden estar acompañadas de vientos violentos de corta duración, cuyas velocidades en ocasiones pueden superar los 100 k/h. Pudiendo constituirse en eventos naturales de riesgo para la vida y bienes materiales. El viento con dirección sur que hace presencia en el departamento de Atlántico en los meses de mayo, septiembre y octubre se asocia con perturbaciones atmosféricas y procesos de precipitación.

En la figura 82 se aprecia el comportamiento normal de la velocidad del viento para las estaciones Ernesto Cortissoz, Rafael Núñez y Simón Bolívar. Estos son los únicos datos de vientos normales disponibles para el análisis.

En la figura 83 se detallan los regímenes normales de velocidad del viento de esas tres estaciones, destacándose la similitud en el comportamiento a pesar de las diferencias en la magnitud de la variable. En la estación Ernesto Cortissoz se observan las mayores velocidades, el promedio normal anual es de 3.9 m/s, en Simón Bolívar es de 3.0 m/s y en Rafael Núñez es de 2.6 m/s.

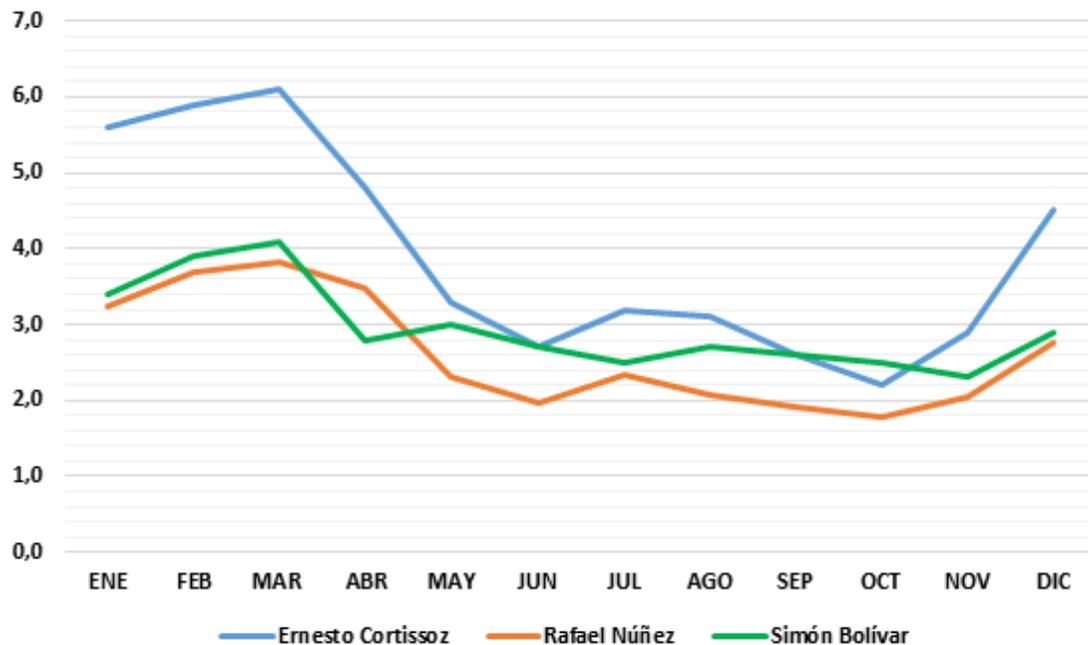
Las mayores velocidades del viento se observan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo en todas las estaciones, los cuales son los meses en que se presentan las precipitaciones más escasas y, por lo general, las temperaturas medias más bajas y los mayores niveles de evaporación. Durante estos meses la zona de confluencia intertropical desaparece de la zona de estudio o migra hacia latitudes más bajas.

De acuerdo al análisis de índices climatológicos durante estos meses se puede hablar de aridez en la zona.

Las velocidades del viento más bajas ocurren en los meses en que las precipitaciones son más abundantes debido a que el transporte vertical de calor y humedad desde la superficie hacia el seno de la atmósfera es más apreciable que los movimientos horizontales. Esto se presenta fundamentalmente por el gran calentamiento de la superficie terrestre debido a mayores temperaturas y a la confluencia de los alisios que marca la presencia de la ZCIT. Generalmente esto ocurre en los meses de mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre. Para estos meses también se presentan las menores tasas de

evaporación debido a la disminución del efecto de arrastre por parte del viento y, lógicamente, al aporte de precipitación. En la imagen 11 se puede comprobar el comportamiento descrito en anteriores líneas.

La dirección predominante del viento en las estaciones de estudio es norte y noreste debido a la influencia de los vientos alisios y la disposición geomorfológica de la costa.



*Figura 82 Comportamiento Normal Velocidad Del Viento (m/s) En Las Estaciones De Estudio.
Fuente: Datos IDEAM. Elaboración del autor*

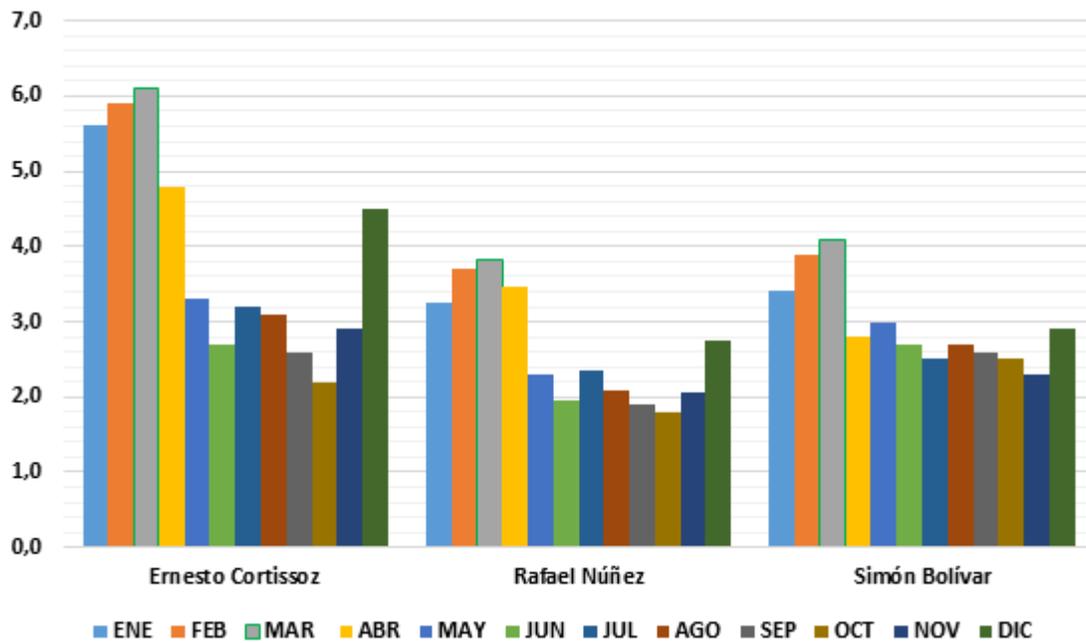


Figura 83. Comportamiento Normal Velocidad Del Viento (m/s) En Las Estaciones De Estudio.

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración del autor

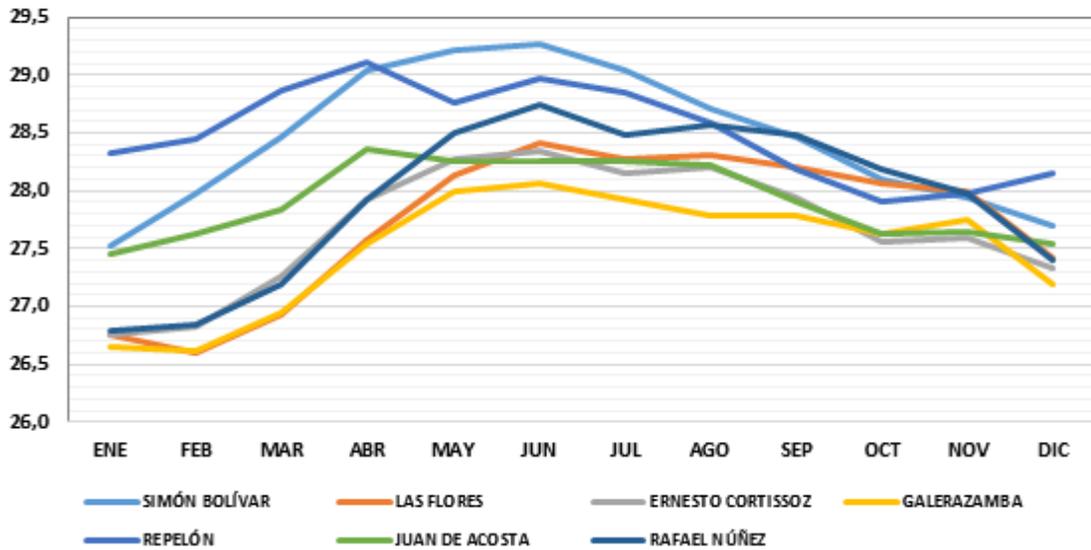
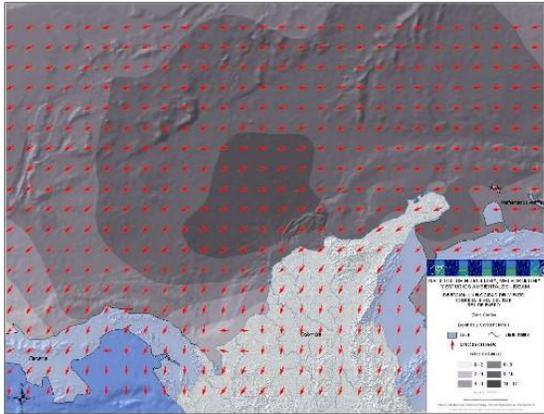
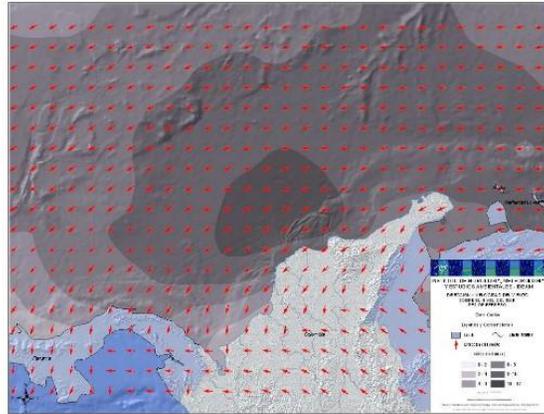


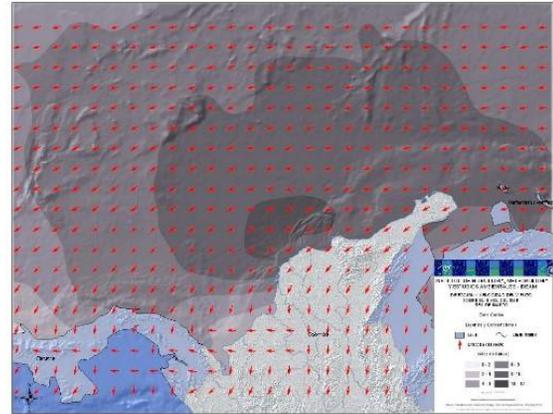
Figura 84. Comportamiento de Temperaturas Medias (°C) En Las Estaciones De Estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores



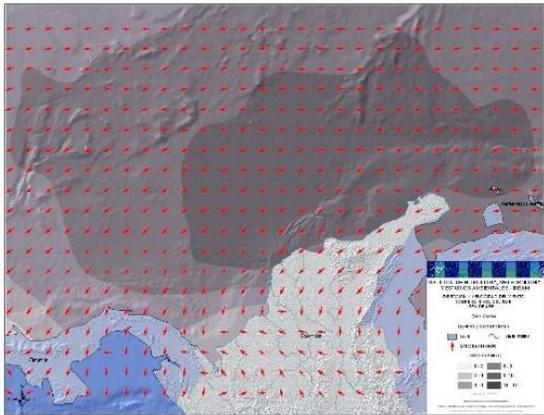
ENERO



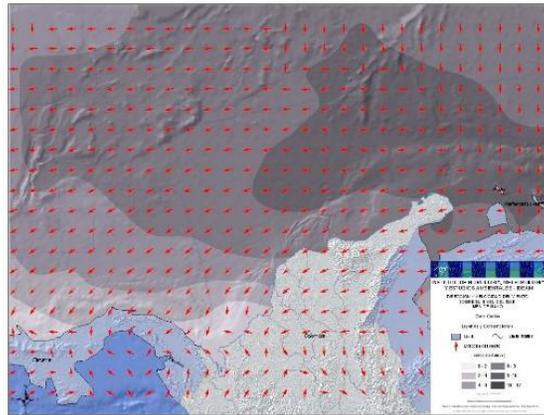
FEBRERO



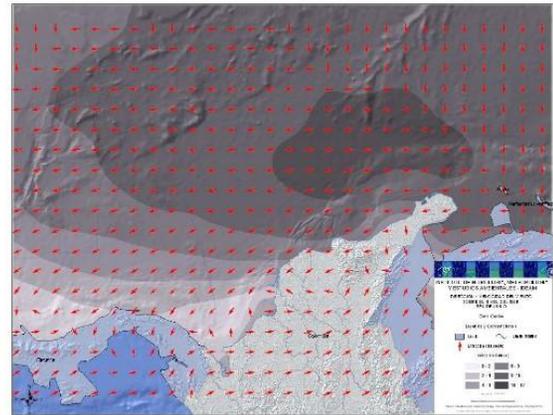
MARZO



ABRIL



MAYO

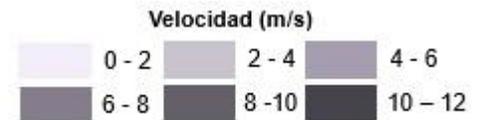


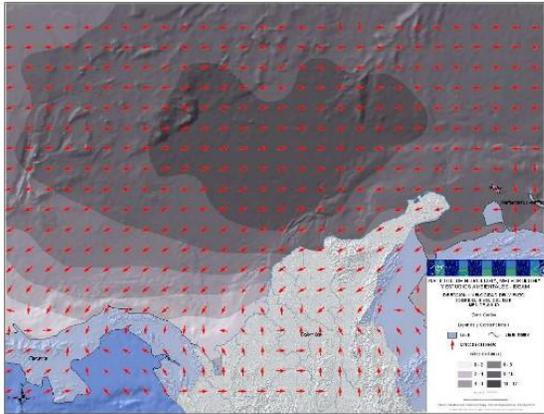
JUNIO

Imagen 11

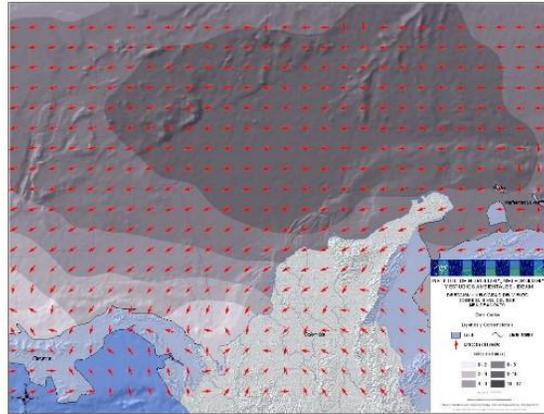
Dirección y velocidad normal mensual del viento (m/s) sobre el mar Caribe

Fuente: IDEAM.

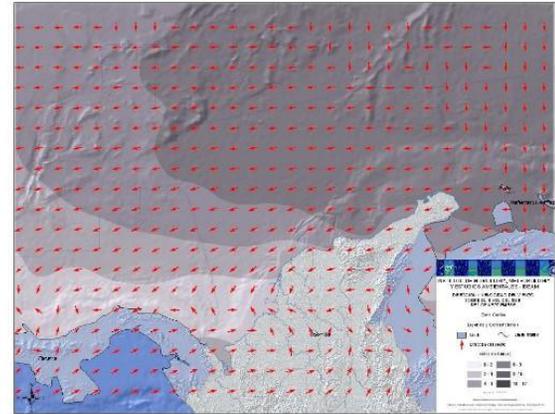




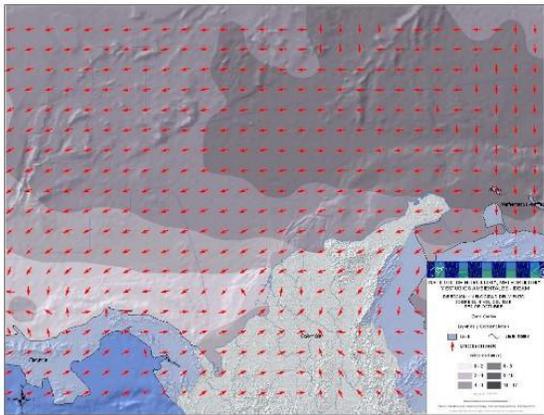
JULIO



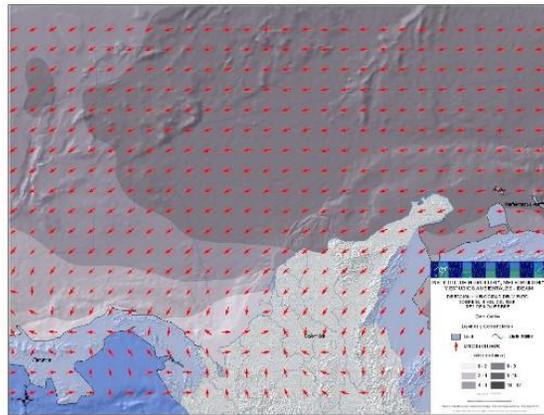
AGOSTO



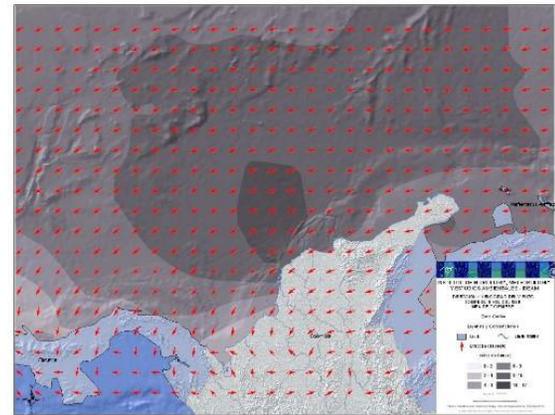
SEPTIEMBRE



OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



2. Capítulo 2. Comportamiento de las variables meteorológicas en el área de estudio durante el período 1986 – 2015.

Los resultados del análisis del comportamiento de las variables meteorológicas durante el período que abarca los 30 años comprendidos entre 1986 y 2015 arroja detalles de gran relevancia que se ajustan en cierta manera al discurso del progresivo calentamiento del planeta, sin llegar a ser una evidencia directa de dicho fenómeno climático.

Se evidencia una tendencia al aumento de la temperatura que viene siendo palpable desde aproximadamente las tres décadas de estudio, acompañada de un aumento progresivo y significativo de la precipitación en todas las estaciones tomadas como referencia. Como complemento a ello, los vientos registrados en algunas de estas presentan una disminución tanto en su recorrido como en la velocidad. Estas tres variables que se consideran las principales de acuerdo a los fines perseguidos, articulan su comportamiento conforme a un patrón de gran escala que afecta a gran parte de la cuenca del Caribe y al planeta en general.

Más allá de los comportamientos evidenciados en los promedios mensuales multianuales de las variables en estudio, llaman la atención las diferencias de magnitud, especialmente en la precipitación y el viento. En todas las estaciones analizadas las temperaturas aumentaron como promedio; es decir, al comparar los promedios mensuales multianuales del período 1986 – 2015 con las normales climatológicas (período 1971 – 2000) se presentan aumentos en las magnitudes de esta variable. De igual manera al observar el comportamiento de la temperatura promedio

anual de todas las estaciones se aprecia un aumento discontinuo con tendencia al alza en toda el área. Este nivel de cambio difiere en cada estación de referencia.

Otras variables como la evaporación y el brillo solar presentan disminución generalizada; es decir, en todas las estaciones en donde se tomaron medidas de ambas, estas muestran el mismo comportamiento y la misma tendencia a disminuir, algo que va acorde con el aumento de la precipitación y la disminución de los vientos.

El brillo solar depende en gran medida del tipo y la cantidad de nubosidad que puedan presentarse en un área determinada, a mayor cantidad de cielo cubierto por nubes, menor será la cantidad de horas de brillo solar que pueda registrar el instrumento de medida (Heliógrafo), por el contrario, si la cantidad de nubes disminuye, el registro de horas de brillo solar aumenta. Como el análisis de datos muestra un incremento de la precipitación, esto supone también un incremento de la nubosidad convectiva, aquella que propicia eventos pluviométricos importantes. Por lo tanto, ese incremento de la nubosidad, anclado al incremento de la precipitación en el área de estudio, ha generado una disminución de la cantidad de horas de brillo solar sobre ésta.

La disminución de la evaporación tiene que ver en gran parte con el efecto combinado del aumento de la precipitación y la disminución del recorrido y la velocidad del viento. El viento es un actor importante en la determinación de los niveles de evaporación debido al efecto de arrastre producido por este sobre la superficie evaporante. A mayor velocidad y recorrido del viento mayor será la cantidad de agua evaporada por efecto de esta variable. De otro lado, a mayores niveles y frecuencias de precipitaciones, dado por sentado que también ha habido un incremento de la nubosidad y menores niveles de radiación directa, menores serán las cantidades

de milímetros evaporados. Esta es la situación que se presenta en el análisis de datos meteorológicos del período 1986 – 2015 en el área de estudio.

La humedad relativa presenta un comportamiento variado en los diferentes puntos de referencia producto de la relación temperaturas, precipitación y viento. En algunas estaciones la incidencia del aumento de la precipitación marca la diferencia y contribuye a elevar los promedios de este parámetro, tal es el caso de Ernesto Cortissoz, Rafael Núñez, Simón Bolívar y Repelón. En otras, el aumento de la temperatura se hace más significativo y genera una disminución, tal como ocurre en Galerazamba y Las Flores. En la estación de Juan de Acosta se presenta una disminución de los promedios de humedad relativa a pesar del gran aumento de precipitaciones en cantidad y frecuencia experimentado respecto a los promedios normales; sin embargo, al parecer el aumento generalizado de las temperaturas medias evidenciado en los promedios mensuales tiene mayor incidencia en el comportamiento de la humedad.

2.1 Temperaturas

Los parámetros medidos de esta variable relativos al presente estudio son temperatura media mensual, temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual. Se realiza una comparación con las normales climatológicas relativas a cada parámetro y se hace un análisis de anomalías respecto a los valores anuales de temperaturas medias. Con esto se pretende determinar si las temperaturas han aumentado o disminuido en el área de estudio, su tendencia y cuáles son los factores que pueden estar incidiendo en dicho comportamiento.

2.1.1 Temperaturas Medias

Los promedios mensuales multianuales obtenidos para el período 1986 – 2015 correspondientes a la temperatura media en las estaciones de estudio muestran claramente un aumento en la magnitud de esta variable al compararse con las normales climatológicas. Este comportamiento se presenta absolutamente en todos los puntos de referencia sin que sea completamente uniforme. El aumento más significativo se presenta en la estación Galerazamba con 0.5°C por encima de la normal climatológica. De una temperatura media de 27°C que se registra como promedio climático representativo se pasa, en el período de estudio, a 27.5°C . Este último valor representa un aumento generalizado en todos los promedios multianuales mensuales, siendo mayores los aumentos de los meses de enero, abril y diciembre (0.7°C para todos) e igual de significativos los de febrero y marzo (0.6°C para todos).

Seguidamente, las estaciones Rafael Núñez, Simón Bolívar, Juan de Acosta y Ernesto Cortissoz presentan un incremento de 0.3°C respecto al promedio normal anual de esta variable, siendo el factor más apreciable el incremento generalizado en todos los meses para las cuatro estaciones meteorológicas. La estación de Las Flores presenta un aumento de 0.2°C en el promedio anual de la variable siendo los meses de diciembre y enero en donde se presentan las mayores diferencias (0.3°C); en los meses restantes el incremento tiende a ser bastante uniforme, oscilando entre 0.1°C y 0.2°C .

La estación de Repelón, al igual que Las Flores, presenta un incremento de 0.2°C en el promedio de temperatura media; sin embargo, en el análisis mes a mes se detalla una mayor variabilidad en las magnitudes. Incluso en el mes de febrero no existe diferencia, es decir, el

promedio normal resulta ser el mismo que la media multianual del período considerado para este estudio. En Repelón los meses en donde se presenta mayor variación respecto al valor normal son junio y octubre con un incremento de 0.4°C . Durante noviembre, diciembre y enero se presentan incrementos de 0.3°C .

Estos incrementos observados en las temperaturas medias en las estaciones de estudio se articulan con el comportamiento de las demás variables estudiadas revelando un patrón generalizado en toda el área de estudio. La figura 84 muestra el comportamiento de las temperaturas medias en las estaciones para el período de análisis y en la tabla 10 se condensan los valores medios mensuales correspondientes a esta variable para cada estación meteorológica analizada.

Los mayores valores de temperaturas medias durante el período analizado se presentan en las estaciones de Repelón y Simón Bolívar (28.5°C) a pesar de que los incrementos de la variable respecto a los valores normales no fueron los de mayor magnitud en dichas estaciones. Cabe resaltar que la variabilidad de las temperaturas durante el año es mayor en la estación Simón Bolívar que en la de Repelón. En la primera la amplitud media durante el año es de 1.7°C , mientras que en la segunda es de 1.2°C . De hecho, la estación Simón Bolívar es la tercera de las estaciones de estudio que presenta mayor variabilidad.

La menor temperatura media se presenta en Galerazamba con un valor de 27.5°C . En las estaciones Ernesto Cortissoz y Las Flores el promedio del período analizado es de 27.7°C para ambas. Es destacable el hecho de que Las Flores es la estación en la que se aprecia la segunda mayor amplitud de temperaturas anuales y por ende la segunda mayor variabilidad con una

diferencia anual de 1.8°C . Por otro lado, hay que resaltar que Galerazamba a pesar de ser la estación con menores temperaturas medias, es la de mayor incremento respecto a los valores normales (0.5°C).

En las estaciones de Juan de Acosta y Rafael Núñez se presentan temperaturas medias del orden de 27.9°C para ambas. Sin embargo, la estación Rafael Núñez la que mayor amplitud de temperaturas medias presenta y por lo tanto, en la de mayor variabilidad de este parámetro con una diferencia anual media de 2.0°C . Juan de Acosta es la estación en donde la temperatura media sufre menos variaciones con una amplitud de 0.9°C .

Si se echa un vistazo al comportamiento anual de la temperatura media y sus anomalías respecto al promedio normal en las distintas estaciones de estudio se puede constatar que existe una tendencia al incremento que se configura, por lo general, desde aproximadamente dos décadas atrás con excepción de las estaciones Las Flores y Galerazamba en donde a pesar de que las anomalías son sustancialmente positivas, en los últimos años han estado disminuyendo. La tendencia de dichas anomalías tiende también a ser positiva en la mayoría de Las estaciones de estudio, excepto en las mencionadas, lo que se prevé a nivel general es que el comportamiento siga tendiendo a que la magnitud de la variable en términos de promedio aumente. Cabe aclarar que las anomalías dadas a conocer en las siguientes figuras se obtienen respecto al promedio anual normalizado de la variable.

Al promediar los valores mensuales de todas las estaciones se obtienen valores representativos para el área tal como de destaca en la tabla 11 y la figura 84.

En las figuras enumeradas del 85 al 91 se destacan los comportamientos de las temperaturas medias es las estaciones de estudio respecto a las normales climatológicas, las anomalías anuales respecto a la normal climatológica se pueden observar en las figuras enumeradas del 92 al 98.

Existen algunos vacíos en las anomalías por motivos de faltantes de datos.

Tabla 11.

Valores medios mensuales de temperaturas medias en estaciones de estudio 1986 – 2015

ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
MESES	SIMÓN BOLÍVAR	LAS FLORES	ERNESTO CORTISSOZ	GALERAZAMBA	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	27,5	26,8	26,7	26,7	28,3	27,5	26,8
FEB	28,0	26,6	26,8	26,6	28,5	27,6	26,8
MAR	28,5	26,9	27,3	26,9	28,9	27,8	27,2
ABR	29,0	27,6	27,9	27,5	29,1	28,4	27,9
MAY	29,2	28,1	28,3	28,0	28,8	28,3	28,5
JUN	29,3	28,4	28,3	28,1	29,0	28,2	28,8
JUL	29,0	28,3	28,2	27,9	28,9	28,3	28,5
AGO	28,7	28,3	28,2	27,8	28,6	28,2	28,6
SEP	28,5	28,2	27,9	27,8	28,2	27,9	28,5
OCT	28,1	28,1	27,6	27,6	27,9	27,6	28,2
NOV	27,9	28,0	27,6	27,7	28,0	27,6	28,0
DIC	27,7	27,4	27,3	27,2	28,2	27,5	27,4
VALOR ANUAL	28,5	27,7	27,7	27,5	28,5	27,9	27,9

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

Figuras 85 a 91.

Comportamientos comparativos de temperaturas medias en las estaciones de estudio.

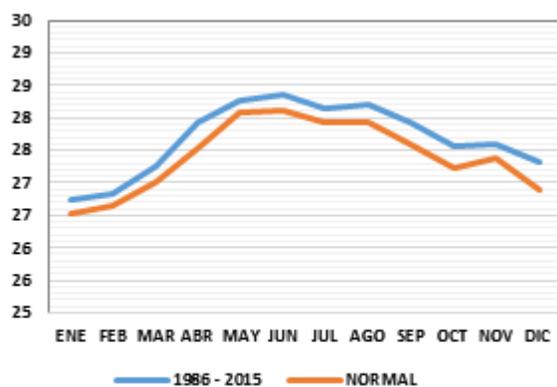


Figura 85. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

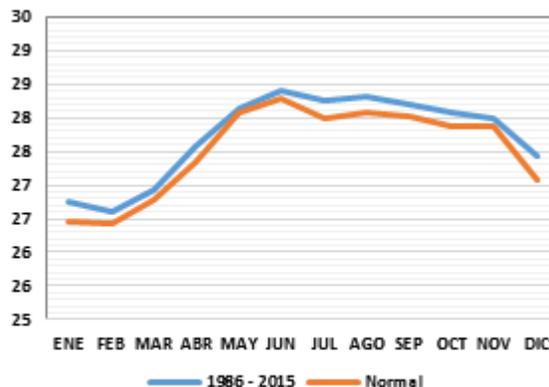


Figura 86. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los autores

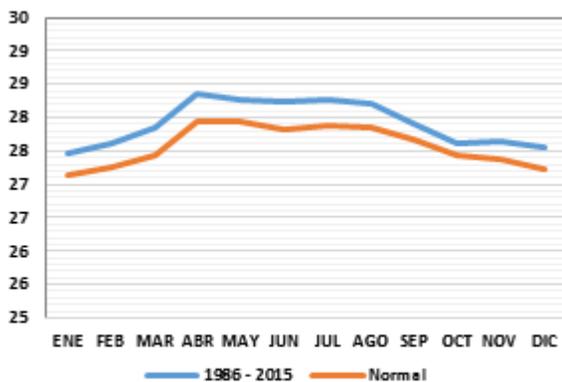


Figura 87. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Juande Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

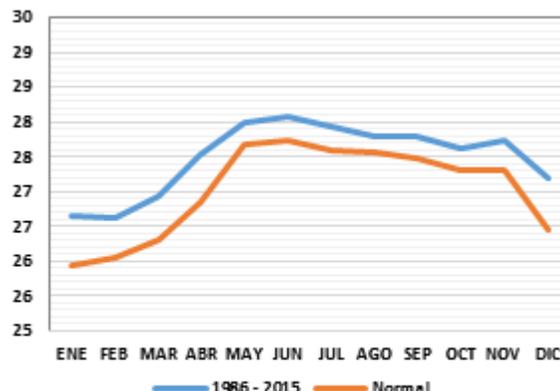


Figura 88. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Galeazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los autores

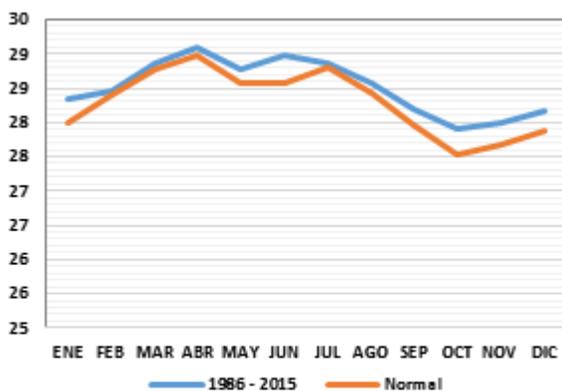


Figura 89. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Replón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

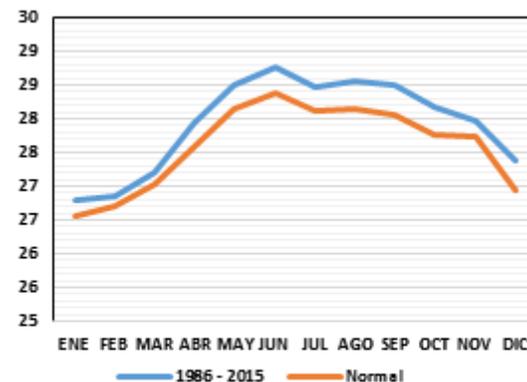


Figura 90. Comportamiento Comparativo T. Media (°C) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

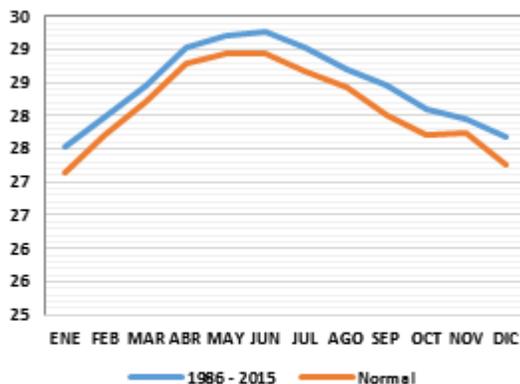


Figura 91. Comportamiento Comparativo T. Medias (°C) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

Figuras 92 a 98.

Anomalías anuales de temperaturas medias en algunas de las estaciones de estudio.

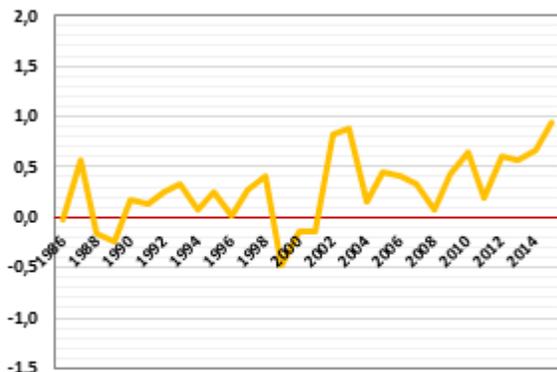


Figura 92. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

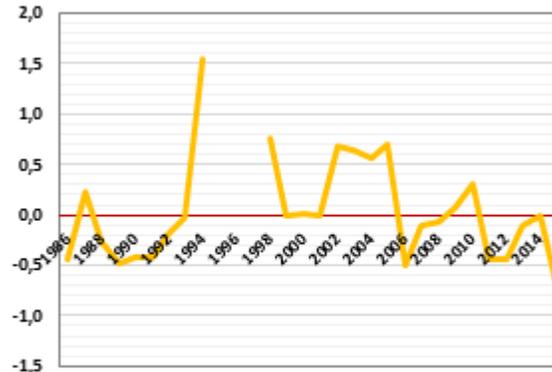


Figura 93. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

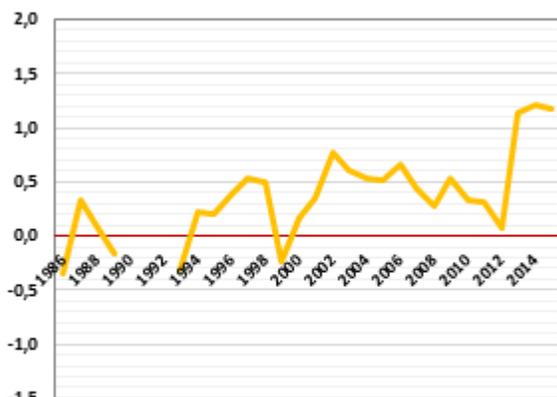


Figura 94. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Juan de Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

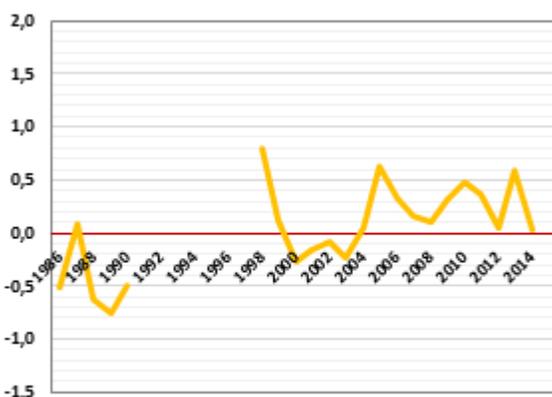


Figura 95. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

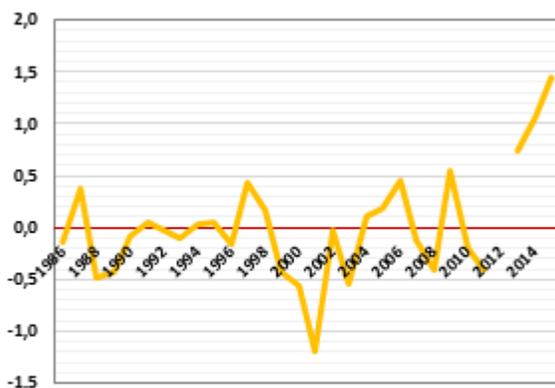


Figura 96. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

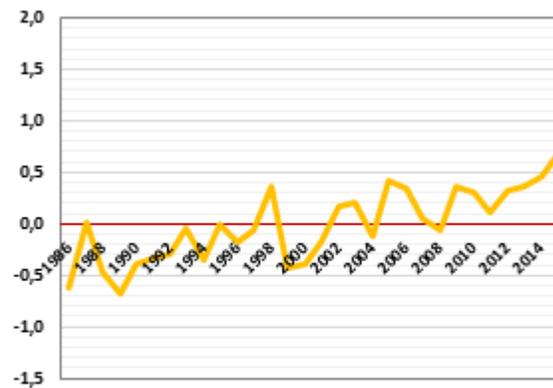


Figura 97. Anomalías De temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

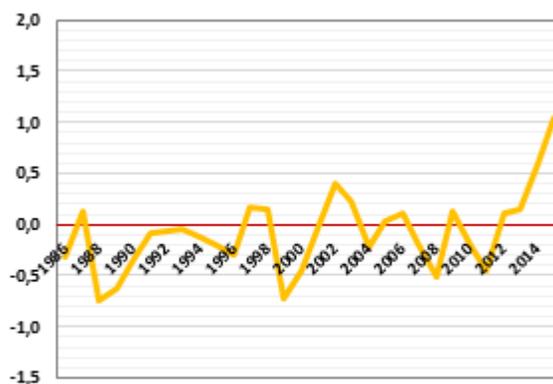


Figura 98. Anomalías De Temperaturas Medias (°C) Anuales Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

2.1.2 Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas presentan un comportamiento similar al de las temperaturas medias en cuanto a que en todas las estaciones los promedios multianuales de esta variable durante el período de estudio superan al valor normal de cada estación. Sin embargo, hay una diferencia sustancial debido a que la magnitud de la separación entre la media normal y a del período de análisis es más significativa. Este es un patrón que se aprecia en toda el área de estudio.

La estación en la que se presenta la mayor variación respecto a la normal climatológica es Ernesto Cortissoz, cuya diferencia es de 2.8°C , una diferencia muy significativa y un poco alarmante. Más aún cuando se hace un análisis mensual y se observa que hay meses en los que esta diferencia está en el orden de tres grados (3.0°C) o más, tal es el caso de los meses de marzo, abril, agosto, septiembre y octubre; especialmente septiembre, en donde la diferencia respecto al valor normal para ese mes es de 3.4°C . Este comportamiento de la temperatura máxima es muy dicente cuando lo interpretamos relacionándolo con los incrementos de precipitaciones que se han evidenciado en esta estación meteorológica, puesto que a mayor temperatura se propician mayores flujos ascendentes de aire y mayor evaporación, lo que posibilita una mayor generación de nubes de gran desarrollo vertical y por ende en desencadenamiento de precipitaciones más abundantes e incluso, con mayor frecuencia.

Seguidamente se aprecia una variación media anual de 2.7°C en Repelón, siendo en los meses de septiembre y octubre en donde se aprecian variaciones más significativas, e incluso, las más significativas de toda el área de estudio, pues en septiembre la variación es de 3.7°C y en octubre de 3.6°C , magnitudes muy elevadas que explican el por qué estos dos meses son los más húmedos en toda la zona de estudio.

Al comparar el comportamiento de esta variable en las dos estaciones anteriores, se puede evidenciar que en Repelón la variabilidad y, por ende la amplitud, de las diferencias mensuales respecto a los valores normales (2.3°C) es mayor que en la estación Ernesto Cortissoz (1.8°C). Es

decir, existen más fluctuaciones en las diferencias de temperatura máxima anualmente en Repelón que en Soledad, Atlántico. Además, hay que tener en cuenta que en orden de magnitud, la temperatura máxima anual hallada para el período de estudio es mayor en Repelón (37.2°C) que en la estación Ernesto Cortissoz (35.2°C). Ambos valores muy significativos, sobre todo al relacionarlos con otras variables y sus comportamientos.

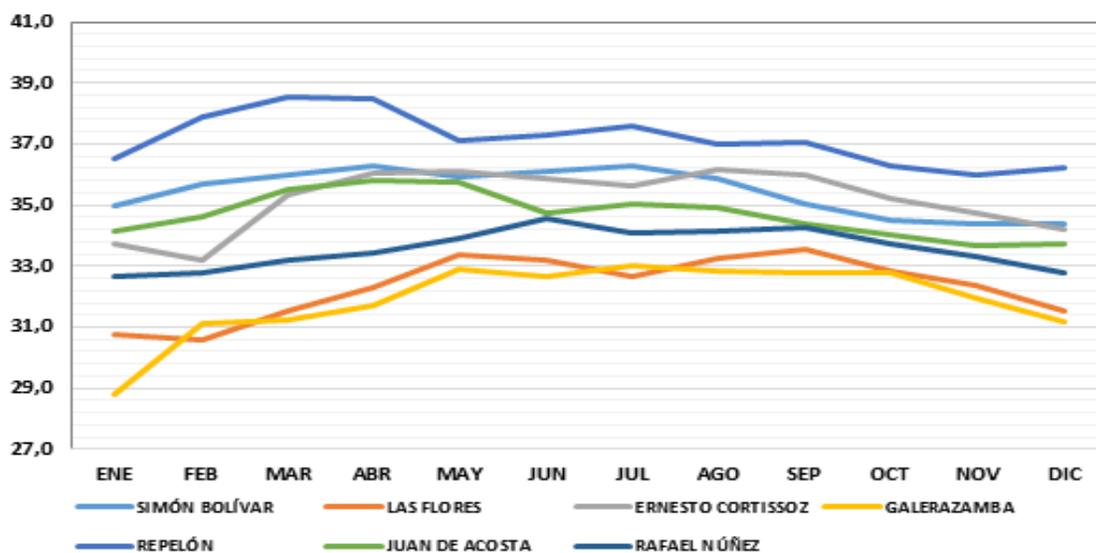
Seguidamente se encuentra la estación Rafael Núñez, cuya diferencia media anual respecto a los valores normales es de 2.5°C . En esta estación las diferencias mensuales son menos acusadas que en las anteriores. Los valores de máxima diferencia se encuentran en los meses de junio y septiembre; en estos, dicha diferencia es de 3.0°C . La amplitud anual de temperaturas del período analizado es, después de la hallada en la estación Las Flores, la más baja del área de estudio (0.9°C). Las estaciones de Juan de Acosta, Las Flores y Galerazamba presentan diferencias anuales respecto a los valores normales en el orden de los 2.0°C . La estación con menor diferencia anual en lo relativo a la variable en cuestión es Simón Bolívar con solo 1.0°C .

Al analizar las amplitudes anuales de temperaturas máximas durante el período de estudio, se observa que las de mayor amplitud son las estaciones de Galerazamba y Repelón, ambas con 2.3°C . La de menor amplitud es, como se había mencionado, la estación Las Flores con 0.8°C .

Tabla 12.*Valores medios mensuales de temperaturas máximas en estaciones de estudio 1986 - 2015*

MESES	ESTACIÓN METEOROLÓGICA						
	SIMÓN BOLÍVAR	LAS FLORES	ERNESTO CORTISOZ	GALERAZAMBA	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	35,0	30,8	33,8	28,8	36,5	34,2	32,7
FEB	35,7	30,6	33,2	31,1	37,9	34,6	32,8
MAR	36,0	31,5	35,3	31,2	38,6	35,5	33,2
ABR	36,3	32,3	36,0	31,7	38,5	35,8	33,4
MAY	35,9	33,4	36,1	32,9	37,1	35,7	33,9
JUN	36,1	33,2	35,9	32,7	37,3	34,8	34,6
JUL	36,3	32,7	35,6	33,0	37,6	35,1	34,1
AGO	35,9	33,3	36,2	32,9	37,0	34,9	34,1
SEP	35,1	33,6	36,0	32,8	37,1	34,4	34,3
OCT	34,5	32,8	35,2	32,8	36,3	34,0	33,7
NOV	34,4	32,3	34,8	32,0	36,0	33,7	33,3
DIC	34,4	31,5	34,2	31,2	36,2	33,7	32,8
VALOR ANUAL	35,5	32,3	35,2	31,9	37,2	34,7	33,6

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

*Figura 99. Comportamiento temperaturas máximas (°C) en las estaciones de estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores.*

Figuras 100 a 106.

Comportamientos comparativos de temperaturas máximas medias en las estaciones de estudio.

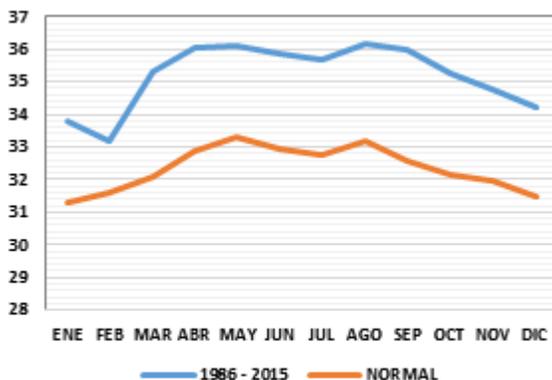


Figura 100. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

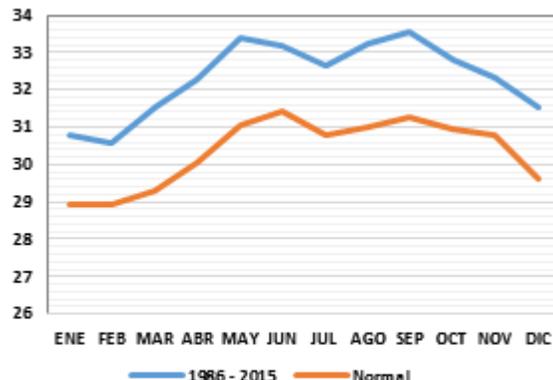


Figura 101. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

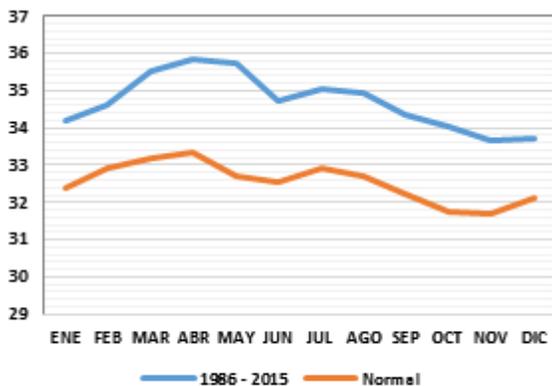


Figura 102. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Juan de Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

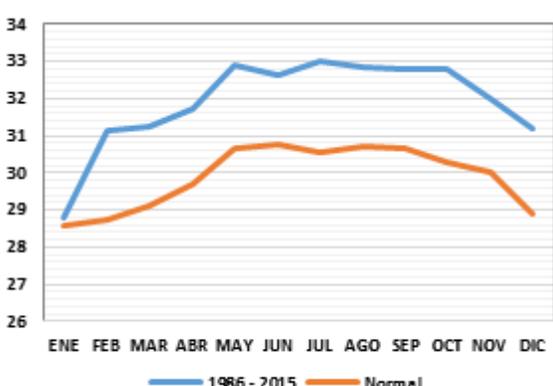


Figura 103. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

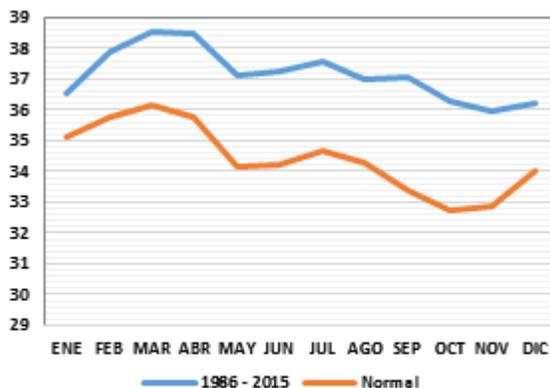


Figura 104. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

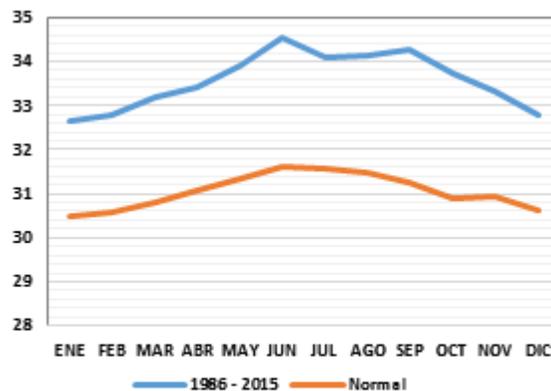


Figura 105. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

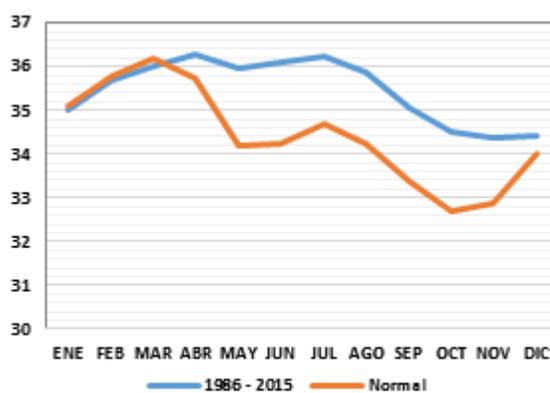


Figura 106. Comportamiento Comparativo T. Máximas (°C) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

2.1.3 Temperaturas mínimas

Al analizar el comportamiento de las temperaturas mínimas mensuales en las estaciones del área de estudio se aprecia que en la gran mayoría de estas la temperatura mínima media anual disminuyó respecto a los valores normales, solo en la estación Rafael Núñez hubo un aumento leve de 0.3°C. El valor máximo de temperaturas medias anuales durante el período de estudio se

observa en la Estación Rafael Núñez con un valor de 24.3°C. Los menores valores se observan en las estaciones Repelón y Juan de Acosta con un valor similar de 20.5°C.

La mayor disminución se presenta en la estación Las Flores, aquí la temperatura mínima disminuyó 2.0°C y es un comportamiento que se aprecia durante todos los meses en promedio presentando una amplitud anual de 1.3°C. Seguidamente se encuentran las estaciones Ernesto Cortissoz y Repelón en las que la diferencia media anual respecto a los valores normales se sitúa para ambas en 1.9°C con una variabilidad mensual mayor en la estación Ernesto Cortissoz que en Repelón. En la primera la amplitud anual es de 1.5°C, mientras que en la segunda es de 0.7°C.

La estación Simón Bolívar presenta una disminución en la variable de 1.5°C, comportamiento que se aprecia durante todos los meses, especialmente en el mes de diciembre que es donde se presenta la mayor disminución respecto a los valores normales (2.3°C). Las estaciones de Galerazamba y Juan de Acosta presentan diferencias similares del orden de 1.4°C, teniendo Galerazamba una amplitud anual mayor que la de Juan de Acosta durante el período de estudio. En la primera la amplitud es de 1.4°C, mientras que en la segunda es de 0.8°C; es decir, se presenta una mayor variabilidad mensual respecto a las diferencias con los valores normales, en Galerazamba que en Juan De Acosta.

Como se había mencionado en líneas anteriores, la única estación que presenta un aumento medio anual de las temperaturas mínimas respecto a los valores normales es Rafael Núñez de Cartagena, que es a la vez la de menor amplitud anual con solo 0.3°C.

En la tabla número 13 y en las figuras numeradas del 107 al 114 se aprecian los valores, el comportamiento y las diferencias relativas de las temperaturas mínimas del período analizado respecto a los valores normales del área de estudio.

Tabla 13.

Valores medios mensuales de temperaturas mínimas en estaciones de estudio 1986 – 2015

ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
MESES	SIMÓN BOLÍVAR	LAS FLORES	ERNESTO CORTISSOZ	GALERAZAMBA	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	20,6	23,8	21,5	21,9	20,5	20,5	22,5
FEB	21,4	23,6	21,9	21,9	21,0	21,1	22,8
MAR	22,3	24,1	23,0	22,8	21,4	21,8	23,3
ABR	23,5	24,1	23,6	23,8	22,6	23,1	24,3
MAY	23,6	23,5	22,4	23,7	22,7	22,4	23,6
JUN	23,4	23,8	22,8	23,2	22,8	22,6	23,5
JUL	23,0	23,9	22,6	23,2	22,4	22,4	23,5
AGO	22,9	23,4	22,5	22,8	22,4	22,3	23,5
SEP	22,7	23,0	21,8	22,6	22,4	22,1	23,1
OCT	22,8	23,3	22,1	22,7	22,3	21,8	22,9
NOV	22,3	23,9	21,7	23,0	22,4	21,8	23,5
DIC	21,0	23,9	21,8	22,6	21,2	21,0	23,1
VALOR ANUAL	22,5	23,7	22,3	22,9	22,0	21,9	23,3

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración de los autores

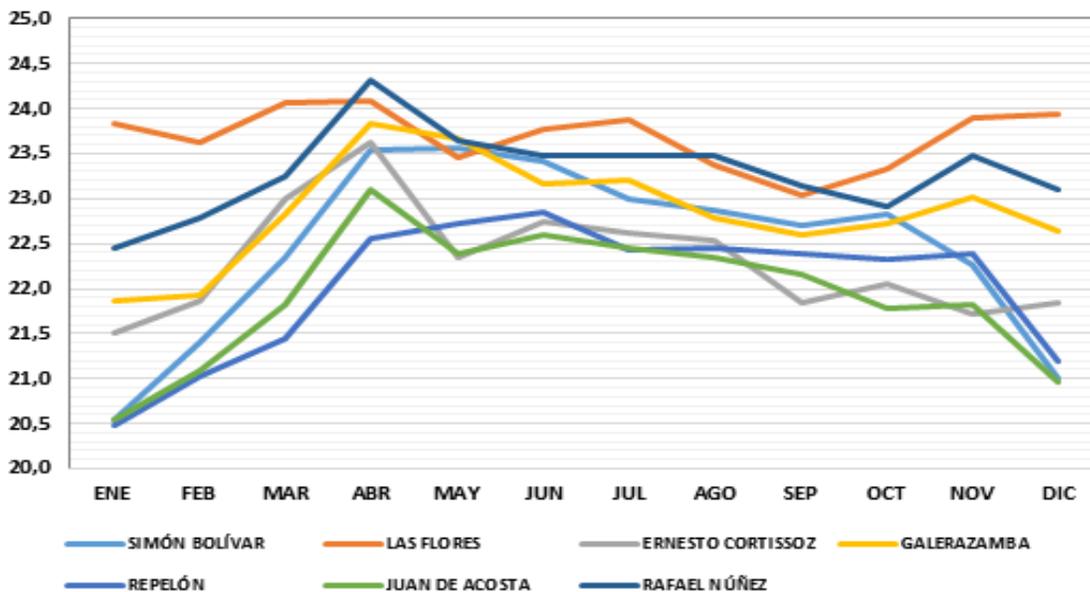


Figura 107. Comportamiento temperaturas mínimas (°C) estaciones de estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores.

Figuras 108 a 114.

Comportamientos comparativos de temperaturas mínimas medias en las estaciones de estudio.

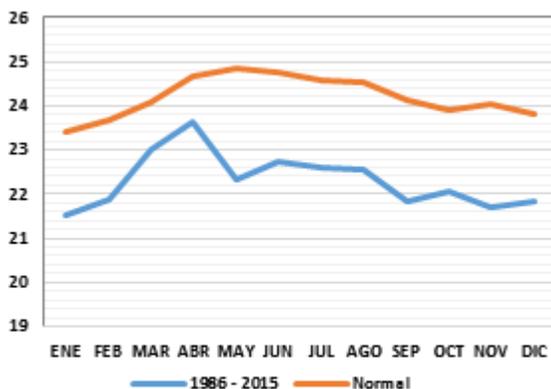


Figura 108. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

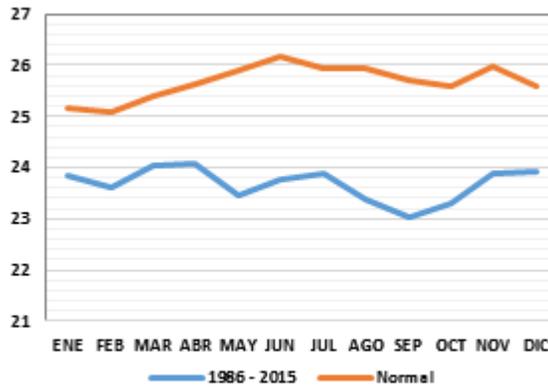


Figura 109. Comportamiento Comparativo T. Mínimas Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

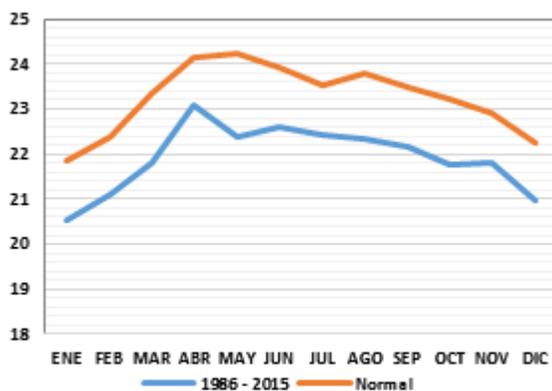


Figura 110. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

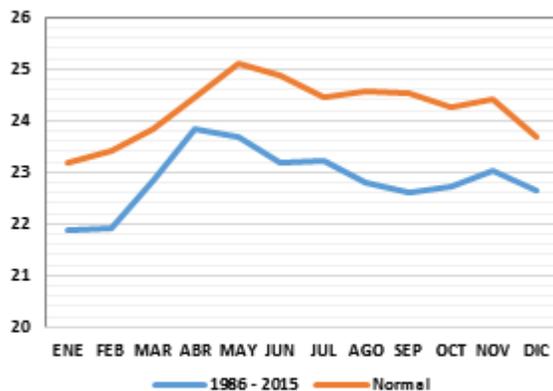


Figura 111. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

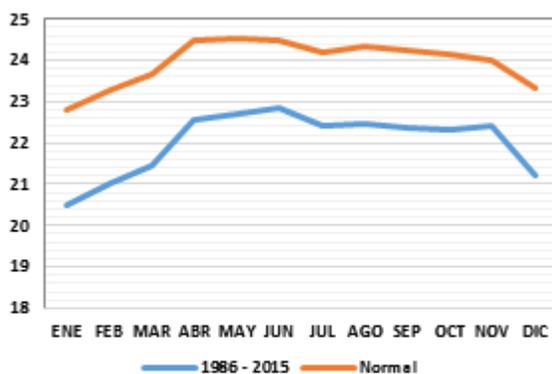


Figura 112. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

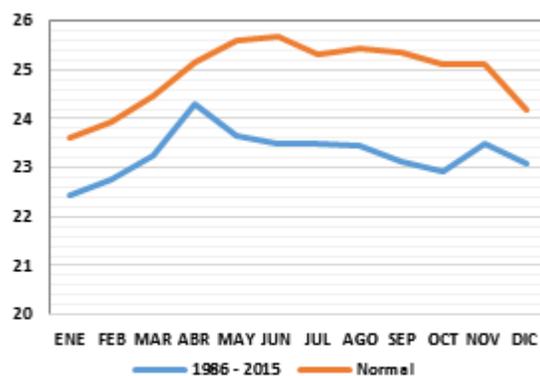


Figura 113. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

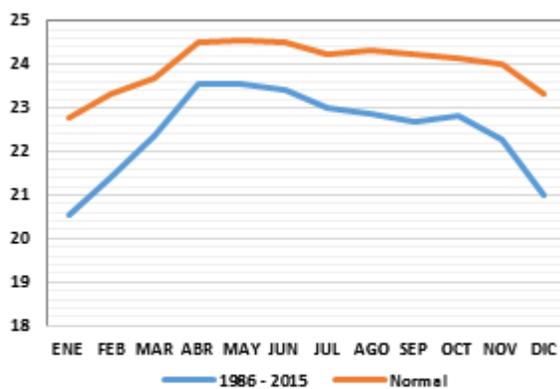


Figura 114. Comportamiento Comparativo T. Mínimas (°C) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

2.2 Precipitaciones

Al igual que la temperatura media la precipitación demuestra un comportamiento amplia y claramente marcado. En todas las estaciones estudiadas, sin excepción, los promedios multianuales de la serie de tiempo 1986 – 2015 son superiores a los promedios normales, algo que guarda estrecha relación con el aumento de las temperaturas. Los valores anuales de la variable también experimentan una tendencia aumentativa en todos los puntos de referencia. Este comportamiento va acompañado del aumento de la frecuencia de ocurrencia en la mayoría de las estaciones, solo Repelón y Juan de Acosta presentan disminuciones del promedio del número de días año con precipitaciones.

Este aumento de precipitaciones evidenciado a través del análisis de datos se ha visto favorecido por el aumento de las temperaturas debido a la mayor capacidad de retención de vapor de agua que este comportamiento propicia en el aire. También debido al mayor desarrollo de flujos convectivos desde superficie hacia la atmosfera y consecuentemente la generación de nubes de desarrollo vertical desde donde, por diferentes procesos físicos, caen importantes cantidades de precipitación. Sin embargo, hay que destacar que la precipitación en el área de estudio en la última década se ha visto favorecida por la incidencia de movimientos y procesos convectivos de gran escala, tal es el caso de el paso de ondas del este que circulan sobre este territorio constantemente, la migración de la zona de confluencia intertropical y la formación y duración del ciclo niño – niña como el que ocurrió entre los años 2010 y 2011. Por lo tanto, sin descartar la importancia que han tenido los aumentos de temperaturas en el comportamiento de la precipitación, estos últimos factores han sido bastante determinantes.

Los mayores incrementos de precipitaciones se observan en las estaciones de Juan de Acosta y Las Flores con 159 mm y 158 mm por encima del promedio normal anual respectivamente. En el caso de Las Flores se pasa de una media normal de 642 mm a 801 mm, mientras que en Juan de Acosta se pasa de 909 mm como normal climatológica a 1067 mm durante el período de análisis. En el mismo orden se puede apreciar que en la estación Rafael Núñez de Cartagena el incremento de la precipitación es de 110 mm, pasando de 1008 a 1119 mm.

En Galerazamba y Ernesto Cortissoz los incrementos fueron 88 mm y 87 mm respectivamente. En Galerazamba se pasó de 810 mm a 898 mm mientras que en la estación Ernesto Cortissoz se pasó de 822 mm a 908 mm. En las Estaciones Simón Bolívar de Santa Marta y Repelón fue donde se presentaron menores incrementos en los promedios comparativos de precipitaciones. En Simón Bolívar el incremento fue de 57 mm y en Repelón fue de 38 mm. En la primera, se pasa de un promedio normal anual de 501 mm a 557 mm durante el período analizado, mientras que en la segunda se pasa de 867 mm a 906 mm.

Los mayores niveles de precipitaciones se observan en las estaciones Rafael Núñez y Juan de Acosta con cantidades de 1119 mm y 1067 mm respectivamente. La cantidad menor se observa en la Estación Simón Bolívar en donde el promedio de la serie 1986 – 2015 es de 557 mm, esto debido al papel que juega la ubicación de Santa Marta respecto a la Sierra Nevada del mismo nombre. Por encontrarse hacia sotavento de esta área montañosa los niveles de precipitaciones son bajos en comparación con otras estaciones. A este fenómeno se le conoce como sombra pluviométrica. En cuanto a la frecuencia no hay grandes diferencias comparativamente hablando, se podría considerar en términos generales que la frecuencia sigue siendo la misma. Sin embargo, cuando se va al detalle se puede observar que el mayor incremento en el número de

días con precipitaciones se encuentra en la estación Rafael Núñez, en donde se el promedio de la serie analizada supera al normal en 7 días. En la estación Ernesto Cortissoz ese incremento es de 6 días y en Simón Bolívar es de 5. En Galerazamba el incremento es de 1 día. En Repelón y Juan de Acosta se presentaron disminuciones en la frecuencia en el orden de 3 y 4 días respectivamente.

La estación en donde precipita con mayor frecuencia es Rafael Núñez con 102 días de precipitaciones al año en promedio, seguido de Repelón con 94 días, Juan de Acosta con 86, Ernesto Cortissoz con 83, Simón Bolívar con 81, Galerazamba con 74 y Las Flores con 59.

A causa del comportamiento descrito los regímenes de precipitaciones característicos de cada punto de referencia han tenido algunas leves modificaciones, las cuales empiezan a configurar generalizadamente un régimen modal con un máximo en el mes de octubre con aumentos y disminuciones casi uniformes antes y después de este.

Después de octubre, los meses más lluviosos del área son septiembre y noviembre. La precipitación por lo general se concentra entre los meses de mayo a noviembre tanto por los niveles registrados como por sus frecuencias (días con precipitaciones al año). En la figura 115 se puede apreciar el comportamiento de la variable en las estaciones en estudio.

En todas las estaciones se presenta una tendencia al aumento en las cantidades anuales. Las anomalías respecto al promedio normal por lo general son positivas durante la última década teniendo un máximo entre los años 2010 y 2011 debido a la influencia de un episodio frío del ENOS Oscilación del sur que propició la generación de sistemas convectivos de mesoescala y el tránsito de perturbaciones atmosféricas sobre territorio colombiano que produjeron

precipitaciones muy superiores a los promedios históricos en prácticamente todo el país. Este comportamiento anual, evidenciado especialmente a partir del comienzo de la década del 2000, presagia que a futuro los niveles continúen aumentando debido a factores como el aumento progresivo de las temperaturas en la región y la disminución generalizada de la velocidad y el recorrido de los vientos.

A continuación, en las tablas 14 y 15 se pueden observar los valores obtenidos del análisis de la serie de tiempo reseñada para el estudio. En las figuras numeradas desde el 115 hasta el 130 se aprecian los comportamientos comparativos de la variable tanto en cantidad como en frecuencia. En las figuras numeradas desde el 131 al 137 se aprecian las anomalías de los niveles de precipitaciones en las estaciones de estudio.

Tabla 14.

Promedios de precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio durante el período 1986 – 2015

MESES	ESTACIONES METEOROLÓGICAS						
	SIMÓN BOLÍVAR	LAS FLORES	ERNESTO CORTISSOZ	GALERAZAMBA	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	2.3	0.8	1.4	0.3	4.4	1.0	0.6
FEB	1.2	1.3	1.7	0.2	6.0	0.5	0.3
MAR	2.2	1.8	1.5	4.2	21.8	2.3	2.2
ABR	13.0	9.1	26.3	13.4	50.2	44.0	20.7
MAY	52.1	103.6	118.4	70.6	113.1	94.3	127.4
JUN	58.0	71.6	83.7	93.4	104.4	129.8	92.8
JUL	60.1	53.5	83.8	91.3	89.5	112.0	118.3
AGO	65.6	92.1	113.9	129.0	102.2	139.2	130.8
SEP	91.7	158.2	164.4	132.9	111.7	163.9	155.9
OCT	123.1	167.7	170.1	203.5	158.0	197.2	246.1
NOV	75.7	109.6	108.5	137.8	119.6	144.5	169.7
DIC	12.5	32.2	34.8	21.3	24.8	37.8	54.1
VALOR ANUAL	557.5	801.4	908.5	897.9	905.6	1066.7	1118.9

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración del autor

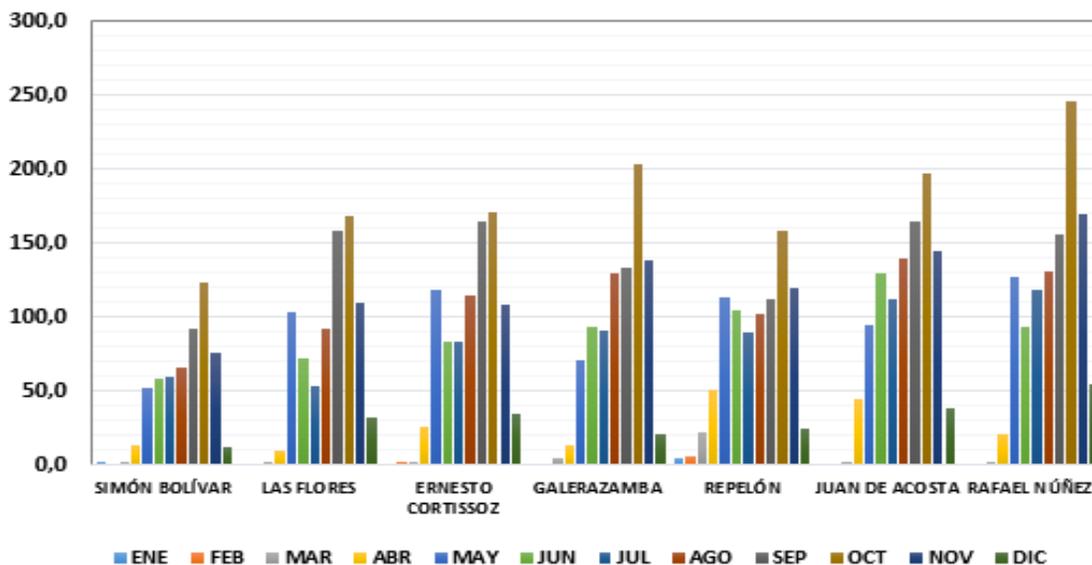


Figura 115. Comportamiento precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores

Figuras 116 a 122.

Comportamientos comparativos de los promedios de precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio.

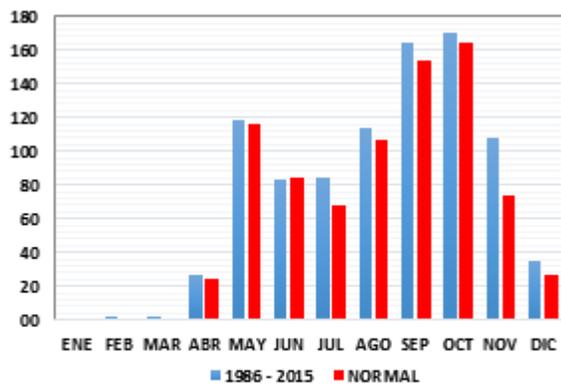


Figura 116. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) En La Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

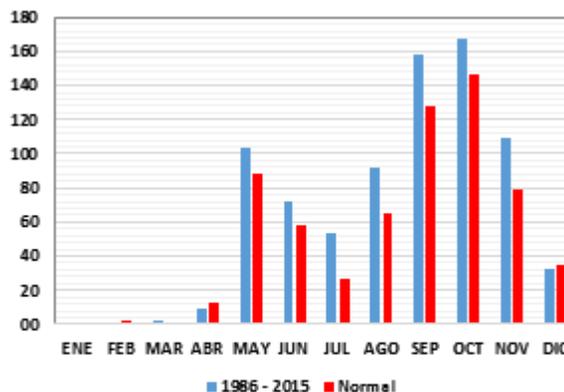


Figura 117. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

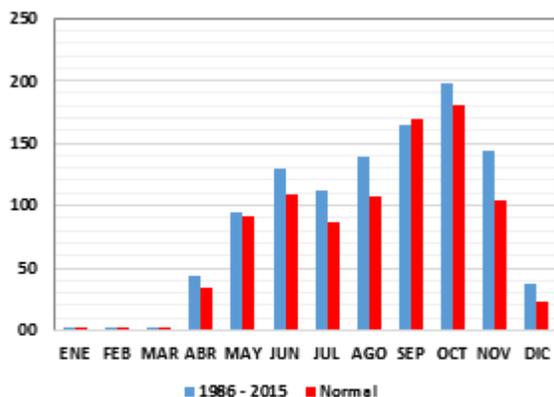


Figura 118. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

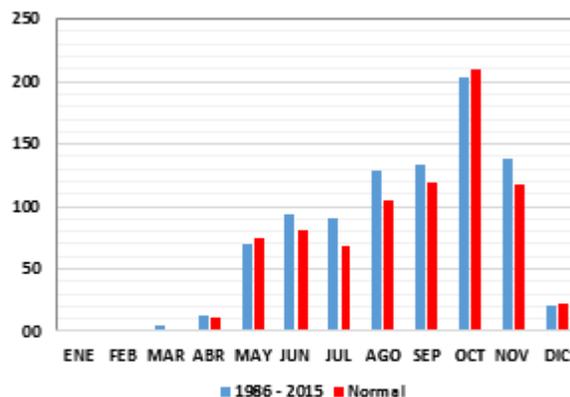


Figura 119. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores

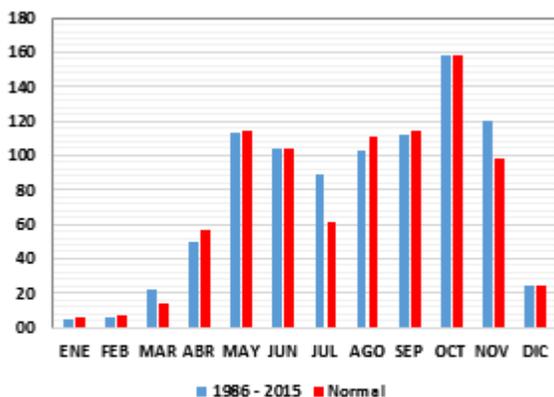


Figura 120. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

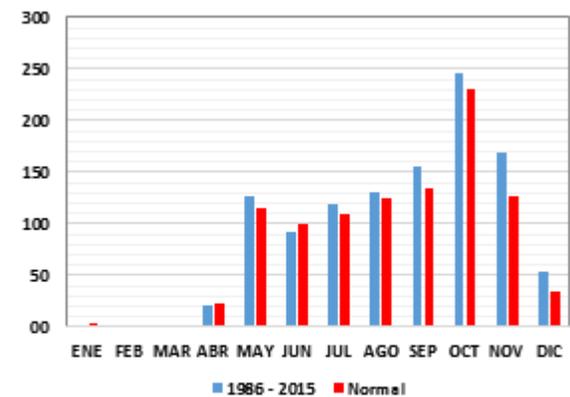


Figura 121. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

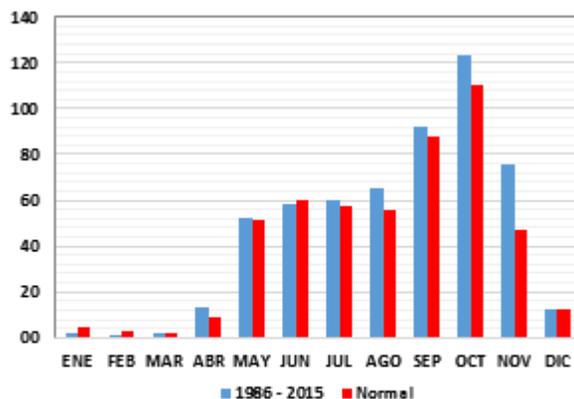


Figura 122. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (mm) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

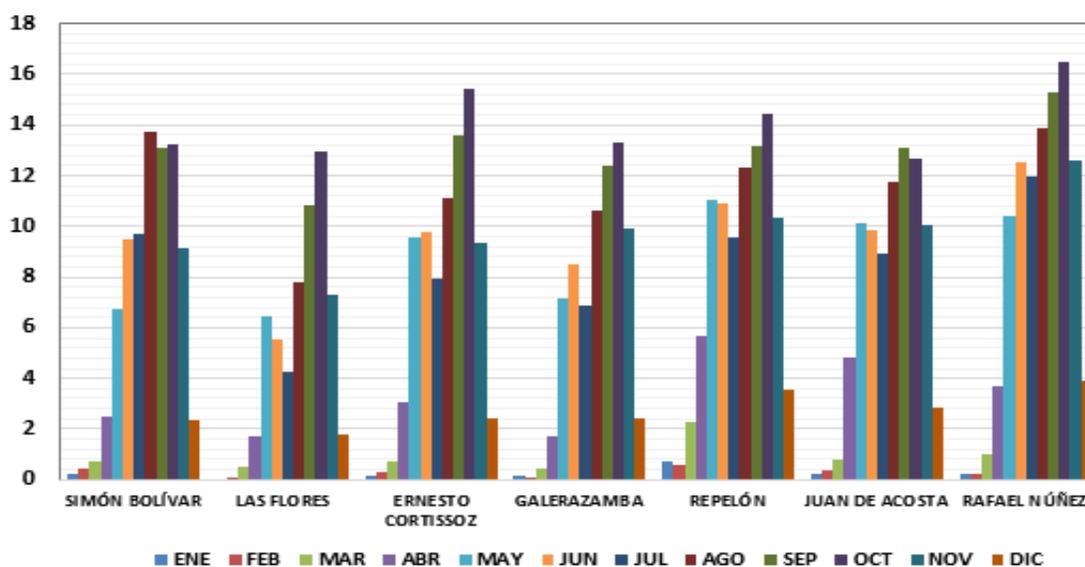


Figura 123. Comportamiento precipitaciones (días) en las estaciones de estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores

Tabla 15.

Promedios de precipitaciones (No de días) en las estaciones de estudio durante el período 1986 – 2015

MESES	ESTACIONES METEOROLÓGICAS						
	SIMÓN BOLÍVAR	LAS FLORES	ERNESTO CORTISSOZ	GALERAZAMBA	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	RAFAEL NÚÑEZ
ENE	0	0	0	0	1	0	0
FEB	0	0	0	0	1	0	0
MAR	1	1	1	0	2	1	1
ABR	2	2	3	2	6	5	4
MAY	7	6	10	7	11	10	10
JUN	9	6	10	9	11	10	13
JUL	10	4	8	7	10	9	12
AGO	14	8	11	11	12	12	14
SEP	13	11	14	12	13	13	15
OCT	13	13	15	13	14	13	16
NOV	9	7	9	10	10	10	13
DIC	2	2	2	2	4	3	4
Valor anual	81	59	83	74	94	86	102

Fuente: Datos IDEAM. Elaboración del autor

Figuras 124 a 130. Comportamientos comparativos los regímenes de precipitaciones (mm) en las estaciones de estudio.

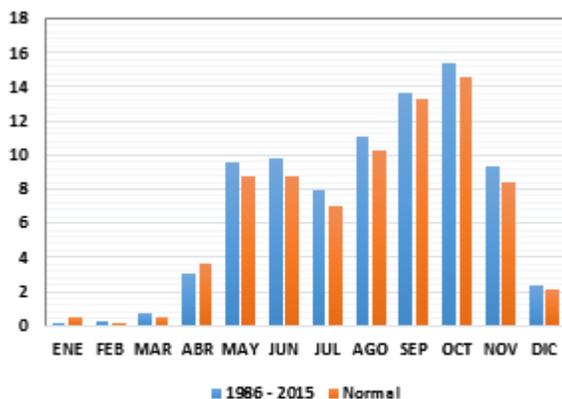


Figura 124. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

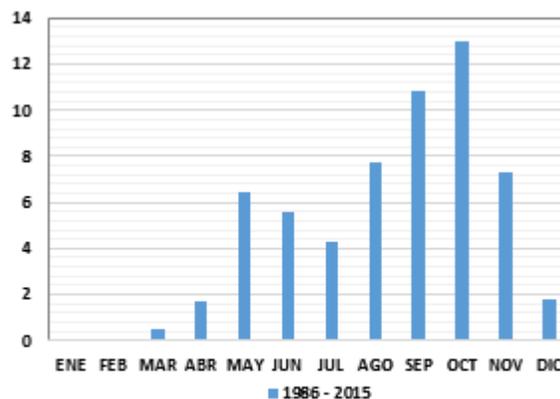


Figura 125. Comportamiento precipitaciones (Días) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

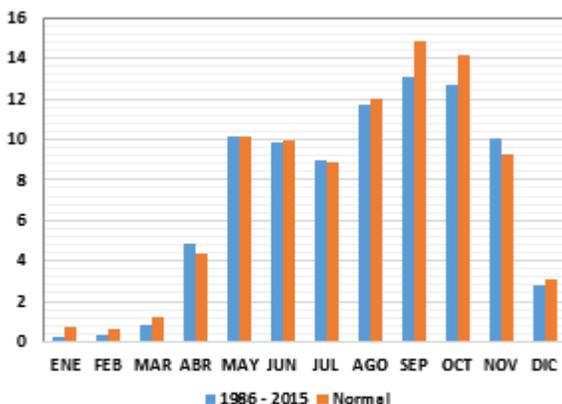


Figura 126. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

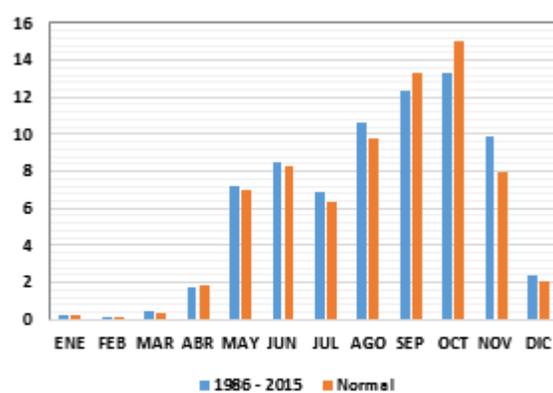


Figura 127. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

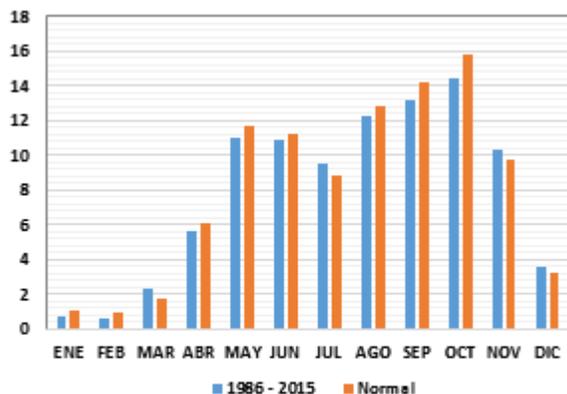


Figura 128. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

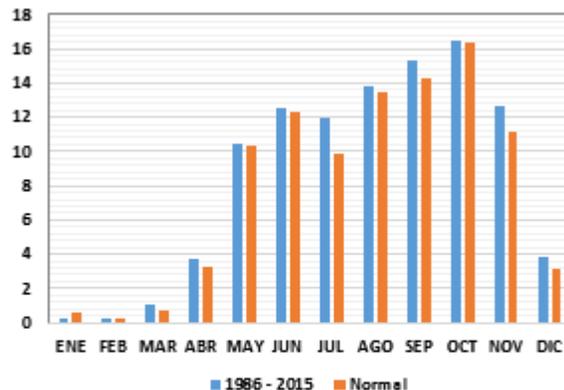


Figura 129. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

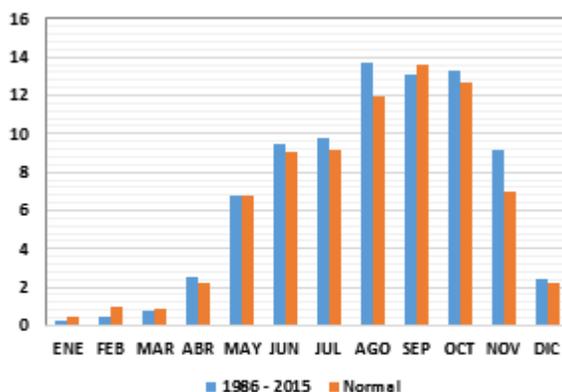


Figura 130. Comportamiento Comparativo Precipitaciones (Días) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

Figuras 131 a 137. *Anomalías de precipitaciones (mm) anuales en las estaciones de estudio.*

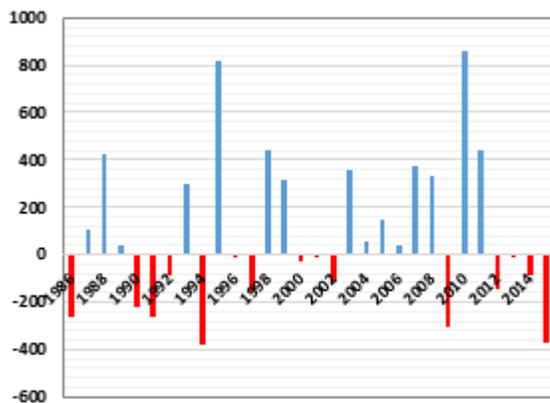


Figura 131. Anomalías De Precipitaciones (mm) Anuales Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

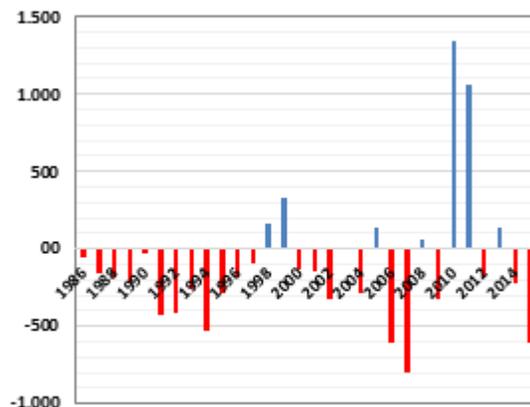


Figura 132. Anomalías De Precipitaciones (mm) Anuales Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

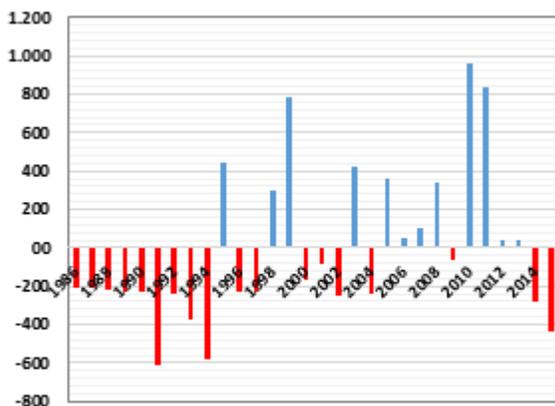


Figura 133. Anomalías De Precipitaciones (mm)
Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM.
Elaboración De Los Autores

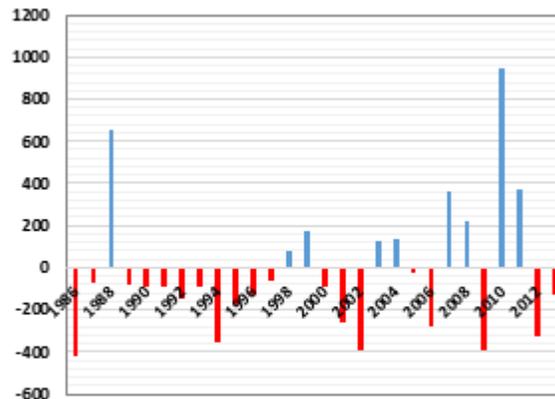


Figura 134. Anomalías De Precipitaciones (mm)
Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM.
Elaboración De Los Autores

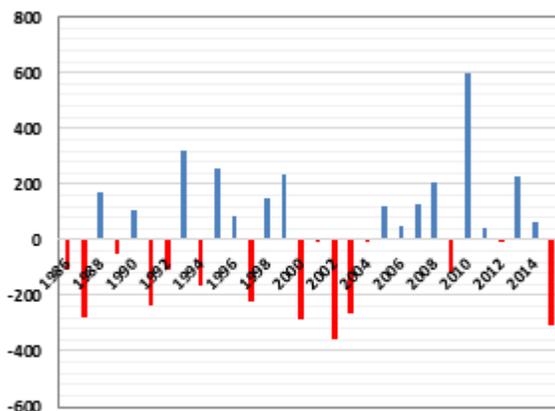


Figura 135. Anomalías De Precipitaciones (mm)
Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

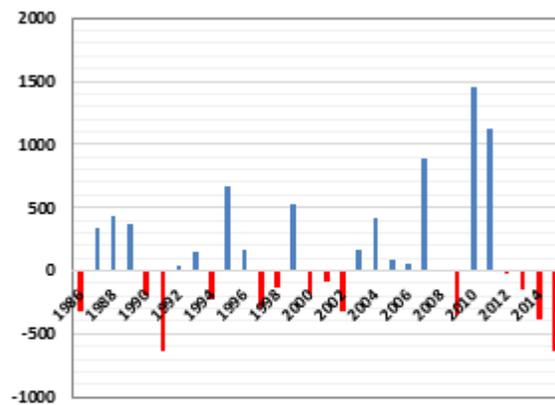


Figura 136. Anomalías De Precipitaciones (mm)
Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM.
Elaboración De Los Autores

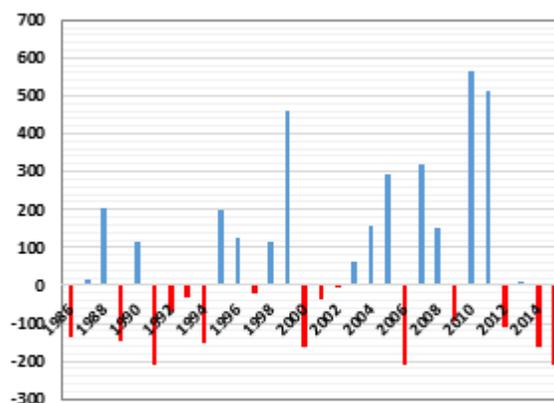


Figura 137. Anomalías De Precipitaciones (mm)
Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM.
Elaboración De Los Autores.

2.3 Diagramas Ombrotérmicos e índices bioclimáticos en las estaciones de estudio

Con el objetivo de caracterizar el clima del área de estudio se recurre a la representación y análisis de los datos de las variables anteriormente descritas (Temperaturas y precipitaciones) en diagramas e índices característicos de los estudios climáticos a nivel mundial. En este estudio se presenta un diagrama ombrotérmico y una representación gráfica del índice de Gaussen, además del cálculo de 8 índices climáticos para cada una de las estaciones de referencia.

Los diagramas ombrotérmicos son representaciones climáticas que van relacionadas con el índice de Gaussen, el cual se utiliza para conocer el estado de aridez de un espacio determinado durante el largo período de tiempo. En la representación gráfica de ambos se tienen en cuenta las temperaturas medias y las precipitaciones medias mensuales. El índice considera a un clima como árido cuando las precipitaciones están por debajo de las temperaturas, entre mayor separación entre ambas habrá mayor aridez.

Ha sido preocupación en algunas investigaciones el establecer de forma detallada las relaciones entre la lluvia y la temperatura, por lo que se han elaborado varios sistemas de clasificación climática. Además de estos sistemas, gran cantidad de autores han elaborado fórmulas que describen índices de aridez o de humedad; es decir, de la eficiencia que guarde la precipitación en relación con la temperatura. Bagnouls y Gaussen en 1953 describieron un tipo de diagrama, al que le denominaron ombrotérmico (ombric significa precipitación), en el que se ponía a prueba la eficiencia de la precipitación en un sitio en relación con la temperatura, ajustando la escala del climograma o gráfica ombrotérmica, siendo la relación de ejes $p=2t$ en el que p es precipitación y t temperatura media. Con este tipo de gráficas se mide, pues, la

eficiencia “ombrotérmica”. En el diagrama el eje Y1 corresponde a la precipitación (mm) y Y2 a la temperatura media (°C), el eje de precipitaciones debe ser el doble de amplio que el de temperaturas.

En la representación gráfica de diagrama de Gaussen, propuesto por los autores para cada estación, se considera que por debajo del nivel 2 del eje P/T el mes se considera árido, entre 2 y 3 se considera subhúmedo y por encima de 3 se considera húmedo.

De acuerdo a este planteamiento y debido a la similitud en los regímenes de precipitaciones de las estaciones en estudio, por lo general se presenta aridez o deficiencia ombrotérmica en cinco meses al año, en los que las precipitaciones son extremadamente bajas o incluso inexistentes y las temperaturas muestran, en la mayoría de las estaciones, sus niveles más bajos. Estos meses son diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Los demás meses en todas las estaciones, excepto Galerazamba y Las Flores, son húmedos. Para Galerazamba los meses de mayo, junio y julio se consideran semiáridos y en Las Flores los meses de julio, agosto y septiembre se consideran semiáridos, el mes de mayo es árido de acuerdo a lo que contempla el índice de Gaussen.

Conforme ha aumentado la precipitación en los 30 años de análisis, así también ha disminuido el número de meses áridos o semiáridos en el área de estudio.

Algunos índices bioclimáticos aplicados a los datos analizados en este trabajo son:

- Índice o coeficiente pluviotérmico de Emberger
- Índice de aridez o pluviosidad de Lang
- Índice de aridez de Martone

- Índice de continentalidad de Conrad
- Índice de continentalidad de Gorezinsky
- Índice de continentalidad de Currey
- Índice modificado de Fournier (IMF)
- Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

Todos estos índices se aplican a cada estación para establecer una clasificación lo más acertada posible desde el punto de vista climático. Las clasificaciones o rangos de clasificación de cada índice se observan en las tablas siguientes.

Tabla 16
Índice o coeficiente pluviotérmico de Emberger

Q	CLIMA
>90	Húmedo
90-50	Sub-húmedo
50-30	Semiárido
30-0	Árido

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: El índice de Emberger se obtiene considerando la precipitación media anual, la temperatura media de las máximas del mes más cálido y la temperatura media de las mínimas del mes más frío. El índice de Emberger o cociente pluviotérmico se calcula mediante la expresión:

$$Q = (100 * P)/(Mi2 - mi2)$$

En donde:

P = Precipitaciones anuales (mm);

Mi = Mes más cálido de las Temperaturas máximas (°C);

mi = Mes más frío de las Temperaturas mínimas (°C)

Tabla 17
Índice de aridez o pluviosidad de Lang

R	CLIMA
>160	Húmedo
100-160	Templado húmedo
60-100	Templado cálido
40-60	Mediterráneo/Semiárido
20-40	Mediterráneo/Estepario
0-20	Mediterráneo/árido

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: este índice relaciona los valores de precipitación y temperatura de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$R = P/T$$

En donde:

P = Precipitaciones anuales (mm);

T = Temperatura media anual (°C)

Tabla 18
Índice de aridez de Martone.

Ia	CLIMA
>60	Per-húmedo
60-30	Húmedo
30-20	Sub-húmedo
20-10	Semiárido (mediterráneo)
10 - 5	Árido (estepario)
5-0	Árido extremo (desierto)

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: para su cálculo también se usan los datos de precipitación y temperaturas.

Su fórmula es:

$$Ia = P / (T + 10)$$

En donde:

P = Precipitaciones anuales (mm);

T = Temperatura media anual (°C)

Tabla 19
Índice de continentalidad de Conrad

IC	CLIMA
-20 ; 20	Hiperoceánicos
20 ; 40	Oceánicos
40 ; 60	Subcontinentales
60 ; 80	Continental
80 ; 120	Hipercontinentales

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: Los índices de continentalidad tratan de expresar la amplitud de la oscilación anual de la temperatura. Así, el grado de continentalidad es directamente proporcional a la citada amplitud. El de Conrad se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$IC = 1.7 * (Mi - mi) / \text{sen}(Lat + 10) - 14$$

En donde:

Mi = Mes más cálido de las Temperaturas medias (°C);

mi = Mes más frío de las Temperaturas medias (°C);

Lat = grados de Latitud

Tabla 20
Índice de continentalidad de Gorezinsky

K	Clima
< 10	Clima es oceánico
Entre 10 y 20	Clima oceánico continental
> 20	Clima es continental

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: al igual que el índice de continentalidad de Conrad relaciona las temperaturas y la latitud del lugar por medio de la siguiente fórmula:

$$K = 1.7 * (Mi - mi) / \text{sen}(Lat) - 20.4$$

En donde:

Mi = Mes más cálido de las Temperaturas medias (°C);

mi = Mes más frío de las Temperaturas medias (°C);

Lat = grados de Latitud

Tabla 21
Índice de continentalidad de Currey

IC	CLIMA
0 ; 0.6	Hiperoceánicos
0.6 ; 1.1	Oceánicos
1.1 ; 1.7	Subcontinentales
1.7 ; 2.3	Continental
2.3 ; 5	Hipercontinentales

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: representa una buena correlación entre la continentalidad y la vegetación en los territorios septentrionales del hemisferio boreal por medio de la siguiente fórmula:

$$IC = (Mi - mi) / (1 + 1/3 * Lat)$$

En donde:

Mi = Mes más cálido de las Temperaturas medias (°C);

mi = Mes más frío de las Temperaturas medias (°C);

Lat = grados de Latitud

Tabla 22
Índice modificado de Fournier (IMF)

Clasificación de valores de FMI, CORINE-CEC (1992)

Clase	K	Descripción
1	<60	Muy Bajo
2	60-90	Bajo
3	90-120	Moderado
4	120-160	Alto
5	>160	Muy Alto

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: en este se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

En dónde: IMF=Índice modificado de Fournier;

P_i=precipitación media mensual;

P_t=precipitación media anual;

i=mes.

Tabla 23
Índice de concentración de la precipitación

Rango	Descripción
8.3 - 10	Uniforme
11 -15	Estacional moderada
16 – 20	Estacional
21 - 50	Fuertemente estacional
51 - 100	Aislada

Fuente: Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. J. Almornox.

Nota: este índice se propuso con la idea de estimar la agresividad de las lluvias, a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, mediante la fórmula:

$$ICP = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P^2}$$

En donde:

ICP: Índice de concentración de las precipitaciones (%);

P_i=precipitación media mensual (mm);

P=precipitación media anual (mm);

i=mes.

2.3.1 Representación gráfica de diagramas e índices

2.3.1.1 Estación Ernesto Cortissoz (SP)

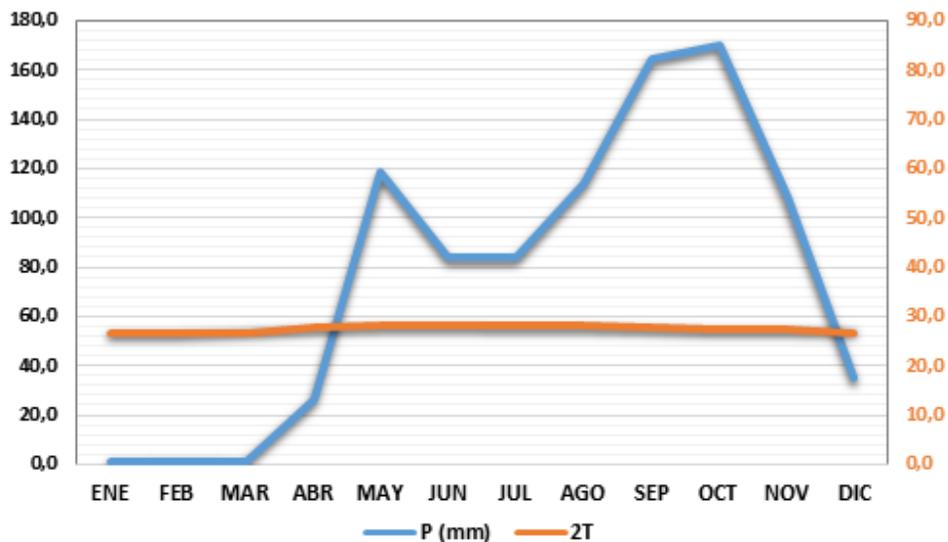


Figura 138. Diagrama Ombrotérmico Estación Ernesto Cortissoz (1986 - 2015). Fuente: Datos IDEAM. Elaboración De Los Autores.

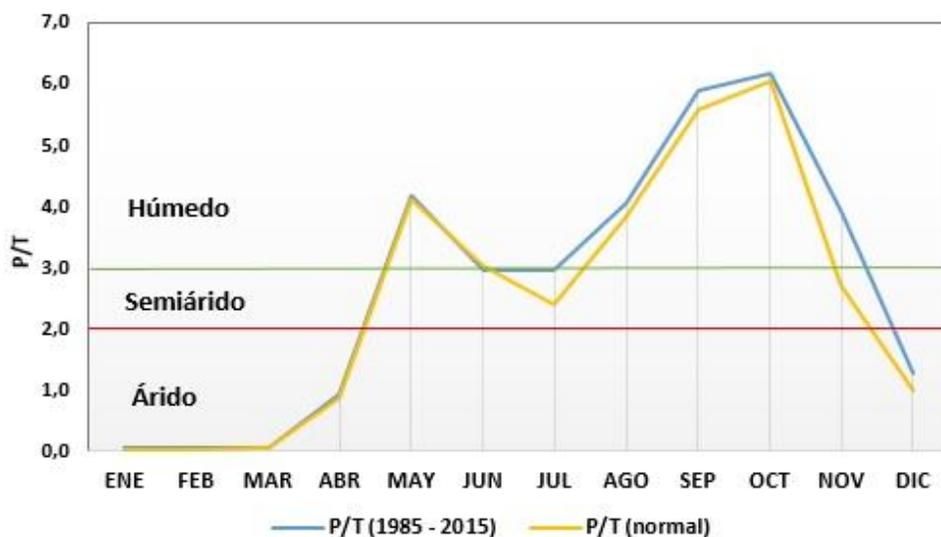


Figura 139. Índice de aridez mensual de Gausson estación Ernesto Cortissoz (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores.

Tabla 24
Índices climáticos Estación Ernesto Cortissoz

Índice	Valor	Característica
Emberger	107,5671862	Clima húmedo
Lang	32,82008398	Zona Árida o esteparia
Martone	24,11003225	Zona subhúmeda
Conrad	-0,20913416	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,12773813	Hiperoceánico
Currey	0,112535613	Hiperoceánico
IMF	121,8096779	Nivel Alto de erosión
ICP	13,40828515	Estacionalidad moderada de la precipitación.

Fuente: Elaboración de los autores

2.3.1.2 Estación Las Flores (CP)

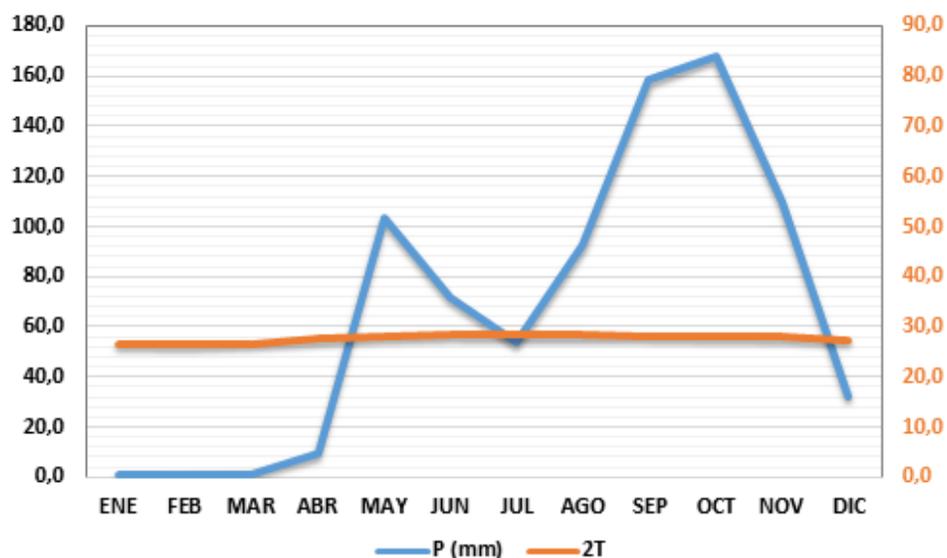


Figura 140. Diagrama Ombrotérmico Estación Las Flores (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

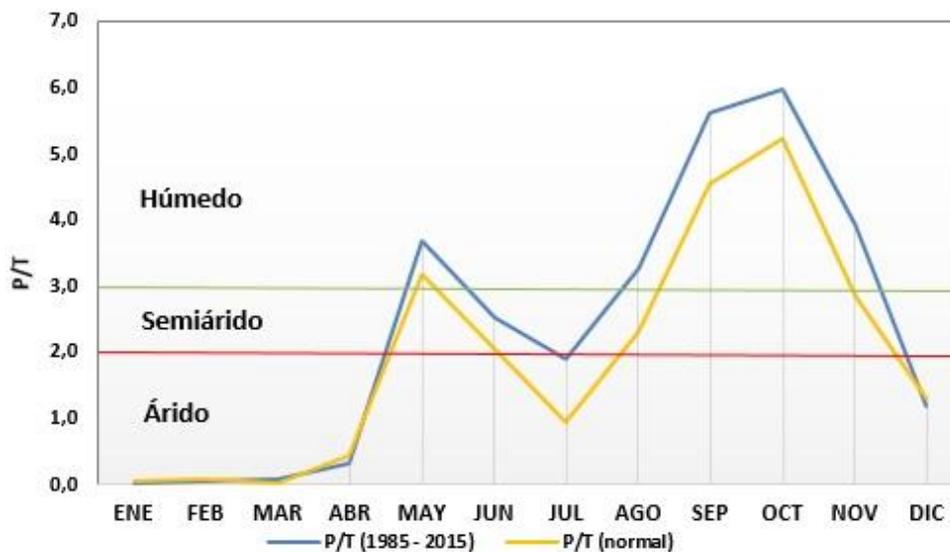


Figura 141. Índice De Áridéz Mensual De Gausson Estación Las Flores (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Tabla 25
Índices climáticos Estación Las Flores

Índice	Valor	Característica
Emberger	134,51097	Clima húmedo
Lang	28,905017	Zona Árida o esteparia
Martone	21,242699	Zona subhúmeda
Conrad	-0,233441	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,143715	Hiperoceánico
Currey	0,1231232	Hiperoceánico
IMF	116,64235	Nivel moderado de erosión
ICP	14,556603	Estacionalidad moderada de la precipitación.

Fuente: Elaboración de los autores

2.3.1.3 Estación Juan de Acosta (CO).

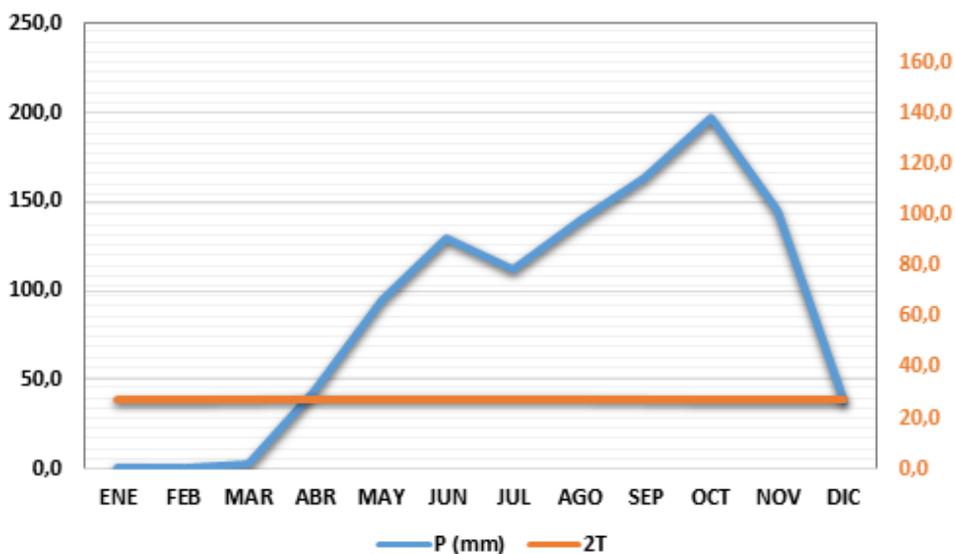


Figura 142. Diagrama Ombrotermico Estación Juan de Acosta (1986 - 2015). Fuente: IDEA. Elaboración De Los Autores

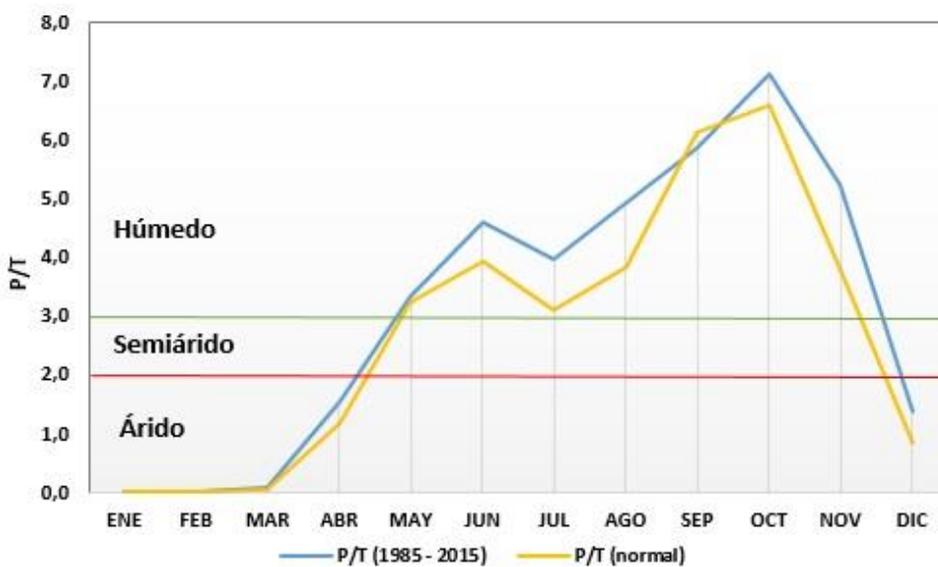


Figura 143. Índice De Aridez Mensual De Gausson Estación Juan De Acosta (1985 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Tabla 26
Índices climáticos Estación Juan De Acosta

Índice	Valor	Característica
Emberger	123,783153	Clima húmedo
Lang	38,20943174	Zona semiárida o húmeda de sabana.
Martone	28,13216482	Zona subhúmeda
Conrad	-0,11835692	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,07232317	Hiperoceánico
Currey	0,064664502	Hiperoceánico
IMF	138,4550668	Nivel alto de erosión
ICP	12,98043387	Estacionalidad moderada de la precipitación

Fuente. Elaboración de los autores

2.3.1.4 Estación Galerazamba (CP).

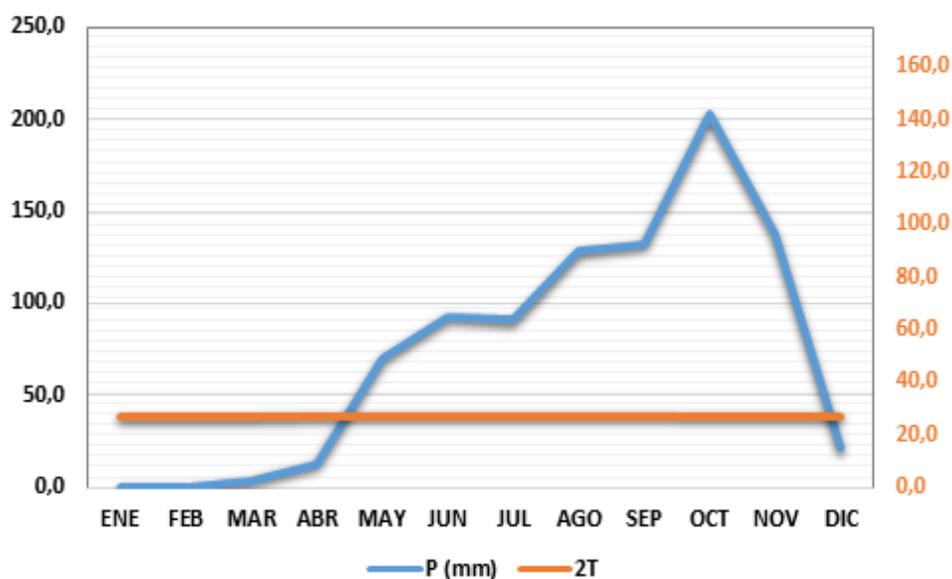


Figura 144. Diagrama ombrotérmico estación Galerazamba (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores.

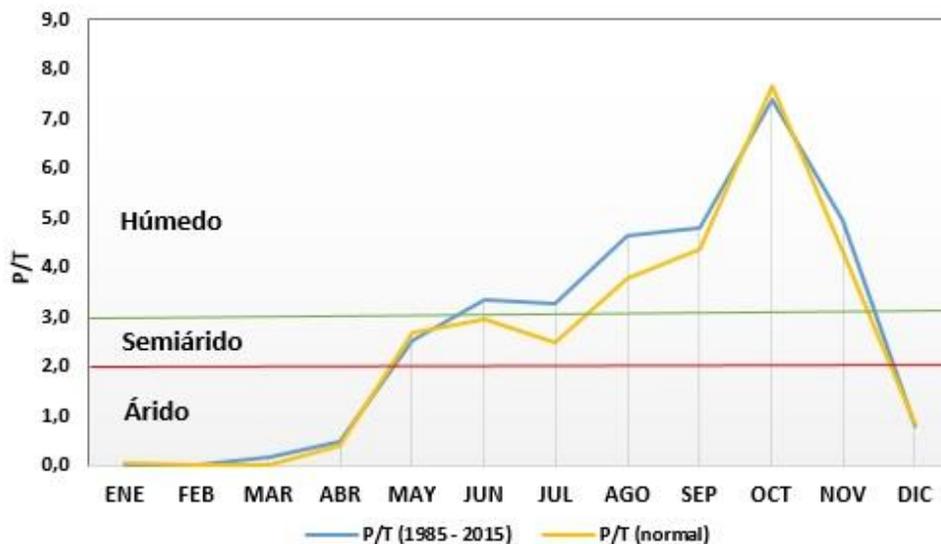


Figura 145. Índice De Aridez Mensual De Gausse Estación Galerazamba (1985 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Tabla 27
Índices climáticos Estación Galerazamba

Índice	Valor	Característica
Emberger	146,72172	Clima húmedo
Lang	32,662348	Zona Árida o esteparia
Martone	23,950058	Zona subhúmeda
Conrad	-0,188663	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,115347	Hiperoceánico
Currey	0,1040522	Hiperoceánico
IMF	130,72983	Nivel alto de erosión
ICP	14,559934	Precipitación estacional moderada.

Fuente: Elaboración de los autores

2.3.1.5 Estación Repelón (CP).

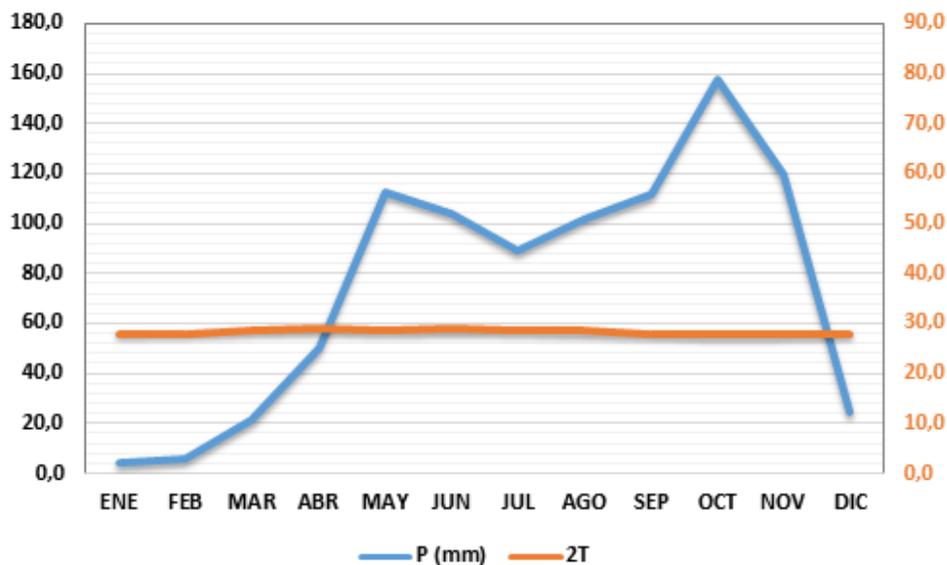


Figura 146. Diagrama Ombrotérmico Estación Repelón (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

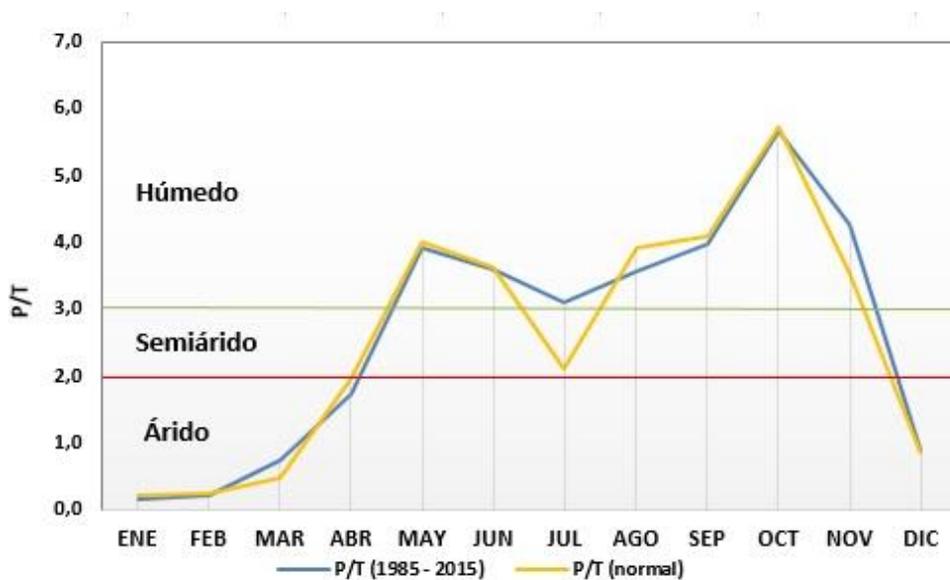


Figura 147. Índice de aridez mensual de Gausson estación Repelón (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración de los autores.

Tabla 28
Índices climáticos Estación Repelón

Índice	Valor	Característica
Emberger	84,913321	Clima subhúmedo
Lang	31,759231	Estepario
Martone	23,512968	Zona subhúmeda
Conrad	-0,157853	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,096458	Hiperoceánico
Currey	0,0862434	Hiperoceánico
IMF	107,69023	Nivel moderado de erosión
ICP	11,892474	Precipitación estacional moderada

Fuente: Elaboración de los autores

2.3.1.6 Estación Rafael Núñez (SP).

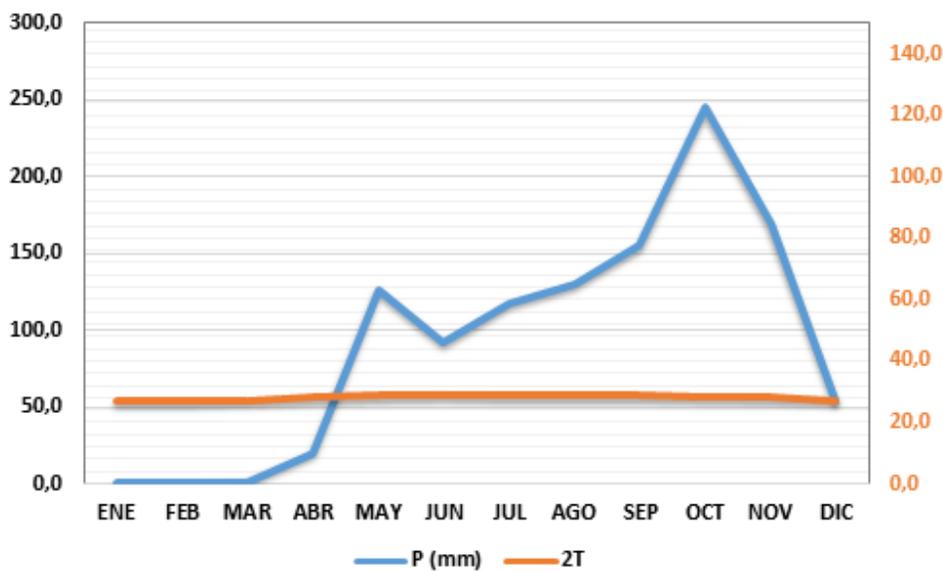


Figura 148. Diagrama Ombrotérmico Estación Rafael Núñez (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los autores.

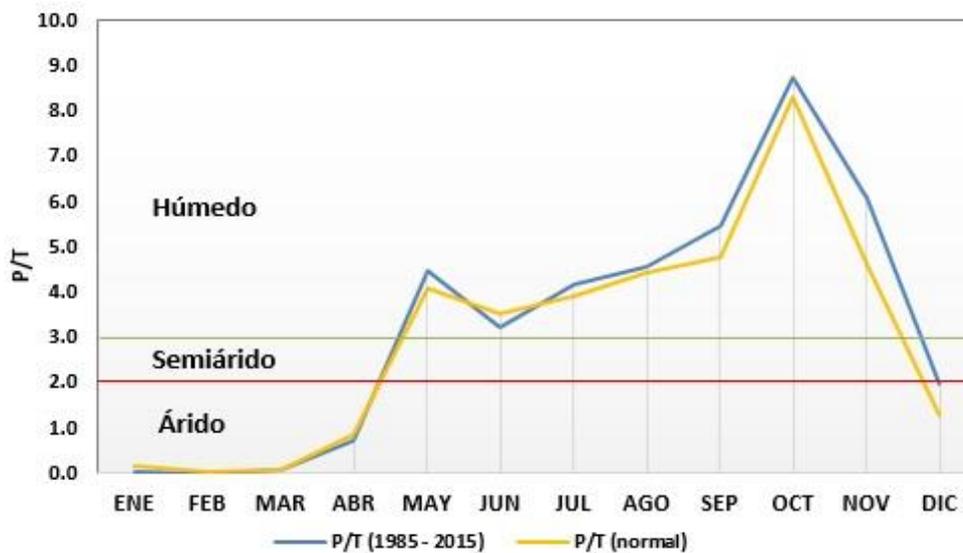


Figura 149. Índice de Áridez mensual De Gaussen Estación Rafael Núñez (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Tabla 29

Índices climáticos Estación Rafael Núñez

Índice	Valor	Característica
Emberger	162,10775	Clima húmedo
Lang	40,068118	Zona semiárida o húmeda de sabana
Martone	29,503251	Zona subhúmeda
Conrad	-0,257612	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,157603	Hiperoceánico
Currey	0,141523	Hiperoceánico
IMF	154,58052	Nivel alto de erosión potencial
ICP	13,81454	Precipitación estacional moderada.

Fuente: Elaboración de los autores

2.3.1.7 Estación Simón Bolívar (SP).

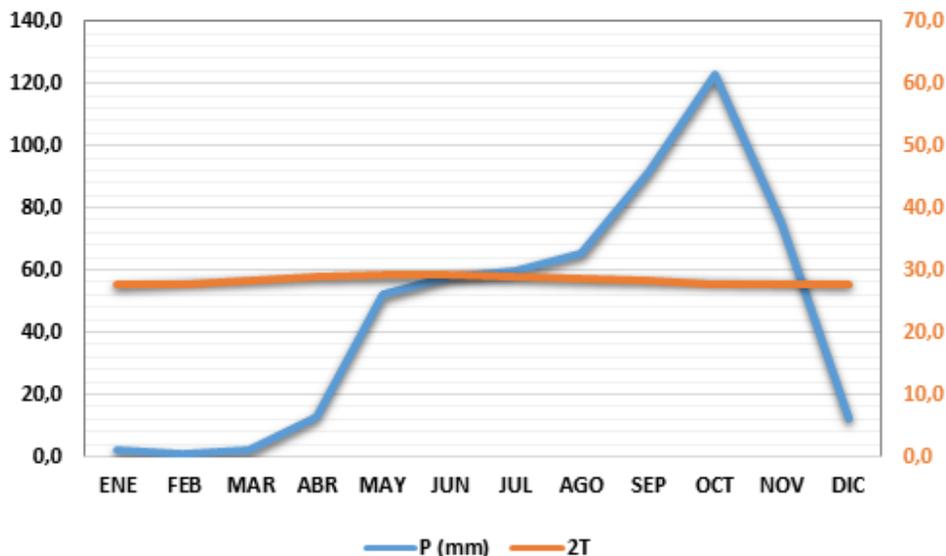


Figura 150. Diagrama Ombrotérmico Estación Simón Bolívar (1985 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

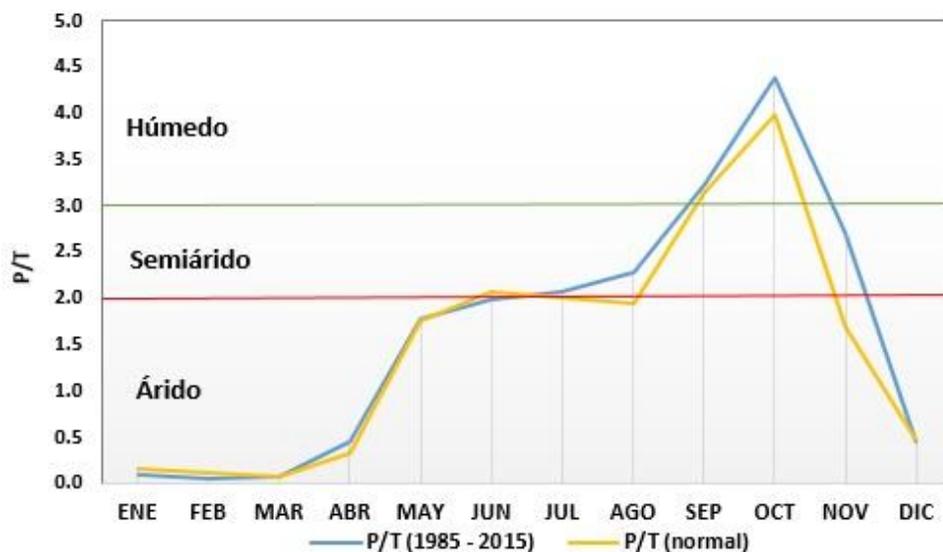


Figura 151. Índice De Áridéz Mensual De Gausse Estación Simón Bolívar (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elabración De Los Autores.

Tabla 30
Índices climáticos Estación Simón Bolívar

Índice	Valor	Característica
Emberger	62,438665	Clima Subhúmedo
Lang	19,592843	Árido o estepario
Martone	14,49748	Zona semiárida
Conrad	-0,223818	Hiperoceánico
Gorezinsky	-0,138548	Hiperoceánico
Currey	0,1174753	Hiperoceánico
IMF	78,224219	Nivel bajo de erosión potencial
ICP	14,033194	Precipitación estacional moderada.

Fuente: Elaboración de los autores

2.4 Vientos

2.4.1 Dirección del viento

Los vientos en el área de estudio siguen teniendo un comportamiento similar al normal, característico en todas las estaciones en donde se mide la variable. Sin embargo, la intensidad y el recorrido han disminuido notoriamente de manera generalizada. Las direcciones predominantes, tal como es el flujo sinóptico, son de los cuadrantes norte y noreste debido a la poca elevación y la cercanía a la costa de las estaciones en donde se hace medición de este parámetro. Durante el período 1986 – 2015 el viento en las estaciones Ernesto Cortissoz y Las Flores fluye de manera repartida desde las direcciones norte y noreste. En la estación Repelón es marcadamente del noreste. La información relativa a las demás estaciones en donde se mide este parámetro no fue suministrada por ser bastante precaria y no confiable. En las figuras numeradas

desde 152 a 154 se aprecian los comportamientos de la dirección del viento en las tres estaciones reseñadas.

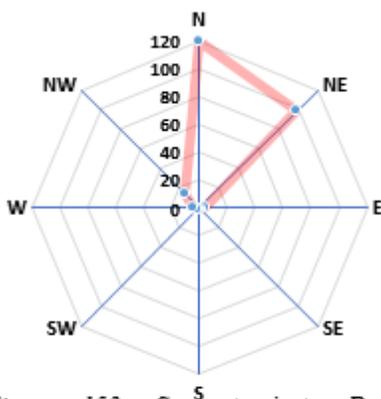


Figura 152. Comportamiento De La Dirección Del Viento Estación E. Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

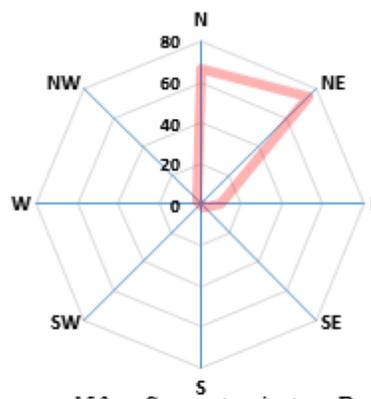


Figura 153. Comportamiento De La Dirección Del Viento Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

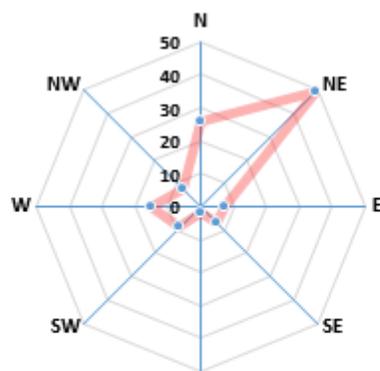


Figura 154. Comportamiento De La Dirección Del Viento Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

2.4.2 Velocidad del viento

Se analizaron registros de este parámetro para el período comprendido entre 1986 y 2015 en las estaciones Rafael Núñez, Ernesto Cortissoz, Galerazamba, Las Flores y Repelón debido a que la densidad de los datos no es muy apreciable y se encuentra más completa para este período. En este se observa que las mayores magnitudes del viento se observan en Galerazamba y Las Flores, siendo superiores en la primera con una velocidad promedio anual de 5.5 m/s. Las Flores ostenta una velocidad anual de 4.7 m/s, le sigue la estación Ernesto Cortissoz con 3.4 m/s, luego se encuentran Repelón y Rafael Núñez con 2.3 m/s y 2.2 m/s respectivamente. Se puede apreciar en la figura 155 que en el área de estudio las mayores velocidades del viento se presentan de diciembre a marzo, luego se aprecia una disminución marcada a partir de abril hasta junio, entre julio y agosto se experimenta un leve aumento, pero entre septiembre, octubre y noviembre nuevamente se entra en un descenso importante para luego aumentar en diciembre. Los dos descensos marcados que se evidencian durante el año se corresponden con los meses en donde se presentan los mayores niveles de precipitaciones. Las mayores velocidades del viento se dan en la etapa más seca y árida coincidiendo con los meses en que la zona de confluencia intertropical (ZCIT) sobre encuentra ausente sobre este territorio.

El comportamiento del período 1986 – 2015 es similar al comportamiento normal observado en las estaciones Rafael Núñez y Ernesto Cortissoz (estaciones en donde se cuenta con registro de datos normales) pero con una marcada disminución en los promedios mensuales y anuales en ambas estaciones.

Este hecho va relacionado con el aumento de las precipitaciones. La disminución del viento se ve favorecida por el aumento de las precipitaciones en el área de estudio, la cual a su vez se fundamenta en el aumento de las temperaturas.

En la estación Ernesto Cortissoz la variación del promedio anual de velocidad del viento disminuyó en 0.6 m/s mientras que en la estación Rafael Núñez lo hizo en 0.4 m/s. Aparentemente la variación no supone una magnitud muy significativa, pero teniendo en cuenta que es un promedio que recoge un comportamiento a largo plazo se puede considerar significativo para el entendimiento de la dinámica climática y meteorológica de la zona de estudio y los cambios que ello conlleva. En las figuras 156 y 157 se puede apreciar el comportamiento de la variable en los dos períodos en comparación.

En las tablas 31 y 32 se pueden apreciar los valores relativos a los promedios de las variables en los períodos de análisis. Se puede notar que las mayores variaciones se han estado presentando entre los meses de diciembre y marzo, precisamente los meses en que históricamente la velocidad del viento es mayor en ambas estaciones y en la zona de estudio en general. Dicha información permite considerar que la variación en esta variable obedece a perturbaciones en el flujo sinóptico proveniente de las estructuras anticiclónica subtropicales más allá que de la ocurrencia de fenómenos puntuales de corte ciclónico como huracanes, ondas o complejos convectivos mesoescalares.

En las figuras 158 y 159 se observa el comportamiento anual de la velocidad del viento en el período de estudio para las estaciones Rafael Núñez y Ernesto Cortissoz.

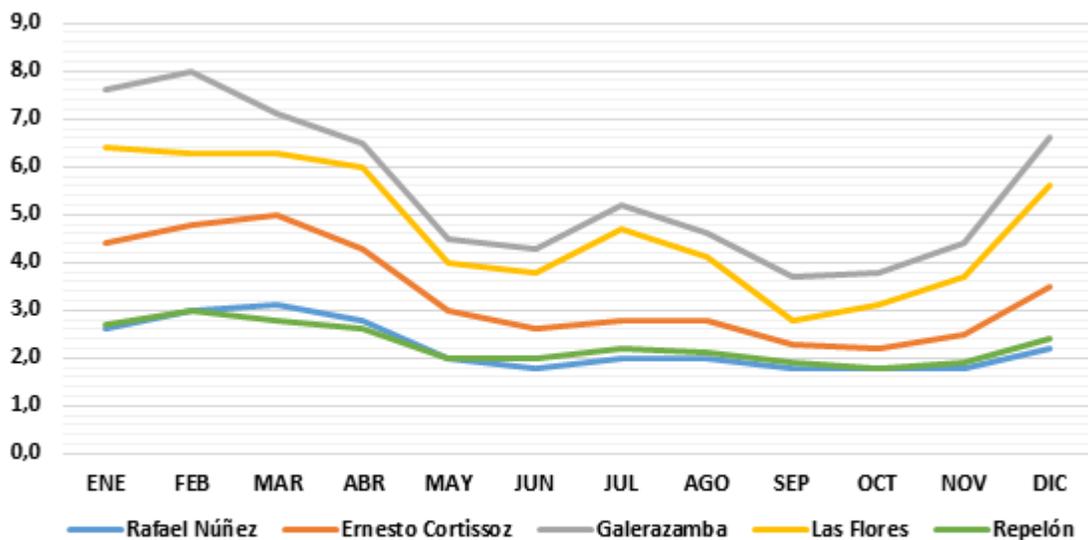


Figura 155. Comportamiento Comparativo Velocidad Del Viento (m/s) Estaciones De estudio. Fuente: IDEAM.Elaboración De Los Autores.

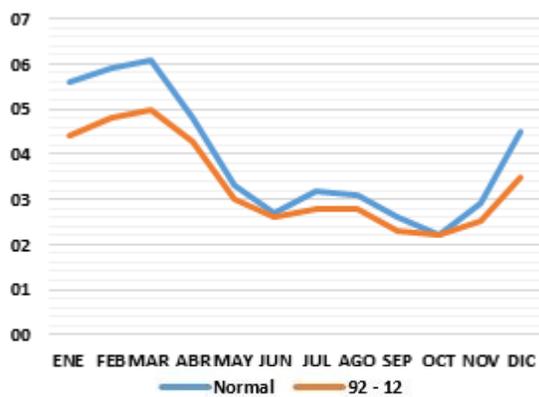


Figura 156. Comportamiento Comparativo Velocidad Del Viento (m/s) Estación E. Cortissoz. Fuente: IDEAM.Elaboración De Los Autores.

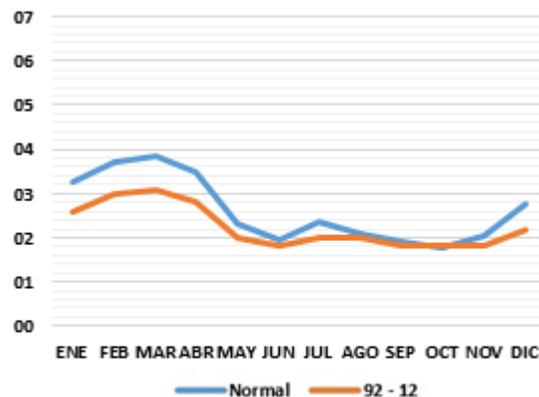


Figura 157. Comportamiento Comparativo Velocidad Del Viento (m/s) Estación. Rafael Núñez. Fuente: IDEAM.Elaboración De Los Autores.

Tabla 31.*Valores promedios de velocidad del viento en la estación Ernesto Cortissoz*

Meses	Valor Normal	Valor 92 - 12	Anomalías
ENE	5,6	4,4	-1,2
FEB	5,9	4,8	-1,1
MAR	6,1	5,0	-1,1
ABR	4,8	4,3	-0,5
MAY	3,3	3,0	-0,3
JUN	2,7	2,6	-0,1
JUL	3,2	2,8	-0,4
AGO	3,1	2,8	-0,3
SEP	2,6	2,3	-0,3
OCT	2,2	2,2	0,0
NOV	2,9	2,5	-0,4
DIC	4,5	3,5	-1,0
Valor anual	3,9	3,4	-0,6

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 32.*Valores promedios de velocidad del viento en la estación Rafael Núñez*

Meses	Normal	92 - 12	Anomalía
ENE	3,3	2,6	-0,7
FEB	3,7	3,0	-0,7
MAR	3,8	3,1	-0,7
ABR	3,5	2,8	-0,7
MAY	2,3	2,0	-0,3
JUN	2,0	1,8	-0,2
JUL	2,3	2,0	-0,3
AGO	2,1	2,0	-0,1
SEP	1,9	1,8	-0,1
OCT	1,8	1,8	0,0
NOV	2,1	1,8	-0,3
DIC	2,8	2,2	-0,6
Valor anual	2,6	2,2	-0,4

Fuente: Elaboración del autores

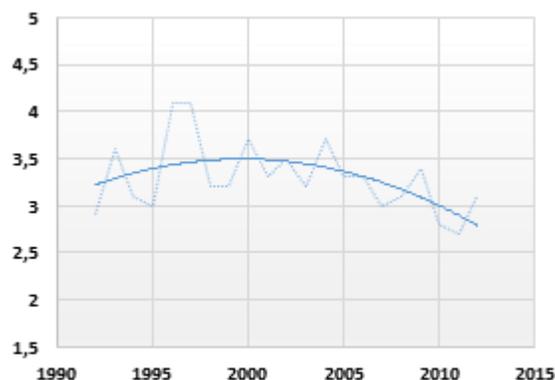


Figura 158. Comportamiento Anual Velocidad Del Viento (m/s) Estación E. Cortissoz . Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

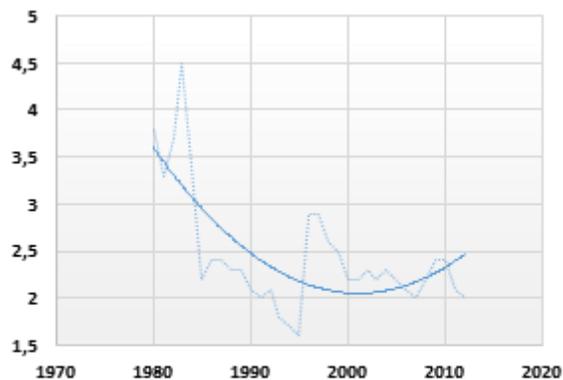


Figura 159. Comportamiento Anual Velocidad Del Viento (m/s) Estación Rafael Núñez . Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

En ambas figuras se puede observar como la velocidad del viento durante el período analizado ha descrito una tendencia a disminuir.

2.4.3 Recorrido del viento

El recorrido del viento también ha sido analizado en las estaciones en las que se ha estudiado la velocidad. Aunque no se obtuvieron registros de datos normales con los cuales hacer comparaciones, si se cuenta con el comportamiento anual durante la serie de tiempo estudiada en algunas estaciones.

El análisis de los datos permite establecer que al igual que lo observado en la velocidad, para el período 1986 - 2015 el mayor recorrido del viento se observa en la estación Galerazamba con un recorrido medio anual de 92840 kilómetros, seguida de la estación Las Flores con 87099 kilómetros, la estación Ernesto Cortissoz presenta un recorrido de 67279 km. Las estaciones Rafael Núñez y Repelón presentan recorridos de 40922 km y 33172 km respectivamente. En la figura 160 se puede observar este comportamiento.

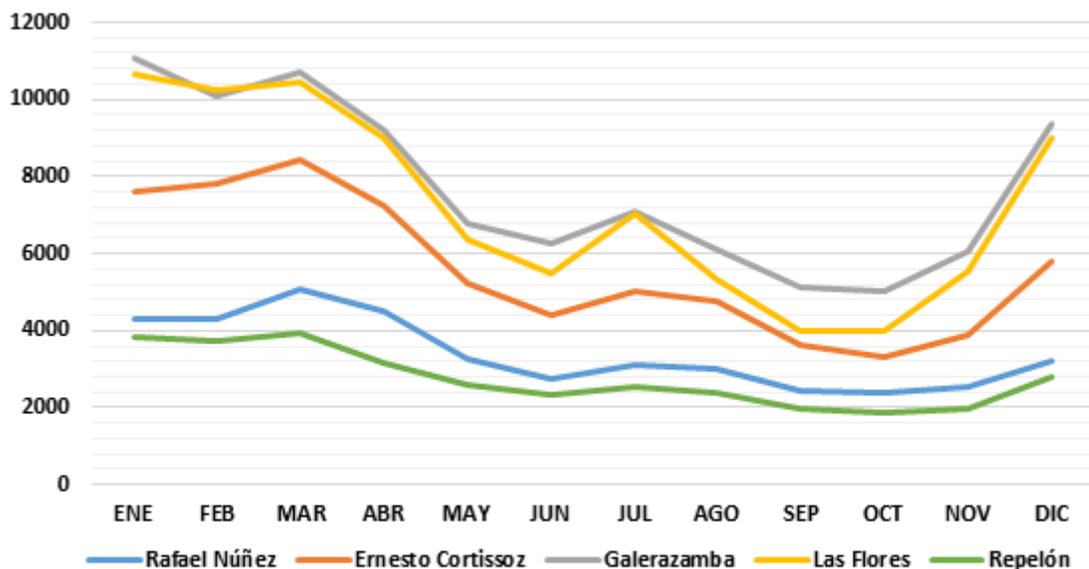


Figura 160. Comportamiento Comparativo Recorrido Del Viento (km) Estaciones De Estudio. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

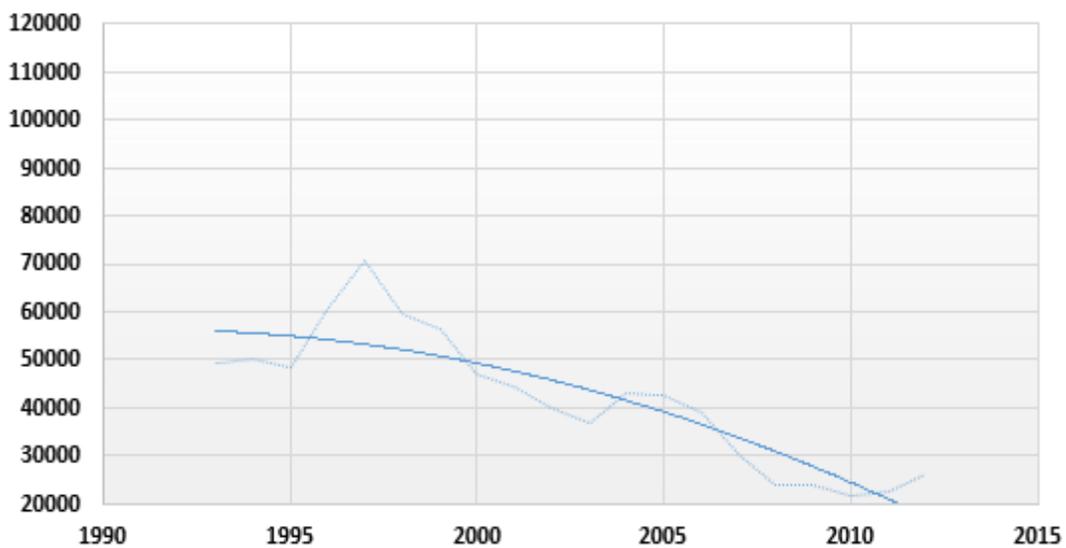


Figura 161. Comportamiento Anual Del Recorrido Del Viento (km) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

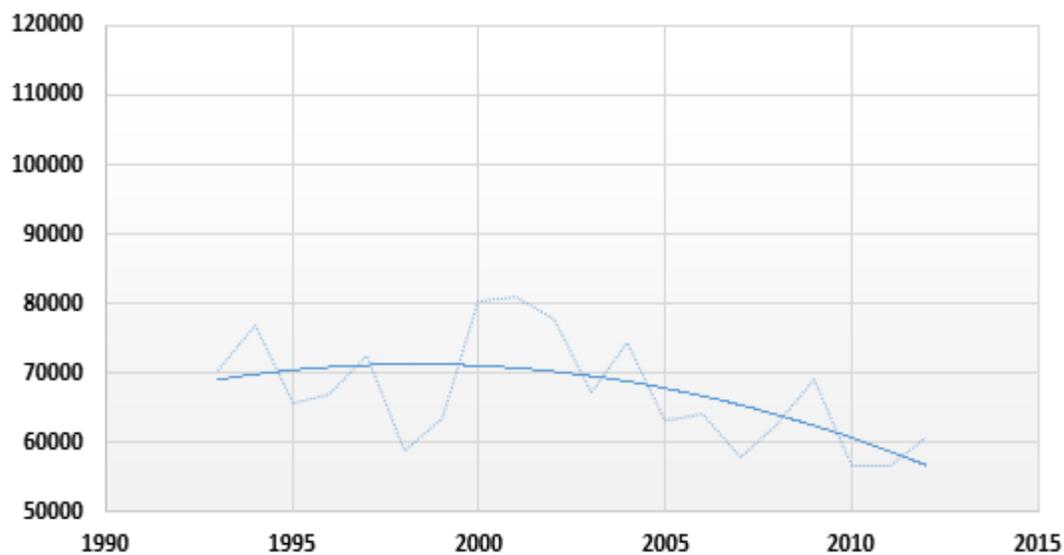


Figura 162. Comportamiento Del Recorrido Del Viento (km) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

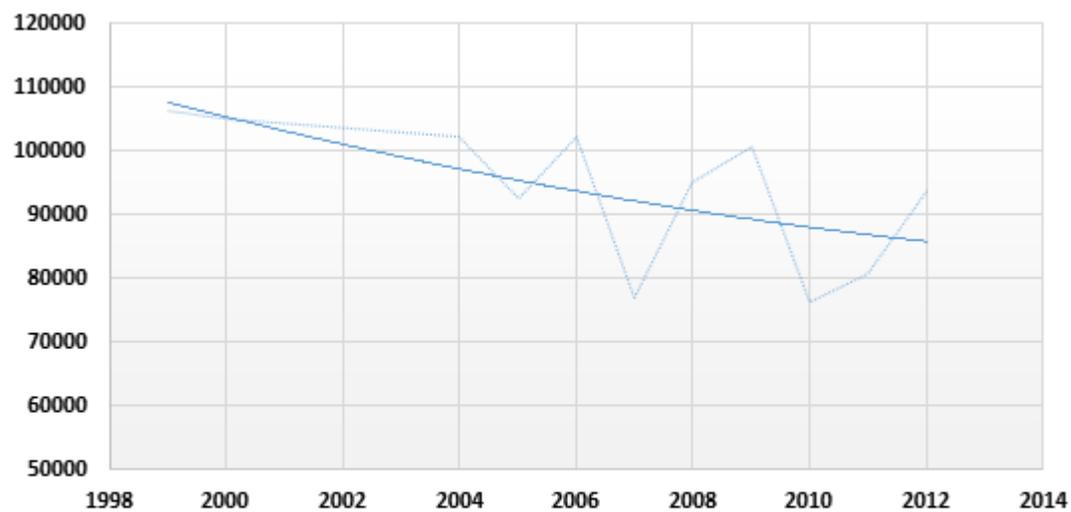


Figura 163. Comportamiento Anual Recorrido Del Viento (km) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

Por el comportamiento anual de este parámetro durante el período de análisis (1986 – 2015) en algunas estaciones de estudio se puede establecer que al igual que la velocidad, presenta una disminución respecto al período 1971 – 2000. Esta hipótesis sigue encontrando su sustento en el aumento de las precipitaciones y de las temperaturas en el área de estudio. En las figuras 161, 162 y 163 se puede observar el comportamiento anual de este parámetro en las estaciones Rafael Núñez, Ernesto Cortissoz y Galerazamba.

2.5 Humedad relativa

La humedad relativa no presenta un comportamiento uniforme en el área de estudio durante el período 1986 – 2015. En algunas estaciones ha aumentado respecto al promedio normal mientras que en otras ha disminuido. Sin embargo, los cambios que se han presentado respecto a los promedios normales no son significativos en esta variable, en términos generales no hubo variación media con relación a la serie de tiempo 1971 – 2000.

La estación donde se presenta mayor humedad relativa es en Galerazamba con una media anual de 84%, seguida de Las Flores con 82%. Las estaciones Ernesto Cortissoz, Juan de Acosta y Rafael Núñez presentan una media anual de 81%, mientras que Repelón y Simón Bolívar están en el orden de 77% y 76% respectivamente.

El análisis mensual entre los datos medios de las series de tiempo comparadas tampoco muestra diferencias significativas, no más de tres puntos porcentuales en algún caso, pero manteniendo una media de diferenciación alrededor del 1%.

Si se mira el comportamiento anual en cada una de las estaciones se aprecia que la mayor amplitud media se da en la estación Repelón, en donde entre el más húmedo y el menos húmedo hay una separación de 11%, en las estaciones Ernesto Cortissoz y Simón Bolívar las amplitudes medias anuales son de 8%, en Juan de Acosta es del 7%, en Galerazamba y Rafael Núñez del 4% y en la estación Las Flores es del 1%. Es decir, en esta última las variaciones de humedad al año son prácticamente imperceptibles.

Las estaciones meteorológicas en donde se presentan las temperaturas medias menores, son quienes tienden a presentar mayores niveles de humedad relativa, algo que físicamente es muy correlacionado debido a que a menor temperatura la capacidad de retención de vapor de agua por parte del aire es menor y es más fácil que ocurra la saturación. Hay que aclarar que la humedad relativa es una medida del grado de saturación del aire. En ese orden de ideas, la humedad relativa en el área de estudios es mayor en las estaciones en donde las temperaturas medias son inferiores y viceversa. El nivel de precipitaciones también juega un papel importante al analizar esta variable pues, por lo general, en las zonas muy lluviosas los porcentajes de saturación del aire son mayores.

A diferencia de Las Flores, la variabilidad de Repelón es muy dicente de su posición geográfica respecto a las demás estaciones, ya que esta se encuentra más lejos de la línea de costa y tiene mayor influencia de la continentalidad.

En las figuras numeradas del 164 al 171, así como en la tabla 33, se pueden apreciar los comportamientos y valores de la variable en cada una de las estaciones de estudio.

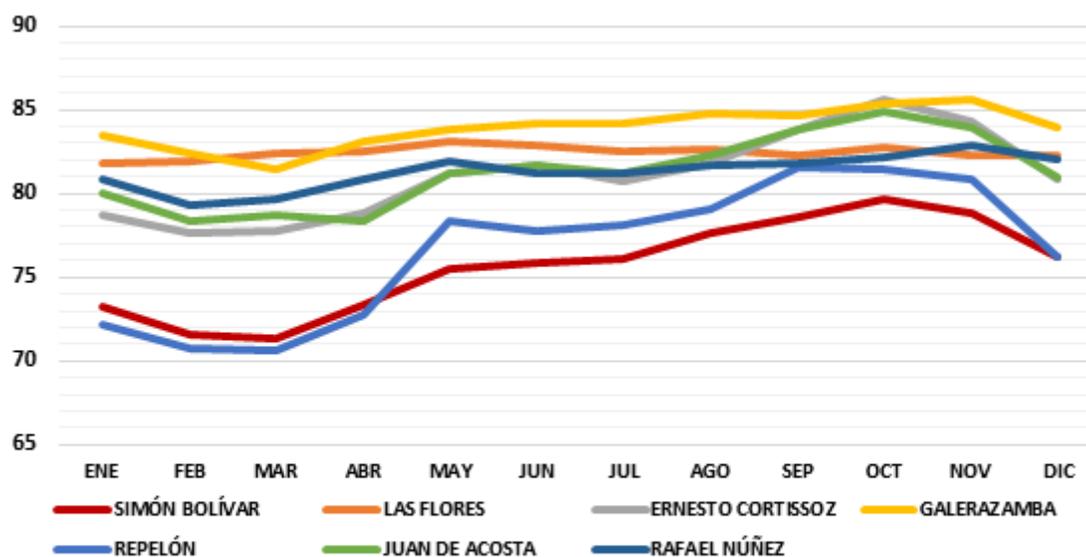


Figura 164. Comportamiento Humedad Relativa (%) En Las Estaciones De Estudio (1986 - 2015). Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

Tabla 33.

Promedios de humedad relativa en las estaciones de estudio durante el período 1986 – 2015

ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
Meses	Rafael Núñez	Ernesto Cortissoz	Galerazamba	Las Flores	Repelón	Juan de Acosta	Simón Bolívar
ENE	82	79	84	82	74	79	74
FEB	80	77	83	82	72	78	72
MAR	80	78	83	82	72	78	72
ABR	81	79	84	83	74	78	74
MAY	82	82	85	84	80	81	76
JUN	82	82	85	83	79	82	76
JUL	82	82	85	83	79	81	77
AGO	82	82	85	84	80	82	78
SEP	82	84	86	83	82	84	79
OCT	83	86	86	84	82	85	80
NOV	83	84	86	83	81	84	79
DIC	83	81	85	83	77	81	76
Valor Anual	82	81	85	83	78	81	76

Fuente: Elaboración de los autores

Figuras 165 a 171.

Comportamientos comparativos de humedad relativa en las estaciones de estudio

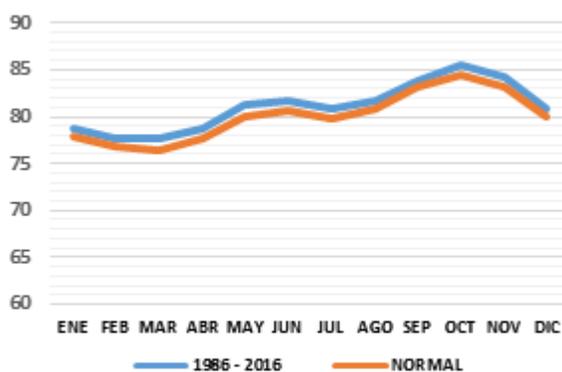


Figura 165. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Ernesto Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

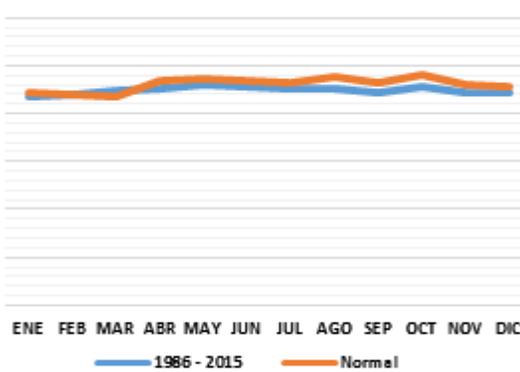


Figura 166. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

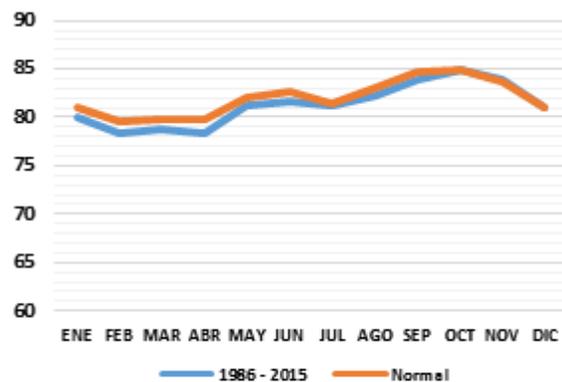


Figura 167. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Juan De Acosta. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

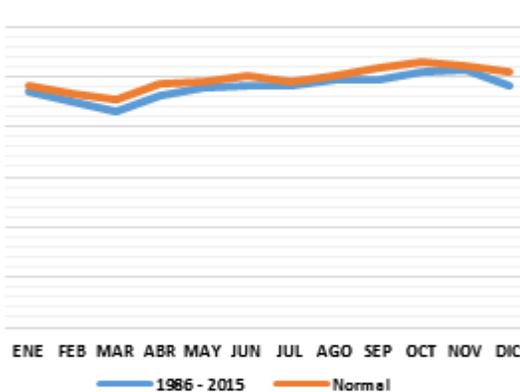


Figura 168. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

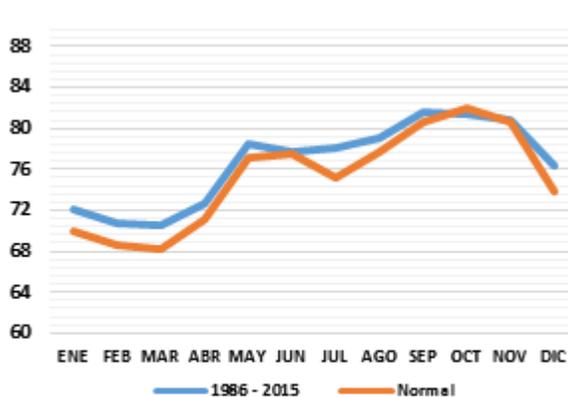


Figura 169. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

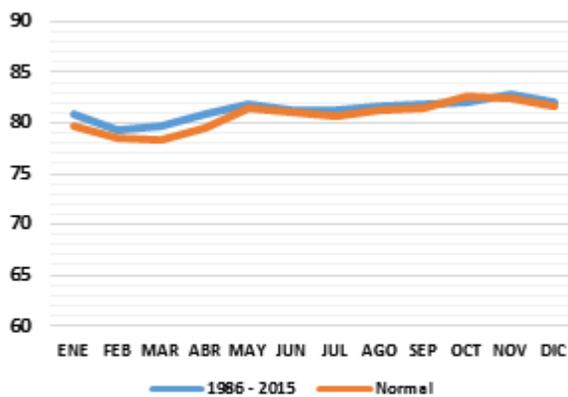


Figura 170. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

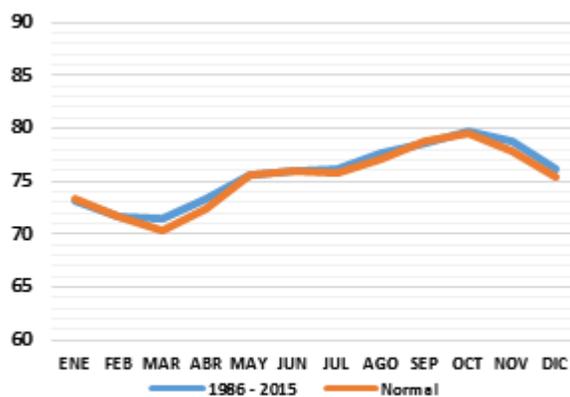


Figura 171. Comportamiento Comparativo Humedad Relativa (%) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

2.6 Evaporación

La evaporación en el área de estudio ha disminuido durante el período de análisis por dos razones fundamentales: el aumento de las precipitaciones y la disminución de la intensidad y el recorrido del viento, a pesar del aumento generalizado de las temperaturas. Hay que tener en

cuenta que la estación Juan de Acosta no presenta datos de esta variable y Simón Bolívar carece de datos normalizados para hacer las comparaciones respectivas.

En todas las estaciones analizadas se presenta disminución de la evaporación debido a las causas reseñadas. La diferencia más significativa entre los datos de la serie estudiada y los valores normales es Ernesto Cortissoz. En esta estación la disminución media anual de la evaporación es de 48 milímetros, seguida de las estaciones Rafael Núñez y Repelón las disminuciones son respectivamente 12 y 14 milímetros. En la estación Galerazamba la disminución media fue de tan solo 8 milímetros. En la estación Las Flores no se presentaron diferencias medias anuales, más allá de que en las medias mensuales si hubo diferencias marcadas. Se podría decir que en esta última se ha presentado una migración temporal, mas no de lugar, de los flujos de evaporación.

La mayor evaporación se observa en la estación Galerazamba con un valor de 164 mm en promedio anuales, seguida de la estación Las Flores con 160 milímetros y Simón Bolívar y Ernesto Cortissoz con 159 y 156 milímetros respectivamente. En Rafael Núñez y Repelón los datos medios anuales del período estudiado fueron 150 y 146 en su orden.

Los vientos son actores fundamentales para determinar los niveles de evaporación de las zonas costeras y en Las Flores y Galerazamba la disminución que se ha experimentado de ocurrido a los datos analizados ha influido en el comportamiento de la evaporación. En Las Flores se presenta la mayor amplitud anual de la variable con 92 milímetros que separan al mes de mayor evaporación con el de menor, seguida de Ernesto Cortissoz con 85 milímetros de amplitud. La que presenta menos variabilidad anual es la estación Galerazamba con 47

milímetros de amplitud media, lo que nos lleva a considerar que el efecto generado por los vientos es bastante sostenido en el año. Cuando se aprecian los totales anuales medios de milímetros evaporados las cantidades son bastante significativas y las diferencias bastante notables; por ejemplo, en la estación Ernesto Cortissoz la cantidad en que ha disminuido la precipitación es de 574 milímetros y en Repelón de 164 milímetros.

En las figuras numeradas del 172 al 178, así como en la tabla 34, se pueden apreciar los comportamientos y valores de la variable en cada una de las estaciones de estudio.

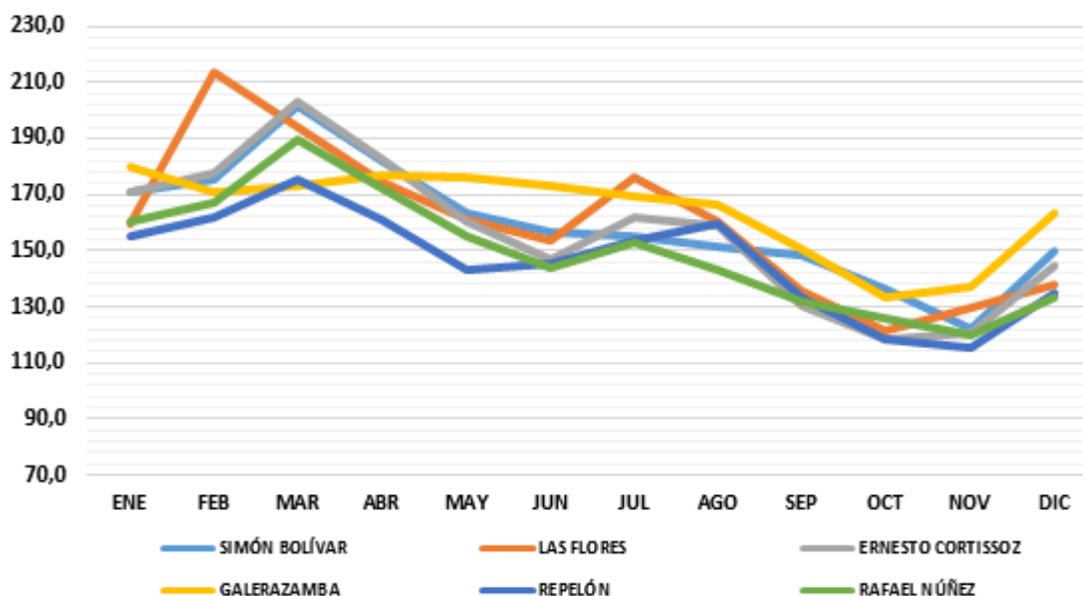


Figura 172. Comportamiento De La Evaporación (mm) En Las Estaciones De Estudio . Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Tabla 34.*Promedios de evaporación en las estaciones de estudio durante el período 1986 – 2015*

ESTACIONES METEOROLÓGICAS					
Meses	Rafael Núñez	Ernesto Cortissoz	Galerazamba	Las Flores	Repelón
ENE	157	162	180	158	158
FEB	163	172	171	164	172
MAR	181	197	173	190	173
ABR	166	177	177	174	168
MAY	150	154	176	161	151
JUN	140	140	173	152	147
JUL	147	150	169	173	157
AGO	138	151	166	155	160
SEP	128	130	150	132	132
OCT	122	117	133	125	117
NOV	114	115	137	126	114
DIC	129	139	164	128	141
Valor Anual	1734	1803	1969	1838	1791

Fuente: Elaboración de los autores

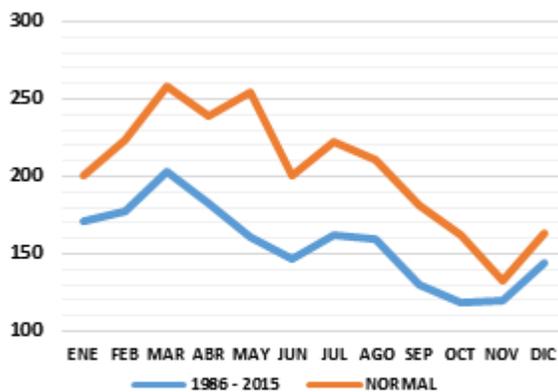
Figuras 173 a 178.*Comportamientos comparativos de evaporación en las estaciones de estudio*

Figura 173. Comportamiento Comparativo Evaporación (MM) Estación E. Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

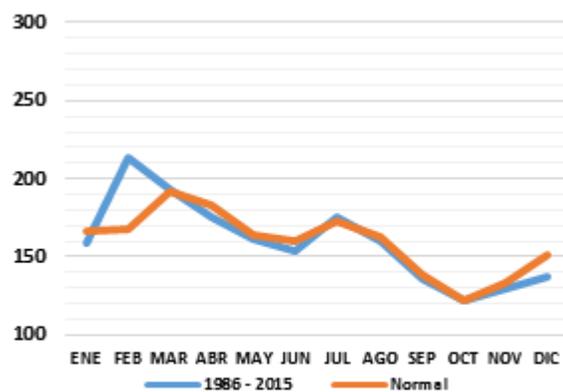


Figura 174. Comportamiento Comparativo Evaporación (mm) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

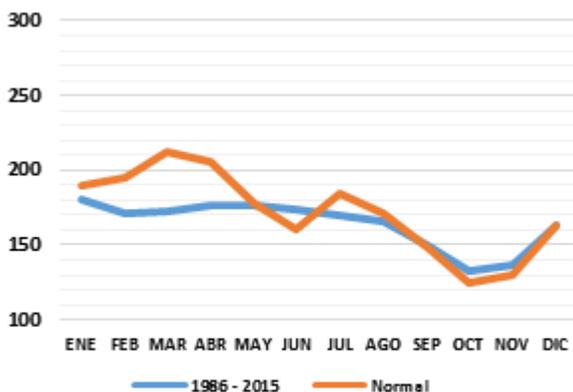


Figura 175. Comportamiento Comparativo Evaporación (mm) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

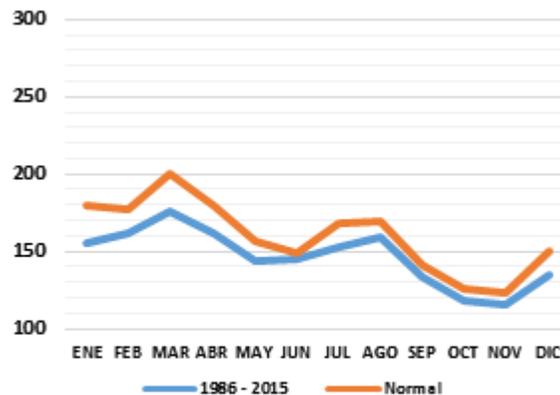


Figura 176. Comportamiento Comparativo Evaporación (mm) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

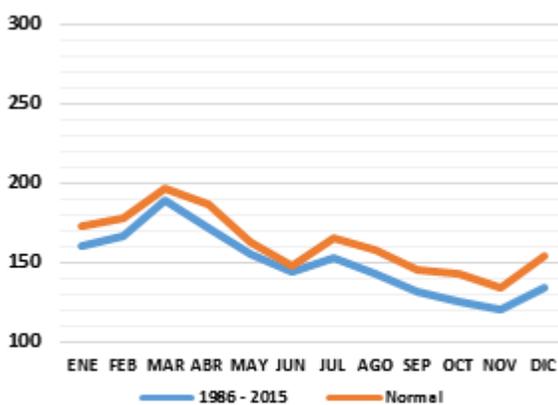


Figura 177. Comportamiento Comparativo Evaporación (mm) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

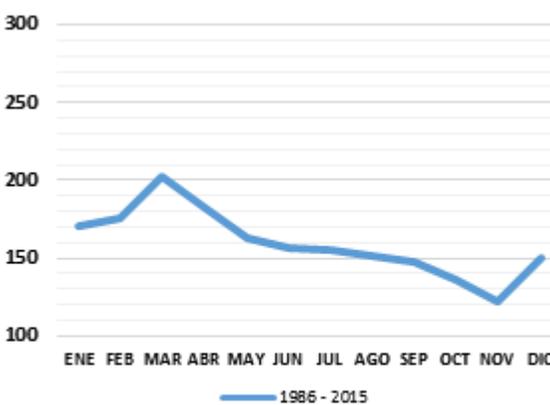


Figura 178. Comportamiento Comparativo Evaporación (mm) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

2.7 Brillo solar

El aumento de las precipitaciones y las temperaturas supone el incremento de la nubosidad convectiva sobre las diferentes estaciones empleadas para el estudio, lo que conlleva una mayor interceptación de los rayos solares por parte de la misma. Esta condición ha propiciado la disminución de las horas de brillo solar en toda el área de estudio, solo en la estación Ernesto Cortissoz la disminución es tan leve que se puede considerar igual. Solo una diferencia de ocho (8) horas existe entre los promedios multianuales de los períodos comparativos que contempla

este estudio para esta estación, que es a la postre, la estación que registra el mayor número de horas de brillo solar de todas las estudiadas con 2569 como promedio anual de los 30 años analizados.

La estación Simón Bolívar registra un valor medio anual de 2808 horas de brillo solar durante la serie de tiempo estudiada, 45 horas menos que el promedio normal. La estación Rafael Núñez registra para el período 1986 – 2015 un promedio anual de horas de brillo solar de 2493, 84 horas menos que el promedio anual normal, el cual es de 2577. La mayor disminución se presenta en la estación Galerazamba, en donde de 2385 horas de brillo solar anual como promedio normal, se pasa a un registro de 2153 horas como promedio de la serie de tiempo estudiada-, es decir, existe una disminución de 232 horas de brillo solar.

Otras disminuciones significativas en este parámetro se aprecian en las estaciones de Repelón y Las Flores. En la primera, de un promedio normal anual de 2304 se pasa a un registro de 2236 en el período 1986 – 2015; es decir, 68 horas de brillo solar menos. Para Las Flores la disminución es de 100 horas.

En la tabla 35 y en las figuras numeradas del 179 al 185 se pueden apreciar los valores y comportamientos de esta variable en el área de estudio. Para la estación Juan de Acosta no existen registros debido a que dentro de su instrumental no se encuentra el heliógrafo.

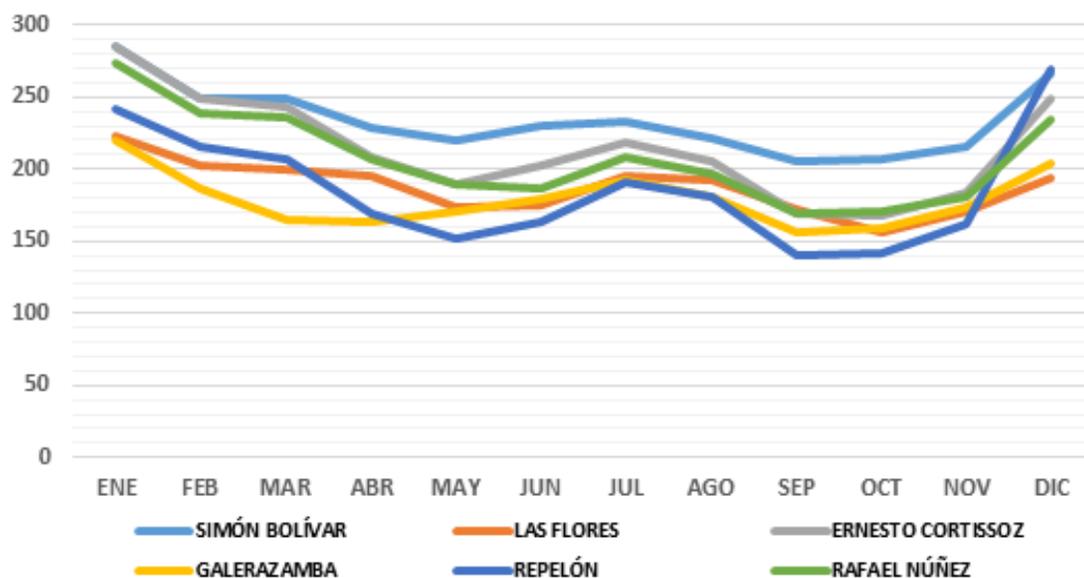


Figura 179. Comportamiento Del Brillo Solar (Horas) En Las Estaciones De Estudio. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores

Tabla 35.

Promedios de horas de brillo solar en las estaciones de estudio 1986 – 2015

ESTACIONES METEOROLÓGICAS					
Meses	Rafael Núñez	Ernesto Cortissoz	Galerazamba	Las Flores	Repelón
ENE	276	283	212	223	235
FEB	241	249	187	205	211
MAR	233	242	164	190	202
ABR	206	207	164	192	167
MAY	184	189	169	171	152
JUN	185	201	180	180	163
JUL	207	216	188	198	192
AGO	197	206	183	194	183
SEP	169	167	157	162	141
OCT	169	169	157	157	145
NOV	176	180	169	169	157
DIC	233	244	194	196	200
Total anual	2472	2553	2124	2236	2146

Fuente: Elaboración de los autores

Figuras 180 a 185.

Comportamientos comparativos de horas de brillo solar en las estaciones de estudio

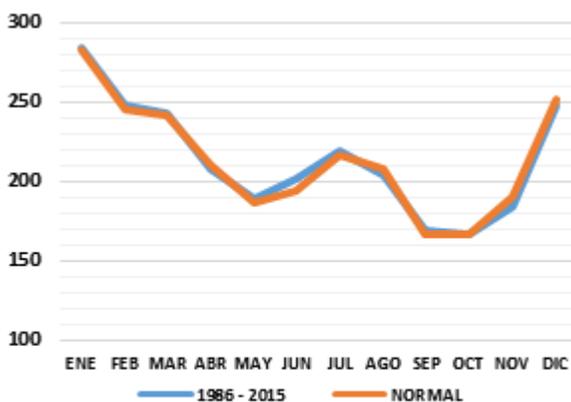


Figura 180. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación E. Cortissoz. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

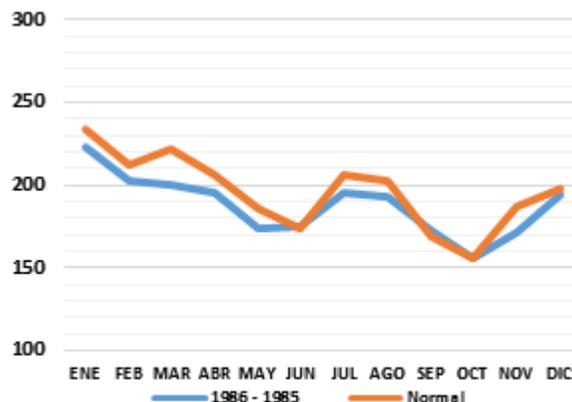


Figura 181. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación Las Flores. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

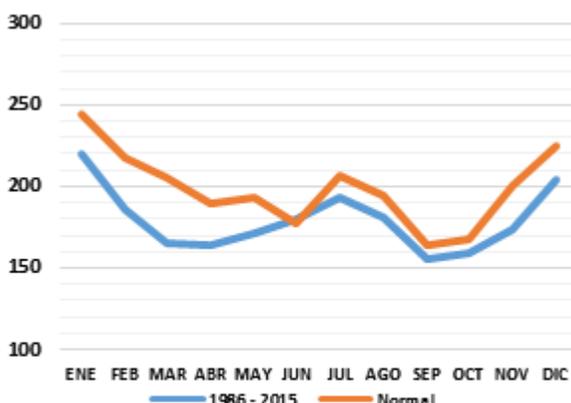


Figura 182. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación Galerazamba. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

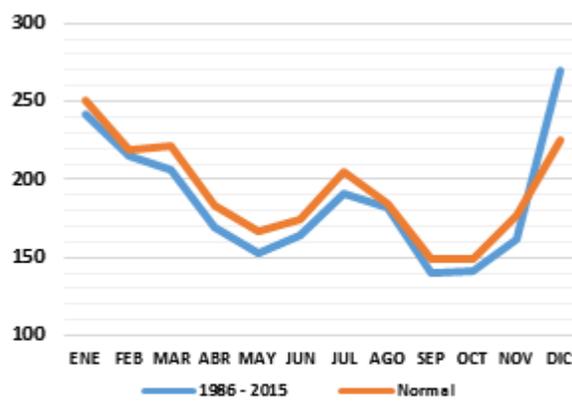


Figura 183. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación Repelón. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

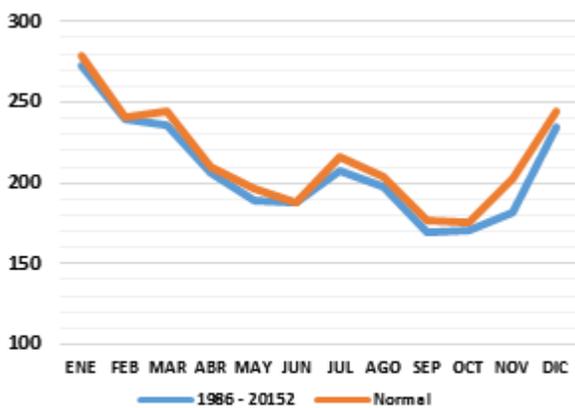


Figura 184. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación Rafael Núñez. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

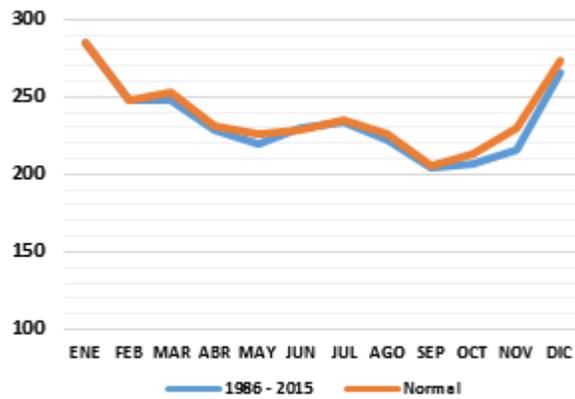


Figura 185. Comportamiento Comparativo Brillo Solar (Horas) Estación Simón Bolívar. Fuente: IDEAM. Elaboración De Los Autores.

Conclusiones

Analizando cada una de las estaciones que se tomaron como referencia para este estudio, se logró concluir que:

La amplitud térmica ha aumentado, esto se evidencia debido a que las temperaturas máximas en el promedio establecido desde el año 1986 hasta el año 2015 son superiores al promedio normal. De una manera significativa se encontraron estaciones donde las diferencias son alrededor de los 3°C o alcanzando los 4°C, lo que en términos de promedios se considera bastante significativo.

Las temperaturas mínimas tienden a disminuir en todas las estaciones de referencia, en su totalidad, el promedio multianual del tiempo de referencia es menor al promedio normal; esto lleva a considerar que las amplitudes de temperatura en el área de estudio han aumentado, debido al incremento de las máximas y disminución de las mínimas.

Las temperaturas medias presentan un aumento progresivo desde el año 1985 hasta 2015, es un aumento generalizado en toda el área de estudio; el promedio multianual de este tiempo de referencia de la serie de tiempo que se tomó para el análisis es superior al promedio normal. Esto guarda una relación directa con la teoría del calentamiento global que se impone científicamente en estos días, respecto al progresivo aumento de las temperaturas medias globales y de las consecuencias que esto trae para la humanidad, sobre todo al medio natural, ecosistemas y equilibrio natural de la vida. El incremento de las temperaturas medias se presenta en todas las estaciones de estudio, con valores variables en algunas estaciones mucho más que otras, guardando una variabilidad significativa desde el punto de vista mensual. Lo anterior evidencia

que las temperaturas aumentan sin tener un patrón puntual, sino como una tendencia generalizada, lo que hace que progresivamente década a década se tengan promedios de temperaturas superiores a lo que se contemplan en los promedios normales.

El estudio de variabilidad climática en términos de temperatura revela que hay un aumento progresivo, año por año, década por década en cada una de las estaciones, llevando una estrecha relación con la teoría del calentamiento global presentado en el último siglo.

Ahora, en cuanto a la variable de precipitación, tomando como referencia la cantidad en milímetros, se puede determinar que ha aumentado en toda el área de estudio; no se presentó ninguna estación de referencia que reportara valores de precipitación inferiores a los promedios normales, es decir, el periodo de estudio 1986 al 2015 revela que las precipitaciones han aumentado por encima de los promedios normales. Esto se encuentra directamente relacionado con los aumentos de temperatura, puesto que estos aumentos de temperatura conlleva a que exista mayores flujos de calor sobre todo desde el punto de vista convectivo, a través del mecanismo de transferencia de calor (convección), intensificando la formación de nubes de desarrollo vertical, las cuales son nubes generalmente de tormenta que tienen un amplio potencial para generar precipitaciones, por lo que da como resultado un aumento de las mismas en el área de estudio.

El aumento en las precipitaciones sobre el área de estudio se encuentra muy relacionado con las temperaturas máximas, pues luego de realizar el análisis concienzudo se determinó que las temperaturas máximas de los meses más lluviosos son las más altas; lo que hace que esta hipótesis sea bastante acertado, ya que las temperaturas altas incentivan los movimientos

ascendentes del aire y con ello la formación de nubes y la permanencia del vapor de agua en la atmósfera en mayores cantidades, lo que se traduce a que junto con otros procesos físicos se generen eventos de precipitaciones más fuertes en el área.

Ahora en cuanto a la frecuencia de las precipitaciones no presenta gran variabilidad con respecto a los promedios normales, ya que el número de días que se presentó anualmente en la mayoría de las estaciones presentaron aumentos mínimos, no se evidenció algo marcado como para determinar finalmente que las frecuencias aumentaron y que guarde una amplia relación con las cantidades que sí aumentaron. Esto permite inferir que en cuanto a frecuencias, no se encontró una diferenciación muy significativa, por lo que se concluye que la cantidad de precipitaciones que se están generando guardan el mismo nivel de concentración que las que se tomaron como punto de partida en los promedios normales.

Luego del análisis realizado a través de los índices bioclimáticos, se puede considerar que se han presentado algunos cambios en lo que se refiere al índice de aridez en el área de estudio, es decir que luego de evaluar la información de los meses en función de los promedios que se hallaron en la serie de tiempo estudiada. Se logró inferir que los regímenes de precipitaciones se han ido moviendo un poco, llegando al punto de ser modales en su mayoría, algunos meses que presentaban un comportamiento bimodal, con el tiempo se van convirtiendo poco a poco en modal; esto claramente repercute en la clasificación de los meses al considerarlos áridos, semi-áridos o húmedos. Sin embargo, al realizar un estudio a través de los indicadores bioclimáticos que se emplearon en este análisis, se concluyen básicamente que el clima de la zona es hiperoceánico, lo que se determinó que es muy congruente con la realidad, ya que son climas superoceánicos; aquí se encontró que la precipitación es moderadamente estacionaria en la zona.

En casi todas las estaciones de estudio, al aplicar los índices concernientes se detectó que el área presenta una estacionalidad moderada en cuanto a precipitaciones; además se puede considerar que el nivel de erosión es alto en forma generalizada, más allá que una u otra estación muestre un nivel moderado, el criterio general con respecto a los indicadores que se analizaron, se concluye que el nivel de erosión en la zona de estudio es alto.

Ahora, al aplicar los índices anteriormente mencionados y al realizar una comparación con las clasificaciones climáticas a las que se puede llegar teniendo solamente los valores normales, se infiere que no ha habido un cambio sustancial en la determinación en los climas del área, pero la variabilidad si nos muestra una tendencia aumentativa en los términos de temperaturas y precipitaciones.

Los análisis de la variable viento, en sus tres parámetros caracterizadores, es necesario tener en cuenta que solo se analizaron los datos de los años 1986-2015 porque los datos no permiten hacer un análisis más fidedigno, teniendo en cuenta una amplitud mayor en la línea de tiempo. En cuanto a velocidad del viento, se puede considerar que sus promedios han disminuido en estas décadas en las estaciones en las que se logró hacer este análisis con respecto a los promedios normales; lo que va correlacionado con el aumento de las precipitaciones, pues el viento al disminuir el movimiento horizontal, los movimientos ascendentes tienen mayor libertad y como se dijo anteriormente, esto facilita la formación de nubosidad que genera precipitaciones y más cuando se han tenido temperaturas más altas de lo normal. Ahora, en cuanto al recorrido del viento, se pudo determinar que éste al igual ha disminuido significativamente durante las décadas estudiadas (1986-2015) en las estaciones de estudio, mostrando una clara tendencia a disminuir como se refleja en las gráficas que están sustentando esta investigación.

Como consideración final, se determina que la variable viento ha disminuido durante la línea de tiempo que se tuvo para este estudio, manteniendo una tendencia a seguir disminuyendo, sobretodo porque las temperaturas siguen en aumento de la mano con las precipitaciones, haciéndolas más preponderantes. En cuanto a la dirección del viento, se concluye que las direcciones predominantes del viento, es decir, de donde proviene el viento son del norte y del noreste, pues son los vientos denominados alisios los que regulan el tiempo y la climatología de la zona de estudio.

La variable humedad relativa no presenta un comportamiento uniforme en el área de estudio, se encontraron algunas diferencias aunque mínimas entre estaciones, siendo la estación de Repelón y Simón Bolívar las que mayor distancia tienen del resto; las diferencias entre los valores normales y los medios hallados en el análisis de la serie de tiempo que se estudió, no presentan diferencias significativas, prácticamente se puede decir que la humedad relativa se ha mantenido sin alteraciones de consideración. Los mayores niveles de esta variable se observan en las estaciones ubicadas cerca de la línea de costa, mientras que las estaciones más alejadas de la misma tienden a disminuir. Hay un caso particular con la estación de Santa Marta, en cuanto a su ubicación, a pesar de estar en la línea de costa, por el hecho de estar a sotavento de la Sierra Nevada, se encuentra en un espacio llamado “sombra pluviométrica”, que significa que cuenta con un influjo de vientos descendentes que hace que la humedad no sea relativamente alta y la convierte en una de las más bajas de zona y así mismo de las estaciones estudiadas. La mayor variabilidad anual se encontró en la estación de Repelón, donde se determinó por medio de los análisis una amplitud del 11%, lo que lleva a deducir que en esta estación el efecto de la

continentalidad tiene mucho que ver con la variabilidad de la humedad relativa, pues esta estación es la que está más retirada de la línea de costa.

En las estaciones de estudio que se recolectaron datos completos tanto de la serie analizada como de la serie normal, se observa una disminución de la evaporación en forma generalizada. Según los análisis realizados, la disminución de esta variable tiene que ver con dos razones fundamentales: La primera es que las precipitaciones han ido en aumento, lo que conlleva a que el periodo de evaporación así como la cantidad disminuya; la otra razón es que tanto el recorrido como la velocidad han disminuido significativamente y estos son dos factores determinantes en el comportamiento de la evaporación, ya que el viento con el efecto de arrastre que genera favorece en la evaporación sobretodo de superficies acuáticas. Estos dos factores tienen gran preponderancia más allá de que las temperaturas han aumentado, puesto que este último implica un aumento de la evaporación y ésta ha disminuido fundamentalmente por la disminución de los vientos y el aumento de las precipitaciones.

La variable brillo solar está directamente relacionado con la cantidad de nubosidad que se pueda presentar en un lugar y un momento determinado. Al hacer el análisis en las estaciones de referencia se observó una tendencia y un comportamiento generalizado de disminución de las horas de brillo solar, excepto en la estación Ernesto Cortissoz, donde se encontró un leve incremento en promedio de las horas de esta variable a nivel anual, aquí se puede considerar que debido a este imperceptible aumento, las condiciones en cuanto a esta variable han permanecido estables. Este comportamiento se debe al aumento de la nubosidad producto del igual aumento de las temperaturas y las precipitaciones, ya que, si hay un aumento de estas dos variables, primero la temperatura, va a existir flujos convectivos considerables, que posteriormente generan

nubosidad de tipo convectivo (desarrollo vertical) que termina bloqueando los rayos solares en la zona descrita.

BIBLIOGRAFÍA

- ANGELIER E. 2002. Ecología de las aguas continentales. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza – España. 503 pp.
- ANEXO 3.- CLIMATOLOGÍA. Plan General de Transformación Zona Regable Andévalo Occidental Fronterizo (Huelva). Recuperado de: <https://mail.ideam.gov.co/service/home/~/?auth=co&loc=es&id=10289&part=3>
- Almorox, J. (2006). Índice de Emberguer. Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. Recuperado de: <https://mail.ideam.gov.co/service/home/~/?auth=co&loc=es&id=10289&part=4>
- Almorox, J. (2006). Índices de Aridez. Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura. Recuperado de: <https://mail.ideam.gov.co/service/home/~/?auth=co&loc=es&id=10289&part=6>
- APHA-AWWA-WPCF, 1998. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ediciones Díaz de Santos S.A. España. Páginas 1085 – 1090.
- Archivo técnico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- IDEAM. (2005). Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- OMM. (1994). Guía de prácticas hidrológicas OMM - No 168. Ginebra, Suiza.
- Pita, J. C. (2009). Climatología. Madrid: Ediciones Cátedra.

- (PNIEC 1 42) Guzmán, W., B.O. Posada, G. Guzmán y D. Morales. Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia PNIEC: Plan de Acción 2009 – 2019. INVEMAR. 72p.
- Velazco, I., Cortés, G. (2007). Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México. *Área temática 2: Erosión de suelos y desertificación*. Recuperado de: <https://mail.ideam.gov.co/service/home/~/?auth=co&loc=es&id=10289&part=2>
- Villodas, R. (2008). Hidrología, Guía de estudios. Mendoza, Argentina.