

IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES OCEANO-ATMOSFERICOS DE
MAYOR REPRESENTATIVIDAD DURANTE LA NIÑA 2010-2011 EN
COLOMBIA



KAREN ATENCIO ROLDÁN

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA
2012

IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES OCEANO-ATMOSFERICOS DE
MAYOR REPRESENTATIVIDAD DURANTE LA NIÑA 2010-2011 EN
COLOMBIA

KAREN ATENCIO ROLDÁN

Proyecto de Grado

Director: Christian Euscátegui Collazos
Ingeniero Geógrafo M.Sc en Meteorología

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

BOGOTA

2012

Agradecimientos

Este proyecto es el resultado de un gran compromiso en el que, directa o indirectamente, participaron varias personas.

Agradezco al ingeniero Christian Euscátegui por haber confiado en mí, por su paciencia y por la orientación que me ofreció para realizar este trabajo.

Al ingeniero Jorge Arrieta, profesor de la asignatura *Formulación y evaluación de proyectos*, por la asesoría brindada cuando este proyecto apenas empezaba.

A la profesora Claudia Navarrete, por sus comentarios enfocados en la parte estadística, en el proceso de elaboración de este proyecto.

A los profesores de la facultad de estadística de la Universidad Santo Tomás, por sus tutorías y por la aclaración de mis dudas cuando fue necesario.

Por último, pero no menos importante, al IDEAM, por ser una gran institución y permitir que por medio de convenios se puedan llevar a cabo esta clase de proyectos, que enriquecen nuestro conocimiento.

Gracias también a mi familia, que me apoyó en este proceso, siempre confió en mí y me dio ánimos para seguir adelante, y a mis papás, porque sin ellos no lo hubiera logrado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	17
Objetivos	18
1. Marco referencial	19
1.1 Antecedentes	19
1.2 Características océano-atmosféricas en condiciones normales	26
1.2.1 Circulación general de la atmósfera en Colombia	26
1.2.2 Circulación océano-atmosférica en condiciones normales	27
1.3 Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT)	28
1.4 ENSO - Regiones de El Niño	30
1.5 Oscilación Madden and Julian (OMJ)	31
1.6 Vaguada tropical de alta tropósfera	33
1.7 Ondas del Este del Caribe	34
1.8 Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno El Niño	34
1.9 Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de La Niña	35
1.10 Climatología de Colombia	36
1.11 Indicadores océano-atmosféricos	44
1.11.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)	44
1.11.2 Índice de Oscilación del Sur (IOS)	44
1.11.3 Índice Oceánico de El Niño (ONI)	45
1.11.4 Vientos 850 mb (175°West-140°West) 5°N-5°S del Pacífico Central	45

1.11.5 Vientos zonales del Ecuador. 200 Milibares (165°West-110°West)	45
1.11.6 Nivel medio del mar en Tumaco	46
1.11.7 Promedio de temperatura a 500 mb	46
1.11.8 Índice de la evolución de El Niño (TNI)	46
1.11.9 Western Hemisphere Warm Pool (WHWP)	46
1.11.10 Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)	47
1.11.11 Índice Multivariado de ENSO (MEI)	47
1.11.12 Humedad relativa a 700mb (Humedad de la Amazonia)	47
1.11.13 Oscilación Cuasi-bienal (QBO)	48
2. Metodología	48
2.1 Conformación de la base de datos de lluvia para las principales ciudades de Colombia	48
2.1.1 Catálogo de estaciones meteorológicas	48
2.1.2 Mapas de anomalías	48
2.2 Análisis exploratorio	66
2.2.1 Análisis de indicadores océano-atmosféricos	66
2.2.2 Conformación de la base de datos de indicadores océano-atmosféricos	74
2.3 Métodos estadísticos	85
2.3.1 Análisis de correlación simple	85
2.3.2 Análisis de correlación múltiple	87
2.3.3 Tabla de resumen y validación del modelo	89
3. Resultados	89
3.1 Resultado de analisis de correlación simple	90
3.1.1 Bogotá	90

3.1.2	Medellín	91
3.1.3	Barranquilla	94
3.1.4	Armenia	95
3.1.6	Arauca	98
3.1.7	Cartagena	99
3.1.8	Cúcuta	101
3.1.9	Mocoa	104
3.1.10	Villavicencio	105
3.1.11	Leticia	105
3.1.12	Quibdó	106
3.2	Resultado del análisis de correlación múltiple SPSS	106
3.2.1	Bogotá	107
3.2.2	Medellín	111
3.2.3	Barranquilla	114
3.2.4	Cali	117
3.2.5	Bucaramanga	120
3.3	Resultado del análisis de correlación múltiple <i>Statgraphics</i>	122
3.3.1	Bogotá	123
3.3.2	Medellín	126
3.3.3	Barranquilla	128
3.3.4	Cali	131
3.3.5	Bucaramanga	134
3,4	Tabla resumen	136
3.5	Validación del modelo	140

4.	Complementarios	150
4.1	Listado de indicadores océano-atmosféricos	150
4.2	Información adicional	150
5.	Conclusiones	151
6.	Bibliografía	154

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Alteraciones más probables de precipitación en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno típico de El Niño.	23
Figura 2. Alteraciones de la precipitación en Colombia, ocasionadas por el fenómeno El Niño de 1991-1992.	23
Figura 3. Anomalías del nivel y temperatura del mar en Tumaco 1995-1998	24
Figura 4. Condiciones océano-atmosféricas normales	28
Figura 5. Posición media de la ZCIT para los periodos de enero y julio	29
Figura 6. Regiones de El Niño	30
Figura 7. Sección transversal sobre el Ecuador de la propagación de la Oscilación Madden and Julian desde el océano Índico al Pacífico Occidental	32
Figura 8. Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de El Niño	35
Figura 9. Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de La Niña	36
Figura 10. División regional de Colombia	37
Figura 11. Patrón de la lluvia total anual en el país	39
Figura 12. Comportamiento de las anomalías de la precipitación durante el año 2009	52
Figura 13. Mapa de anomalía de precipitación en enero de 2010	53
Figura 14. Mapa de anomalía de precipitación en febrero de 2010	54
Figura 15. Mapa de anomalías de precipitación en marzo de 2010	55
Figura 16. Mapa de anomalías de precipitación en abril de 2010	56
Figura 17. Mapa de anomalías de precipitación en mayo de 2010	57
Figura 18. Mapa de anomalías de precipitación en junio de 2010	58

Figura 19. Mapa de anomalías de precipitación en julio de 2010	59
Figura 20. Mapa de anomalías de precipitación en agosto de 2010	60
Figura 21. Mapa de anomalías de precipitación en septiembre de 2010	61
Figura 22. Mapa de anomalías de precipitación en octubre de 2010	62
Figura 23. Mapa anomalías de precipitación en noviembre de 2010	63
Figura 24. Mapa de anomalías de precipitación en diciembre de 2010	64
Figura 25. Mapas de anomalías de precipitación de enero a mayo de 2011	65
Figura 26. Ubicación de datos TSM (Atl. N y Atl. S)	67
Figura 27. Ubicación IOS (Tahití – Darwin)	68
Figura 28. Ubicación ONI (5°N-5°S, 120°-170°W)	68
Figura 29. Ubicación de regiones de El Niño	69
Figura 30. Ubicación de vientos 850mb y 200mb	69
Figura 31. Ubicación del nivel del mar en Tumaco	70
Figura 32. Ubicación promedio de temperatura a 500mn en el Pacífico Tropical	71
Figura 33. Ubicación TNI	71
Figura 34. Ubicación WHWP	72
Figura 35. Ubicación PDO	72
Figura 36. Ubicación MEI	73
Figura 37. Ubicación de humedad relativa 700mb	73
Figura 38. Ubicación QBO	74
Figura 39. Índice Oscilación del Sur (IOS)- Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	75
Figura 40. Índice Oceánico de El Niño (ONI) – Comportamiento de anomalías de 1986 a 2010	76

Figura 41. Niño 1+2 (TSM) – Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011	76
Figura 42. Niño 3 (TSM) – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	77
Figura 43. Niño 4 (TSM) - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011	78
Figura 44. Niño 3,4 (TSM) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	78
Figura 45. Vientos 850mb - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011	79
Figura 46. Vientos 200mb - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011	79
Figura 47. Nivel medio del mar en Tumaco – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	80
Figura 48. Promedio de temperatura 500mb - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011	81
Figura 49. Índice de la Evolución de El Niño (TNI) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	81
Figura 50. WHWP - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	82
Figura 51. Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	83
Figura 52. Índice Multivariado de ENSO (MEI) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	83
Figura 53. Humedad relativa a 700mb – Comportamiento (%) de 1940 a 2011	84
Figura 54. Oscilación Cuasi-bienal (QBO) – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011	85
Figura 55. Correlación simple Bogotá - Pt Vs. IOS (Izq.) - TNI (Der.)	90
Figura 56. Correlación simple Medellín - IOS en tiempo t, t-1, t-2	91
Figura 57. Correlación simple Medellín - ONI en tiempo t, t-1, t-2	91
Figura 58. Correlación simple Medellín - Niño 3 en tiempo t, t-1, t-2	92
Figura 59. Correlación simple Medellín - Niño 3,4 en tiempo t, t-1, t-2	93
Figura 60. Correlación simple Medellín - TNI en tiempo t, t-1, t-2	93

Figura 61. Correlación simple Medellín - MEI en tiempo t, t-1, t-2	94
Figura 62. Correlación simple Barranquilla - TSM (Atl.N) en tiempo t, t-1,	94
Figura 63. Correlación simple Armenia - IOS, Niño 3,4, Nivel medio del mar en Tumaco en tiempo t	95
Figura 64. Correlación simple Armenia - WHWP en tiempo t-1	96
Figura 65. Correlación simple Cali - Niño 1+2, Niño 3, Niño 3,4 en tiempo t	97
Figura 66. Correlación simple Cali - Vientos 850mb y humedad relativa 300mb en tiempo t-1	97
Figura 67. Correlación simple Arauca - WHWP en tiempo t y t-1	98
Figura 68. Correlación simple Arauca - Vientos 200mb en tiempo t, t-1 y t-2	98
Figura 69. Correlación simple Arauca - Nivel medio del mar en Tumaco, promedio de temperatura en tiempo t y TNI en un tiempo t-2	99
Figura 70. Correlación simple Cartagena - TSM (Atl.N) en tiempo t, t-1, t-2	99
Figura 71. Correlación simple Cartagena - Niño 1+2 en tiempo t, t-1, t-2	100
Figura 72. Correlación simple Cartagena - IOS, Niño 3, Niño 3,4, vientos 850mb en tiempo t	100
Figura 73. Correlación simple Cúcuta - IOS en tiempo t, t-1, t-2	101
Figura 74. Correlación simple Cúcuta - ONI en tiempo t, t-1, t-2	102
Figura 75. Correlación simple Cúcuta - Niño 3 en tiempo t, t-1, t-2	102
Figura 76. Correlación simple Cúcuta - Niño 3,4 en tiempo t, t-1, t-2	103
Figura 77. Correlación simple Cúcuta - TNI en tiempo t, t-1, t-2	103
Figura 78. Correlación simple Mocoa - TSM (Atl.N) en tiempo t, TSM (Atl.S) en tiempo t-2	104
Figura 79. Correlación simple Villavicencio - TSM (Atl.S) en tiempo t	105
Figura 80. Correlación simple Leticia - TSM (Atl.N) en tiempo t-2	105
Figura 81. Correlación simple Leticia -Vientos 850-200mb en tiempo t	106

Figura 82. Histograma residuos tipificados. Bogotá	111
Figura 83. Gráfico P-P normal de regresión residuo tipificado. Bogotá	111
Figura 84. Histograma y gráfico P-P normal de regresión residuos tipificado. Medellín	114
Figura 85. Histograma y gráfico P-P normal de regresión residuos tipificados. Barranquilla	116
Figura 86. Histograma y gráfico P-P normal de regresión residuo tipificado. Cali	119
Figura 87. Histograma y gráfico P-P normal de regresión residuo tipificado. Bucaramanga	122
Figura 88. Gráfico del modelo resultante para Bogotá	125
Figura 89. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Bogotá	126
Figura 90. Gráfico del modelo resultante para Medellín	127
Figura 91. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Medellín	128
Figura 92. Gráfico del modelo resultante para Barranquilla	130
Figura 93. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Barranquilla	131
Figura 94. Gráfico del modelo resultante para Cali	133
Figura 95. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Cali	133
Figura 96. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Bucaramanga	135
Figura 97. Gráfico de comportamiento de residuos en el modelo para Cali	136
Figura 98. Validación del modelo para la Región Andina	141
Figura 99. Validación del modelo para la Región Caribe e Insular	143
Figura 100. Validación del modelo para la Región Pacífica	145
Figura 101. Validación del modelo para la Región Amazónica	146

Figura 102. Validación del modelo para la Región de la Orinoquía 147

Figura 103. Comprobación del modelo para Bogotá, Medellín, San Andrés y Cúcuta, meses después de la ocurrencia de La Niña 148

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Promedio de precipitación de las principales ciudades de Colombia	41
Tabla 2. Número de días con lluvia en las principales ciudades de Colombia	41
Tabla 3. Catálogo meteorológico de las principales ciudades de Colombia	50
Tabla 4. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos. Bogotá	108
Tabla 5. Correlación de Pearson para indicadores océano-atmosféricos. Bogota.	109
Tabla 6. Variables introducidas al modelo para Bogotá	109
Tabla 7. Resumen del modelo para Bogotá	110
Tabla 8. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos. Medellín	112
Tabla 9. Correlación de Pearson de indicadores para Medellín	112
Tabla 10. Variables introducidas al modelo para Medellín	113
Tabla 11. Resumen del modelo para Medellín	113
Tabla 12. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos. Barranquilla	114
Tabla 13. Correlación de Pearson de indicadores para Barranquilla	115
Tabla 14. Variables introducidas al modelo para Barranquilla	115
Tabla 15. Resumen del modelo para Barranquilla	116
Tabla 16. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos. Cali	117
Tabla 17. Correlación de Pearson de indicadores para Cali	118
Tabla 18. Variables introducidas en el modelo para Cali	118

Tabla 19. Resumen del modelo para Cali	119
Tabla 20. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos. Cali	120
Tabla 21. Correlación de Pearson de indicadores para Bucaramanga	120
Tabla 22. Variables introducidas en el modelo para Bucaramanga	121
Tabla 23. Resumen del modelo para Bucaramanga	121
Tabla 24. Indicadores seleccionados en el modelo para Bogotá	123
Tabla 25. Indicadores seleccionados en el modelo para Medellín	126
Tabla 26. Indicadores seleccionados en el modelo para Barranquilla	128
Tabla 27. Indicadores seleccionados en el modelo para Cali	131
Tabla 28. Indicadores seleccionados en el modelo para Bucaramanga	134
Tabla 29. Tabla resumen de la Región Caribe e Insular	137
Tabla 30. Tabla resumen de la Región Andina	138
Tabla 31. Tabla resumen de la Región Pacífica	139
Tabla 32. Tabla resumen de la Región Amazónica	139
Tabla 33. Tabla Resumen de la Región de la Orinoquía	140

RESUMEN

La necesidad de determinar indicadores de mayor representatividad durante el fenómeno de La Niña 2010-2011, surgió de la preocupación ante la fuerte ola invernal que tuvo Colombia en el 2010, donde la situación fue de máxima alerta, con la muerte de 319 personas, la afectación a 256 mil familias (Informe a la BBC Mundo de Carlos Iván Márquez, director del Socorro Nacional de la Cruz Roja Colombiana), al sector agrícola, productivo y a la infraestructura vial, además de generar inmensas preocupaciones en materia de salud, debido a la intensidad de las lluvias, a los numerosos problemas causados por inundaciones, a la falta de agua potable y a las bajas temperaturas, en relación con los promedios de cada época.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como principal objeto establecer a partir de un análisis claro, preciso y lógico, un análisis de relación que permitiera establecer cuáles fueron los indicadores océano-atmosféricos presentes en el océano Pacífico Tropical y en el Atlántico Tropical y Oriental, y que tuvieron mayor incidencia en el comportamiento de la lluvia en las principales ciudades del país, desde enero de 2010 hasta mayo de 2011.

Por ello, se describe el marco conceptual dentro del cual se analizaron los indicadores océano-atmosféricos del Pacífico Tropical y del Atlántico Norte y Sur, en diferentes escalas de tiempo. Se definen las variables explicativas y la explicada y se describen algunas características de aquellos índices que caracterizan procesos que pueden tener incidencia en la variabilidad de precipitación en Colombia; se analiza la correlación, tanto simple, como múltiple, entre las variables analizadas y se seleccionan las de mayor grado de asociación. Con base en los índices seleccionados, se construyó un modelo para cada ciudad, con datos estadísticamente significativos, donde se expone la relación de la precipitación y los indicadores seleccionados; esto se precisó por medio de tablas resumen por región y por gráficos de comparación, donde se formalizó la validación del modelo y se comprobó o rechazó la relación de los indicadores con la precipitación de cada una de las 29 ciudades analizadas.

Palabras clave:

Indicadores – Precipitación – Correlación – Fenómeno de La Niña – Colombia.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el país está sufriendo grandes efectos, debido a la variabilidad climática. Los cambios en la circulación atmosférica alteran el clima global, con lo que se producen pérdidas de vidas humanas y se afectan la agricultura, los recursos hídricos y otras actividades. La Niña es un fenómeno de variabilidad climática, en una escala de tiempo menor al cambio climático; sin embargo, algunos autores han empezado a relacionar una mayor ocurrencia de estos eventos como efecto del cambio climático. La Niña en sí misma se asocia con un enfriamiento de la temperatura del agua en el océano Pacífico, lo cual modifica la circulación del aire y causa efectos en todo el mundo.

Es por esto que es necesario analizar la información y datos océano-atmosféricos en relación con el fenómeno de La Niña e identificar sus variables más relevantes aplicadas a diferentes regiones del país, con especial interés en los diversos sectores socioeconómicos y ambientales, porque de esta manera se podrían evitar grandes pérdidas de vidas humanas, así como materiales (cultivos, ganado, infraestructura vial e institucional) y evitar que un fenómeno como éste afecte a gran escala diferentes aspectos socioeconómicos en el país.

En la actualidad no se ha establecido una metodología clara para determinar la relación de indicadores océano-atmosféricos y el comportamiento de la lluvia en Colombia, y es una preocupación el impacto negativo que ha tenido la variabilidad climática de los últimos años en algunos de los elementos del clima.

La identificación de los indicadores durante La Niña 2010-2011 se podría considerar como un producto de gran importancia para el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, ya que con ello contribuiría con una herramienta más de predicción climática basada en un método objetivo, el Análisis de correlación múltiple, aprovechando la información que ofrecen los centros internacionales especializados y los registros existentes en el IDEAM.

Como resultado importante de este estudio, se demostró la fuerte relación que se presenta entre los indicadores IOS y ONI con la variabilidad climática del 60% de las 29 ciudades analizadas de Colombia.

El proyecto en el campo investigativo se constituye en el marco del convenio institucional entre el IDEAM y la universidad, y representa un requisito académico válido para optar por el grado de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la serie de indicadores océano-atmosféricos de mayor relación con el comportamiento de la lluvia en el país, entre los años 2010 y 2011.

Objetivos específicos

- Establecer una metodología basada en la prevención del riesgo, que pueda ser extrapolada a otros eventos de El Niño/La Niña.
- Crear una base de datos robusta para el establecimiento de relaciones océano-atmósfera que sean *claramente* influyentes en la variabilidad climática de nuestro país.
- Realizar la distribución espacial de los indicadores océano-atmosféricos de mayor relevancia en Colombia por peso porcentual.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Colombia es un país con gran variedad climática por su ubicación en la zona tropical. El clima del país varía de cálido, hasta el frío extremo.

Por recibir la influencia de los vientos Alisios y de la zona de convergencia intertropical, Colombia es influenciada a su vez por los efectos de los fenómenos de El Niño y La Niña.

Según datos históricos documentados por la Comisión Colombiana del Océano, la presencia del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) es conocida aproximadamente hace 400 años. Se ha estudiado siguiendo el comportamiento de algunos elementos meteorológicos, desde finales del siglo XIX, en ambos extremos de la cuenca del Pacífico.

Aproximadamente, desde 1950 se registran los inicios de los fenómenos de La Niña y El Niño, basados en los datos del indicador Índice Oceánico El Niño (ONI), ya que estos valores marcan la intensidad de los eventos. Según la historia, el suceso que ha tenido mayor ocurrencia es El Niño, con un total de 20 episodios desde 1950 a 2010, seguido por La Niña, con un total de 15 episodios en la misma línea de tiempo. Para poder conocer con mayor claridad la intensidad y ocurrencia de los eventos se presenta la siguiente tabla:

Tabla 1. Histórico de El Niño y La Niña

<u>El Niño</u>	<u>Highest ONI Value</u>	<u>La Niña</u>	<u>Lowest ONI Value</u>
JJA 1951 – DJF 1951/52	1.2	ASO 1949 – JAS 1950	-1.4
DJF 1952/53 – JFM 1954	0.8	SON 1950 – JFM 1951	-0.8
MAM 1957 – JJA 1958	1.8	AMJ 1954 – NDJ 1956/57	-1.7
OND 1958 – FMA 1959	0.6	AMJ 1964 – DJF 1964/65	-0.8
MJJ 1963 – JFM 1964	1.4	JJA 1970 – DJF 1971/72	-1.3
AMJ 1965 – MAM 1966	1.9	AMJ 1973 – JJA 1974	-2.0
JAS 1968 – DJF 1969/70	1.1	SON 1974 – MAM 1976	-1.7
AMJ 1972 – FMA 1973	2.1	ASO 1983 – DJF 1983/84	-0.9
ASO 1976 – JFM 1977	0.8	SON 1984 – ASO 1985	-1.1
ASO 1977 – JFM 1978	0.8	AMJ 1988 – AMJ 1989	-1.9
AMJ 1982 – MJJ 1983	2.2	ASO 1995 – FMA 1996	-0.9
JAS 1986 – JFM 1988	1.6	JJA 1998 – FMA 2001	-1.7
AMJ 1991 – MJJ 1992	1.6	OND 2005 – FMA 2006	-0.9
ASO 1994 – FMA 1995	1.2	JAS 2007 – MJJ 2008	-1.5
AMJ 1997 – MAM 1998	2.4	JJA 2010 – MAM 2011	-1.5
AMJ 2002 – JFM 2003	1.3		
JJA 2004 – DJF 2004/05	0.7		
ASO 2006 – DJF 2006/07	1.0		
JJA 2009 – MAM 2010	1.6		

Fuente: Climate Prediction Center/NCEP. (2012) ENSO cycle: recent evaluation current status and predictions. [Diapositivas] Recuperado de www.cpc.ncep.noaa.gov

Como se puede observar, la tabla en rojo representa los eventos cálidos de El Niño y la tabla azul los eventos fríos de La Niña. Los episodios con mayor intensidad se presentaron entre 1972-1973, 1982-1983, 1988-1989, 1997-1998 y 2010-2011.

El evento de La Niña más documentado en Colombia se inició en mayo de 1988 y terminó en marzo de 1989, ya que presenta un análisis más detallado del suceso ocurrido.

Como es común en Colombia, en un evento de La Niña los volúmenes de precipitación aumentan específicamente en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, lo que hace que se generen en algunos casos problemas con los excesos de agua y de humedad, pero también efectos benéficos en las áreas tradicionalmente secas.

En razón de lo anterior, los impactos positivos de los excesos de precipitación sobre las actividades agropecuarias durante el evento de La Niña de 1988-1989 en Colombia, cobijaron las áreas agroindustriales sobre el valle del Magdalena en los departamentos de Tolima, Huila y Valle del Cauca, las áreas ganaderas y agrícolas del norte de Sucre y en la mayor parte de los departamentos de Bolívar y Magdalena, con excepción de las zonas de inundación del centro de Bolívar y la cuenca del río San Jorge. Además, los análisis de humedad de los suelos y la

información pluviométrica de 1988-1989 permiten inferir que los impactos negativos de los excesos de humedad pudieron afectar principalmente parte del Viejo Caldas y del centro sur de Antioquia y las áreas inundables de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Cesar.¹

En Colombia siempre se había presentado un clima sin muchas variantes, aunque siempre ha existido la variabilidad climática y su efecto en las lluvias y las temperaturas; solo desde el año de 1992 se analizan con mayor profundidad estos aspectos, ya que no solo en el país sino en todo el mundo se presencié un cambio extraño en el clima. De acuerdo con un artículo de la revista Semana publicado el 27 de julio de 1992, titulado *Cuando caliente el sol*, el Medio Oriente soportó el invierno más frío de los últimos 40 años, algunas zonas de los Estados Unidos tuvieron el invierno más caliente, mientras al sur de California, donde nunca llueve, los aguaceros causaron dramáticas inundaciones y así el clima cambió drásticamente en muchos países del mundo.

En este mismo año, Colombia superó los récords históricos de temperaturas máximas. Según información del que en ese tiempo era el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT, en algunas zonas de Colombia la temperatura media durante el fenómeno de El Niño aumentó un grado centígrado en sectores de Bolívar y sucre; entre uno y dos grados en Antioquia, Tolima y Valle; dos grados en el sur de Cauca y norte de Nariño, y entre dos y dos y medio grados en el centro y el sur de la Costa Pacífica. Pero para 1992 la oleada de calor fue tan alta, que a finales de marzo de ese año, cuando los pronósticos señalaban las primeras lluvias, el país soportaba las mayores temperaturas de su historia. Entre el 16 y el 25 de marzo de 1992, Bogotá registró 26°C; ciudades como Villavicencio, Cali, Medellín, Bucaramanga y Buenaventura estuvieron entre 30 y 34 grados centígrados. En Valledupar y Puerto Carreño alcanzó a subir a 40°C y en Barrancabermeja se registraron 43°C.²

Las temperaturas fueron tan altas, que el fenómeno provocó sequías en el país, lo que afectó los niveles de los embalses generadores de energía eléctrica y una crisis en la empresa de servicios públicos del Estado, llamada Interconexión Eléctrica S.A. El presidente de ese entonces, César Gaviria, decidió tomar medidas de racionamiento.

¹ INSTITUTO DE HODROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno frío del pacífico "La Niña" en Colombia en segundo semestre de 1988 y el primer semestre de 1989. Bogotá DC, 1998. 86 p. ISBN 958-8067-00-6.

² Cuando Caliente el Sol. En: Especiales Revista Semana, 1992. Bogotá DC. Ed 530 [En Línea]. [citado 20 noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.semana.com/especiales/cuando-caliente-sol/50176-3.aspx>.

En ciudades como Bogotá hubo racionamiento energético hasta por nueve horas. Otra de las medidas tomadas por el gobierno fue la de cambiar la hora de uso UTC -5 a UTC -4, la cual fue llamada popularmente como *La hora Gaviria*.

En esta época los científicos señalaron que, por primera vez en la historia de la humanidad, las influencias del clima no se debían exclusivamente a fenómenos naturales, sino que estaban siendo creadas por el hombre (Semana, 1992).

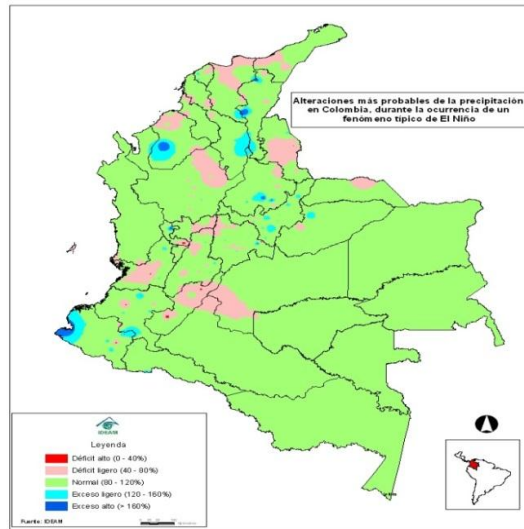
Se puede decir que fue en este momento cuando se ratificó que las actividades del hombre intensificaban los fenómenos climatológicos de la Tierra.

De acuerdo con los datos históricos nombrados anteriormente, las personas definen a Bogotá como el lugar de Colombia donde más se ha apreciado el impacto del efecto invernadero a largo plazo. Según el meteorólogo Max Henríquez, en su aporte para el artículo *Cuando calienta el sol*, de la revista Semana: “La reducción en la humedad del aire, la producción de contaminantes y la cementación de zonas, han llevado a que las lluvias sean menos frecuentes pero más intensas. La ciudad fría, nublada y de lloviznas casi constantes de hace unas décadas se ha convertido en una ciudad de sol y fuertes aguaceros”.

En Colombia, el fenómeno de El Niño ya había hecho apariciones en los años 1982-1983 y de 1986-1987, con altas consecuencias, pero no con la misma magnitud.

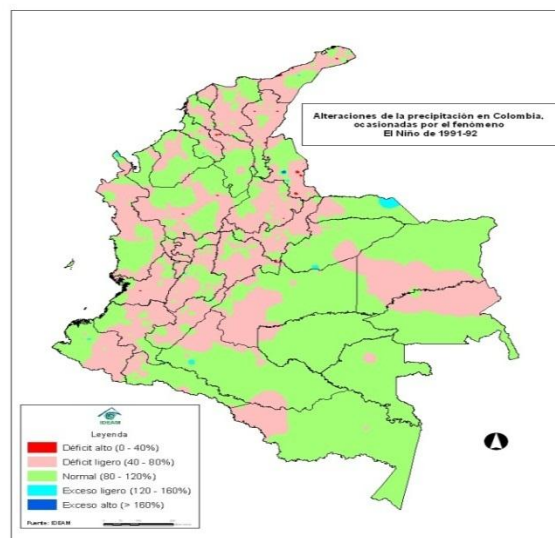
Para poder comparar el fenómeno de El Niño del año de 1992, con una alteración normal de un fenómeno de El Niño en Colombia, se presentan las siguientes graficas:

Figura 1. Alteraciones más probables de precipitación en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno típico de El Niño.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Meteorología/clima. Mapas de Precipitación y Temperatura Fenómeno El Niño. Recuperado de www.ideam.gov.co

Figura 2. Alteraciones de la precipitación en Colombia, ocasionadas por el Fenómeno El Niño de 1991-1992.



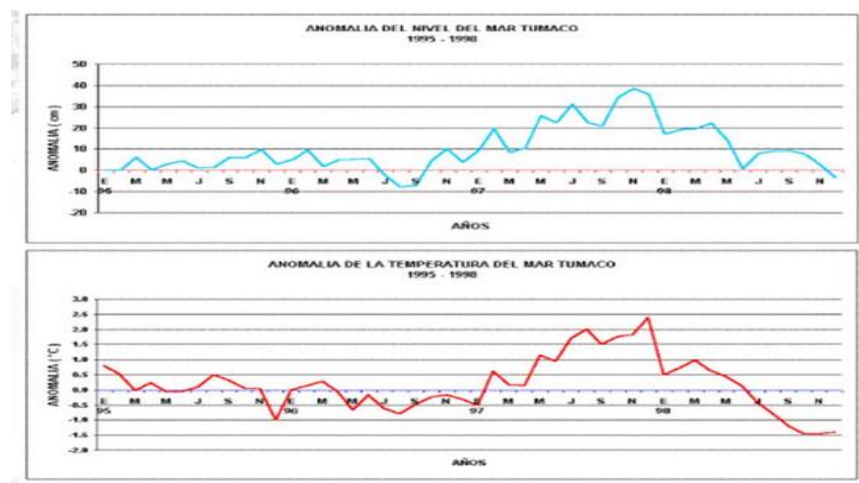
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Meteorología/clima. Mapas de precipitación y temperatura del fenómeno de El Niño. Recuperado de www.ideam.gov.co

Como se puede ver en la figura, se presentó un déficit ligero de lluvia en aproximadamente el 60% de las ciudades del país, superando de manera significativa las posibles alteraciones que debe causar un fenómeno de El Niño en condiciones normales en Colombia.

Siguiendo con los antecedentes de Colombia en cuanto a fenómenos de El Niño y de La Niña, se puede encontrar relevante el fenómeno de El Niño de 1997-1998, considerado uno de los más fuertes en cuanto a perturbaciones en los sistemas atmosféricos y a las anomalías climáticas que generó.

Según un artículo publicado por *Tumaco, Perla del Pacífico*, haciendo recopilación de una exposición realizada en la Biblioteca Luis Ángel Arango, referencia a El Niño de 1998 como un cambio que se pudo apreciar, sobre todo, en el Litoral Pacífico colombiano; el nivel del mar en Tumaco permaneció por encima de sus valores medios durante la mayor parte del tiempo en 1997. A partir de febrero de 1998, el comportamiento del nivel del mar se caracterizó por ligeras fluctuaciones, al presentarse un incremento de la temperatura superficial del mar en la región, se registró un aumento de la salinidad durante la mayor parte del evento. Se registraron valores de salinidad de 2 ppm por encima de los valores normales; esto produjo cambios en la composición de especies de fitoplancton.³

Figura 3. Anomalías del nivel y temperatura del mar en Tumaco 1995-1998



Fuente: *Tumaco, Perla del Pacífico*. Recuperado de www.tumaco-galeon.com

³ Tumaco, Perla del Pacífico. efecto del fenómeno del niño en los sistemas atmosféricos de gran escala y en el clima global y regional. En: (Biblioteca Luis Ángel Arango, Colombia, 2009). [en línea]. [citado 30 noviembre de 2011]. Disponible en: www.tumaco-galeon.com

Posteriormente, en los años 2007-2008 se manifiesta en Colombia el fenómeno de La Niña, causando 120.000 damnificados por aguaceros e inundaciones.⁴ Para el director del IDEAM, Ricardo Lozano, “desde 2007, el país no tiene condiciones climáticas normales” (Revista Semana, 2010).

Con referencia a lo anterior, el 2008 fue especialmente lluvioso para el país, ya que en gran parte del territorio nacional, los niveles de precipitación acumulados superaron el valor medio mensual multianual, exceptuando las zonas del piedemonte llanero y las regiones de la Amazonia y Orinoquía.⁵ Este fenómeno se considera especial, ya que se extendió hasta el primer semestre de 2009; después hubo una interrupción de la fase fría de El Niño-Oscilación Sur (ENSO) y se dio paso a una época calurosa a mediados de 2009, cuando se presenciaron un sin número de incendios forestales. En 2010, La Niña vuelve a tomar fuerza. Según los datos históricos del IDEAM, los meses de julio y noviembre de 2010 fueron catalogados como los más lluviosos en toda la historia de la meteorología del país.

En la región Caribe están los ejemplos más claros. En diciembre, Cartagena tuvo un promedio de lluvias de 34,8 milímetros, sin embargo, solo en el primer día del mes llovió el doble. Los departamentos del norte del país fueron los más afectados por las inundaciones. Además, la zona Caribe se sumó a la temporada de huracanes que se activa en el mes de junio de todos los años, hasta el 30 de noviembre.⁶

La Dirección de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior informó que la ola invernal atribuida al fenómeno de La Niña, causó 300 muertos y afectó a más de 1.200.000 personas en 28 de los 33 departamentos del país.⁷ La zona más afectada fue la del Caribe, en los departamentos de Atlántico, Bolívar y Cesar.

En relación con este último, se dice que en 2010 Colombia sufrió la peor ola invernal de todos los tiempos. Posteriormente llegaría el 2011 con secuelas del invierno, que de enero a mayo fue disminuyendo consecuentemente. Aunque La Niña disminuyó sus eventos en los meses siguientes, las lluvias siguieron

⁴ UMPIERREZ, Olga. Análisis de Impactos Hidrológicos de “El Niño”. [Compilación Estudios e Investigación en línea]. [citado 2 diciembre de 2011] Disponible en: < degasatel.mob.cl >

⁵ SALINAS RAMIREZ, J.M. IMPACTO DEL FENOMENO DE LA NIÑA Y EL PERIODO INVERNAL. Súper Intendencia de servicios públicos Domiciliarios, 2008. [Diapositivas]. [citado 2 diciembre de 2011]. Disponible en: <gemini.udistrital.edu.co>

⁶ EL PEOR INVIERNO DE LA HISTORIA. En: Revista Semana, 2010. [en línea]. [citado 2 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.semana.com/clima/elpeorinviernodelahistoria>

⁷ DEFENSA CIVIL COLOMBIANA. Junta portal las mercedes. Bogotá DC, 2011. [en línea]. [citado 4 diciembre de 2011]. Disponible en: <jcdportalmercedes.blogspot.com> <www.defensacivil.gov.co>

presentes en el diario vivir de los colombianos y siguen presentes al inicio del 2012.

Por todo lo dicho, Colombia ingresa en la lista de los países que más han sido afectados por el cambio climático. El país debe estar preparado en materia económica, política y de recursos para cualquier evento que se pueda presentar en los años siguientes, ya sean oleadas de frío o calor.

Aquí se debe adicionar la gestión del riesgo como una prioridad en el país, para poder estar atentos a cualquier cambio y responder de forma adecuada evitando destrucción masiva y pérdida de vidas humanas.

1.2 Características océano-atmosféricas en condiciones normales

1.2.1 Circulación general de la atmósfera en Colombia

Es necesario conocer el comportamiento normal de la circulación océano-atmosférica, para entender adecuadamente los cambios que el ENSO genera.

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, CIOH, y la *Escuela Naval Almirante Padilla* para el bicentenario de Colombia crearon un documento donde explican la circulación general de la atmósfera en Colombia, de la siguiente manera:

La posición estratégica del país en la zona tropical, hace que el territorio sea participe de las mayores proporciones de energía que el Sol le transfiere a la Tierra. En los trópicos se absorbe la mayor parte de la energía solar que luego se transfiere a la atmósfera, configurándose de esta forma el motor que determina el desplazamiento del aire entre latitudes ecuatoriales y polares, mediante una circulación meridional.⁸

Cerca de la superficie, en la zona tropical se desarrollan vientos provenientes del Noreste y del Sureste, denominados Alisios, como consecuencia del efecto Coriolis generado por la rotación de la Tierra en torno a su eje. El encuentro de estos vientos cerca al Ecuador obliga

⁸ CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL CARIBE. CIOH- ESCUELA NAVAL "ALMIRANTE PADILLA". Circulación General de la Atmósfera en Colombia. BICENTENARIO de la independencia de Colombia 1810-2010. [Boletín informativo en línea]. [citado 4 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.Cioh.org.co/meteorología/climatología/01-infoGeneralClimatCaribeCol.pdf>

al aire cálido ecuatorial a elevarse, según la denominada rama ascendente de la celda de Hadley. Este movimiento ascendente provoca un enfriamiento del aire por expansión, condición que favorece la condensación y el desarrollo de las nubes.

En la alta troposfera, ese aire se aleja del Ecuador bajo la forma de una corriente de retorno hacia los polos y de nuevo la fuerza de Coriolis interviene provocando una desviación de esta corriente. En el hemisferio norte, la dirección de esa corriente se orienta progresivamente hacia el Noreste; en el hemisferio Sur se orienta al Sureste. Una parte de este aire de retorno desciende en los cinturones de altas presiones subtropicales, hacia los 30 grados de latitud, provocando un calentamiento del aire por compresión y reduciendo el desarrollo de las nubes. En las proximidades de la superficie, los vientos en dichas regiones son generalmente variables y débiles antes de constituirse en vientos Alisios que luego alcanzan el Ecuador. De esta manera se forma en cada hemisferio un circuito meridional en el movimiento del aire, ese ciclo de elevación y descenso se conoce como Circulación o Celda de Hadley (CIOH, 2010).

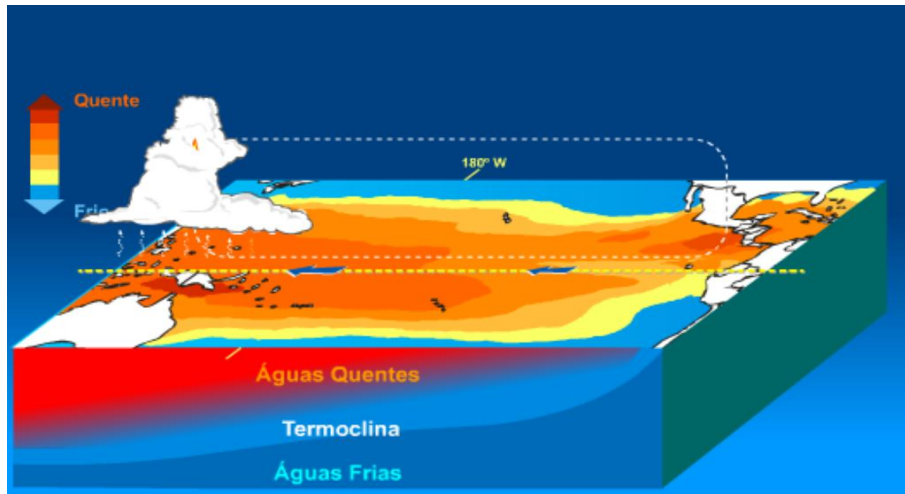
1.2.2 Circulación océano-atmosférica en condiciones normales

La rotación de la Tierra arrastra la atmósfera y el agua de los océanos e impulsa los vientos Alisios al Sur y el Norte de Ecuador terrestre, formando la zona de convergencia que se mueve entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, que cubre de aire caliente y húmedo la subregión.⁹

En condiciones normales, las aguas del Pacífico en América del Sur, desde Chile hasta el sur de Ecuador, son frías, ricas en nutrientes y generan un ecosistema con abundante vida marina. El frío de las aguas se debe a la corriente de Humboldt o del Perú que proviene de las aguas de la Antártida. A veces los vientos Alisios se debilitan y atenúan la corriente fría de Humboldt, lo que hace que desde el otro lado del Pacífico, desde Indonesia y Australia, las aguas cálidas del océano lleguen a la costa suramericana entre Chile y el sur de Ecuador y desplacen las aguas frías de la corriente Humboldt (Biblioteca virtual para atención y prevención de desastres, 2011).

⁹ BIBLIOTECA VIRTUAL PARA ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE DESASTRES. Por Encima de la Tierra. El Niño y La Niña. Perú. Pag.151. [en línea]. [citado 4 diciembre 2011]. Disponible en: <bvpad.indeci.gob.pe/html/home>

Figura 4. Condiciones océano-atmosféricas normales



Fuente: Animación basada en la figura cedida por el Dr. Michael Mcphaden del Pacific Marine Environmental laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, USA. Recuperado de <ENSO.cptec.inpe.br>

En condiciones normales, las aguas superficiales relativamente más frías se encuentran en el Pacífico Ecuatorial Oriental, a lo largo de la costa Oeste de América del Sur, y en el Oeste del Pacífico Ecuatorial se encuentran las aguas relativamente más cálidas, cerca de la costa de Australia y la región de Indonesia. Los vientos Alisios soplan de este a Oeste, a favor de afloramiento cerca de la costa Oeste de América del Sur.

1.3 Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT)

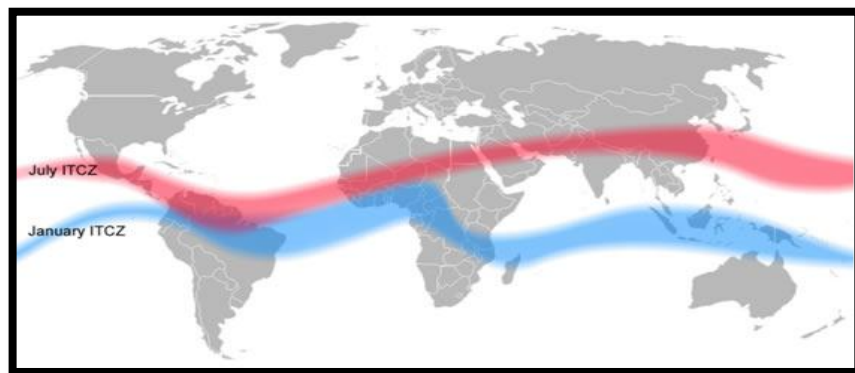
La Comisión Colombiana del Océano,¹⁰ indica que la Zona de Confluencia Intertropical es un cinturón de bajas presiones atmosféricas sobre toda la zona ecuatorial, cuyo comportamiento es de vital importancia sobre áreas continentales (el caso del Norte de Australia, Indonesia y la selva amazónica), más que sobre áreas oceánicas, generando abundante lluvia, por cuanto en ella confluyen los vientos Alisios tanto del Sureste como del Noreste, cargados de humedad, que producen movimientos ascendentes de dichas masas de aire húmedo (convección) que condensan y luego precipitan.

¹⁰ COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO. Generalidades sobre el Fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación Sur). [Documento consecutivo en línea]. [citado 15 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.occ.gov.co/fnino.htm#ocho>

La ZCIT se desplaza en sentido latitudinal (entre 3° S y 13° N, aproximadamente), con un retraso aproximado de dos meses con el movimiento aparente del Sol. El ciclo ascendente de la ZCIT se cierra sobre la zona de los subtrópicos, donde las altas presiones, además de otras consecuencias, ocasionan escasez de precipitaciones (Comisión Colombiana del Océano, 2011).

Sobre Colombia y las áreas vecinas, el segmento del océano Pacífico Oriental alcanza su posición extrema meridional en los dos grados de latitud Norte entre enero y febrero, mientras que en diciembre está un poco más al Norte, pero esta posición extrema puede alcanzar los cinco grados de latitud Sur durante eventos de El Niño; el segmento continental aparece fraccionado e independiente del anterior y se ubica entre los cinco y diez grados de latitud Sur. Entre marzo y mayo, el segmento del Pacífico se mueve hacia el Norte y su posición cerca de la costa está entre dos y siete grados de latitud Norte. Entre junio y agosto, el segmento del Pacífico se ubica al inicio del período en los diez grados de latitud Norte, penetrando a la Región Caribe; el segmento continental presenta una inclinación Suroeste-Noreste sobre el Oriente del territorio nacional, desplazándose también hacia el Norte y pasando del Ecuador a ocho grados de latitud Norte. Entre septiembre y noviembre, el segmento del Pacífico comienza su desplazamiento hacia el Sur y se registran posiciones desde once a siete grados de latitud Norte; la rama continental también inicia su recorrido hacia el Sur, moviéndose de los ocho grados de latitud Norte al Ecuador sobre la Orinoquia y la Amazonia, perdiendo lentamente la inclinación hasta casi coincidir con las líneas de los paralelos. A su paso por las distintas regiones, la ZCIT va determinando las temporadas lluviosas en Colombia (CIOH, 2011).

Figura 5. Posición media de la ZCIT para los periodos de enero y julio



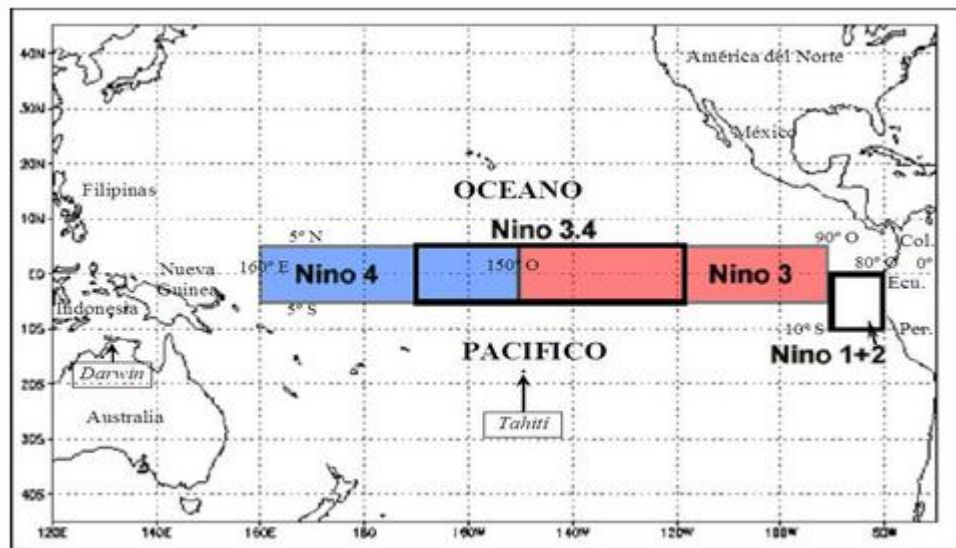
Fuente: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. CIOH. Recuperado de www.cioh.org.co

1.4 ENSO - Regiones de El Niño

El ENSO es un ciclo de interacción océano-atmósfera que se desarrolla en las aguas ecuatoriales del océano Pacífico Tropical; está determinado por una serie de anomalías en los patrones climáticos y atmosféricos locales y regionales, principalmente; este fenómeno consta de dos fases (un ciclo): la fase cálida, conocida como El Niño, y la fase fría conocida como La Niña. El ENSO actúa como el modo más importante y fundamental de variabilidad interanual del sistema océano-atmosférico en el Pacífico Tropical, aunque no siempre los componentes actúen en simultáneo, ni con la misma intensidad (Comisión Colombiana del Océano, 2011).

Para facilitar la comprensión del ENSO, los científicos fraccionaron el área de estudio del Pacífico Tropical en cuatro zonas, las cuales cubren las áreas donde se desarrolla principalmente el fenómeno. Estas zonas están numeradas y son: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3,4 y Niño 4.

Figura 6. Regiones de El Niño



Fuente: Climate Prediction Center. NOAA. El Niño/ La Niña Southern Oscillation. Recuperado de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products>.

Las regiones Niño 4 y 3 se encuentran ubicadas en el lado occidental del Pacífico y se caracterizan por presentar las máximas anomalías de temperatura superficial del mar. La región Niño 3,4 es una subregión comprendida entre las regiones Niño 4 y 3, y representa un buen indicador de la correlación entre la temperatura superficial del mar y el índice de Oscilación del Sur.¹¹ La región Niño 1+2 incluye las costas de Perú y Ecuador, incluidas las Islas Galápagos; esta región representa un indicador de los cambios inducidos por El Niño en los patrones de variabilidad de la costa del Pacífico de América del Sur (Jiménez, 2008).

Ubicación de las regiones de El Niño:

Índice	Latitud	Longitud
Niño 1+2	0°- 10° S	90° - 80° O
Niño 3	5°N-5°S	150°-90°O
Niño 3,4	5°N-5°S	170°-120°O
Niño 4	5°N-5°S	160°E-150°O

1.5 Oscilación Madden and Julian (OMJ)

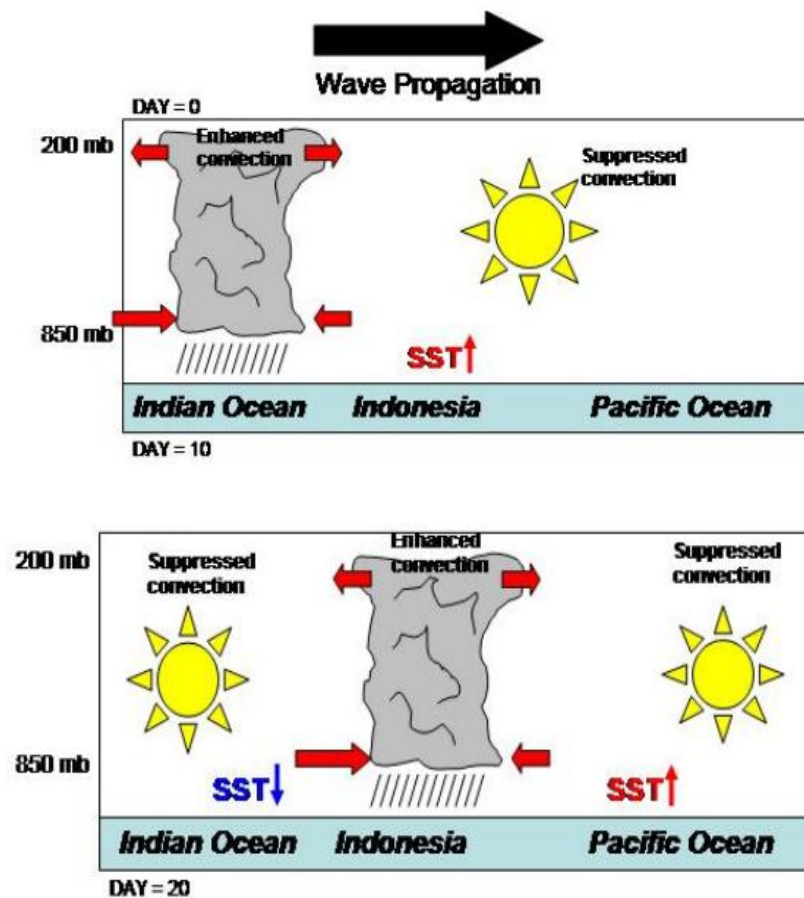
La oscilación de Madden and Julian es una onda intraestacional que se propaga hacia el Este en las zonas tropicales de todo el mundo, y es responsable de la mayoría de variaciones del clima en los trópicos. También, de variaciones en algunos parámetros océano-atmosféricos, como: la velocidad, la dirección del viento, la nubosidad, las precipitaciones y la TSM, entre otros. La OMJ es un componente natural del sistema océano-atmósfera, y la duración típica de las ondas o del ciclo es de aproximadamente 30-60 días (Adaptado de Madden and Julian Oscillation. NOAA). La oscilación Madden-Julian tiene un gran impacto en los patrones de precipitación y temperatura de casi la totalidad de las zonas tropicales y subtropicales en el mundo.

La OMJ se caracteriza por la propagación hacia el Este en las regiones de mayor lluvia tropical, principalmente en los océanos Índico y Pacífico. La anomalía de precipitación es la primera evidencia sobre el océano Índico, y sigue siendo

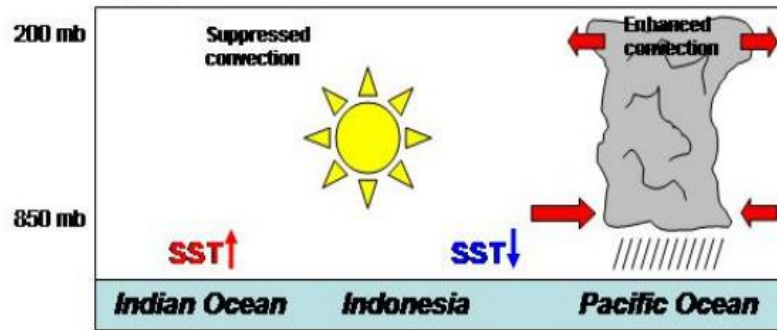
¹¹ JIMÉNEZ, R. El Niño – La Niña. [en línea] Aspectos Biológicos de El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial, En: INOCAR. Instituto Oceanográfico de la Armada, (Ecuador, 2008) pp. 309. [citado 15 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.inocor.mil.ec/modelamiento/elniño/nina-generalidades.php>

evidente, ya que se propaga hacia el Este o a lo largo de las aguas cálidas de la zona occidental y central del Pacífico Tropical. Cuando las temperaturas de las aguas oceánicas son frías en el Pacífico Oriental, el patrón de las lluvias tropicales es poco, pero a veces vuelve a aparecer en el Atlántico Tropical y África. Estas características se extienden por todo el mundo y, por tanto, proporcionan información importante sobre las regiones de movimiento ascendente y descendente, asociadas a las fases de oscilación.¹²

Figura 7. Sección transversal sobre el Ecuador de la propagación de la Oscilación Madden and Julian desde el océano Índico al Pacífico Occidental



¹² GOTTSSHALCK, J; KOUSKY, V; HIGGINS, W. NOAA. [en línea]. Madden and Julian oscillation. Estados Unidos. [citado 16 diciembre de 2011]. Disponible en: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/procip/Cwlink/MJO



Fuente: Climate Prediction Center. NOAA. Madden and Julian Oscillation. Recuperado de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.

*Las flechas rojas indican la dirección del viento y las flechas azules/rojas indican los niveles negativos/positivos de las anomalías de temperatura superficial del mar.

1.6 Vaguada tropical de alta tropósfera

La vaguada tropical es un eje de baja presión de niveles altos en la tropósfera, que separa la dorsal subtropical de la cuña ecuatorial en el Pacífico Norte o en el Atlántico Norte, cerca de Sudamérica. En el Atlántico Norte y el Caribe (10°N a 20°N) se presenta entre junio y noviembre y se traslada desde el Noroccidente de la costa de África hasta el extremo Suroccidental del Caribe y en ocasiones alcanza el oriente del Pacífico ecuatorial. Este sistema genera núcleos nubosos que dependen de la disponibilidad del calor y la humedad. La vaguada puede aparecer como una cadena de células ciclónicas de cientos de kilómetros de largo y en algunas ocasiones puede ser tan profunda, que se puede observar desde la superficie. Los mayores núcleos nubosos están al Sur de la línea de vaguada. La convección más intensa está asociada con la circulación ciclónica bien desarrollada en niveles altos y con la pendiente vertical al Suroriente, decreciendo con la altitud. La TUTT es uno de los sistemas más importantes en la convección del Caribe, ya que se desempeña como un canal de salida para organizar dicha convección. Su ubicación y orientación también juega un papel importante en la formación de ciclones tropicales en el Caribe Occidental.¹³

¹³ IDEAM. Atlas Climatológico Colombiano. [libro virtual]. PARTE I Aspectos Nacionales. p. 13. [citado 16 diciembre de 2011]. Disponible en:

1.7 Ondas del este del Caribe

Son esencialmente perturbaciones de tipo ondulatorio en la profunda corriente del Este tropical, las que en su mayoría presentan curvatura ciclónica y deforman el campo de presión. La importancia de las ondas del Este, frecuentes en la temporada lluviosa del Norte del país, radica en que el paso de una de ellas sobre un lugar dado produce alteraciones en el estado del tiempo, el cual se va deteriorando paulatinamente. Además, aunque sólo un número reducido de ellas se intensifica, gran parte de los huracanes tiene su origen en ellas. Tienen espesores de seis a ocho kilómetros, en promedio unos 2.000 kilómetros de longitud y se desplazan a velocidades de 15 a 30 kph.

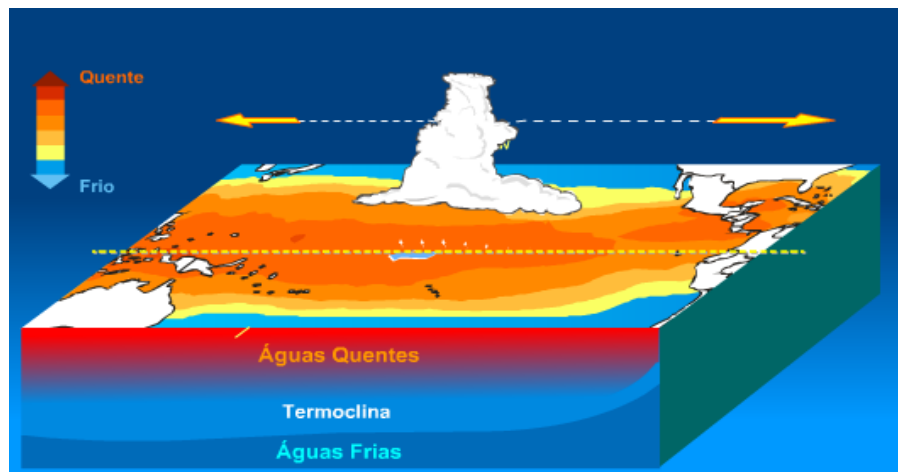
La mayoría están precedidas por la caída de valores de presión atmosférica con pocas nubes, sin lluvias ni nieblas. La nubosidad se incrementa a medida que se aproxima el eje de la onda y luego comienzan a observarse núcleos con nubosidad de altura media y alta y algunos chubascos. El viento cambia de dirección del Noreste al Este. La temperatura no sufre mayores cambios o pasa a ser ligeramente más alta. A la derecha del eje, el viento gira del Este al Sureste acompañado de tormentas, sube la presión y aumenta el contenido de humedad de la masa de aire. Una vez que la onda, en su avance hacia el Oeste, ha cruzado sobre determinado lugar y se aleja del mismo, las condiciones del tiempo se normalizan y se imponen nuevamente los vientos Alisios (IDEAM, 2011).

1.8 Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de El Niño

El Niño se refiere a la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal, desde los sectores del océano Pacífico central y oriental, hasta las costas del Norte de Perú, Ecuador y el sur de Colombia, con un promedio de duración de 12 meses, debido al debilitamiento de los vientos Alisios tanto del Noreste como del Sureste, ocasionando un aumento en la Temperatura Superficial del Mar (TSM), aumento del nivel del mar y hundimiento de la termoclina en el Pacífico occidental, reduciendo considerablemente la productividad biológica y dando lugar a una migración de peces (Comisión Colombiana del Océano, 2011).

Cuando se presenta un evento de El Niño en Colombia, se conoce por el incremento de la temperatura del aire durante las horas del día, por la tendencia a una disminución significativa de la temperatura en las horas de la madrugada (heladas) y por el descenso de los volúmenes de precipitación.

Figura 8. Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de El Niño



Fuente: Animación basada en la figura cedida por el Dr. Michael Mcphaden del Pacific Marine Environmental laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, USA. Recuperado de <ENSO.cptec.inpe.br>

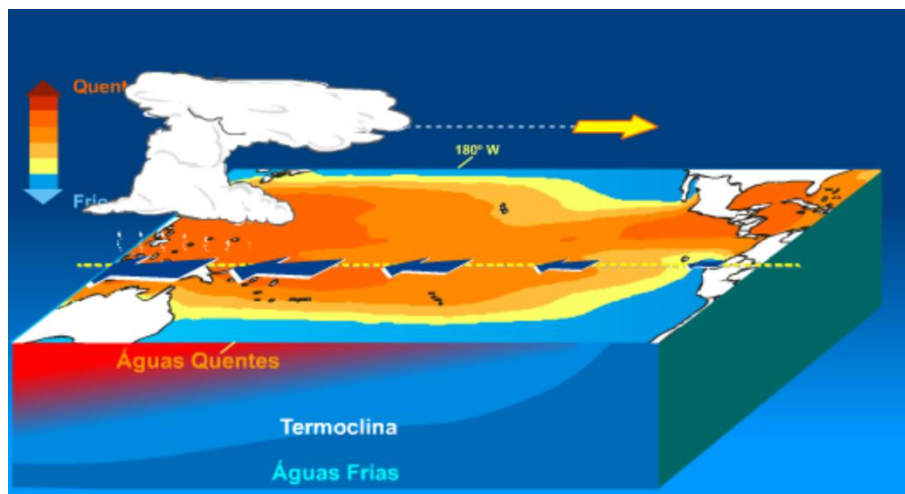
*Las condiciones que indican la presencia de El Niño son los vientos más débiles y el aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Ecuatorial Oriental. Como consecuencia, hay una disminución de aguas más frías que afloran cerca de la costa Oeste de América del Sur.

1.9 Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de La Niña

La Niña, también conocida como Anti-Niño, es el evento que, como su nombre lo indica, presenta condiciones contrarias a El Niño. Consiste en un enfriamiento de las aguas del Pacífico Tropical oriental. Este fenómeno ocurre cuando los vientos Alisios se intensifican, quedando en la superficie las aguas profundas más frías del Pacífico Ecuatorial y, por consiguiente, se disminuye la TSM (Comisión Colombiana del Océano, 2011).

Cuando en Colombia se presenta un fenómeno de La Niña, se producen varios cambios en el medio, por las condiciones frías que trae este evento; se puede observar un aumento en el volumen de la precipitación, en algunos casos es tan alto, que genera grandes inundaciones y movimientos de remoción en masa, ya que se produce un ablandamiento de los suelos y una disminución en la temperatura del aire.

Figura 9. Condiciones océano-atmosféricas bajo el efecto de un fenómeno de La Niña



Fuente: Animación basada en la figura cedida por el Dr. Michael McPhaden del Pacific Marine Environmental laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, USA. Recuperado de <ENSO.cptec.inpe.br>

*Las condiciones que indican la presencia del fenómeno de La Niña están asociados con la intensificación de los vientos Alisios y la disminución de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Ecuatorial Oriental. Las aguas adyacentes a la costa Oeste de América del Sur se vuelven aún más frías, debido a la intensificación del movimiento.

1.10 Climatología de Colombia

Colombia posee un clima tropical por encontrarse en latitudes bajas. El sistema montañoso es el principal factor determinante del clima en cada una de las regiones colombianas, circunstancia por la cual tiene diferentes pisos térmicos clasificados de la siguiente manera:

Cálido (Alturas inferiores a 1000 msnm, temperatura superior a 24° C, cubre el 80% de la extensión del país).

Medio o templado (Entre 1000 y 2000 msnm, temperatura entre 17 y 24° C, corresponde al 10% del país).

Frío (Alturas entre 2000 a 3000 msnm, temperaturas entre 12 y 17° C, cubre el 8%).

Paramo (Tierras localizadas a más de 3000 msnm, con temperaturas inferiores a 12° C) (Nevados de Colombia, 2011).

Figura 10. División regional de Colombia

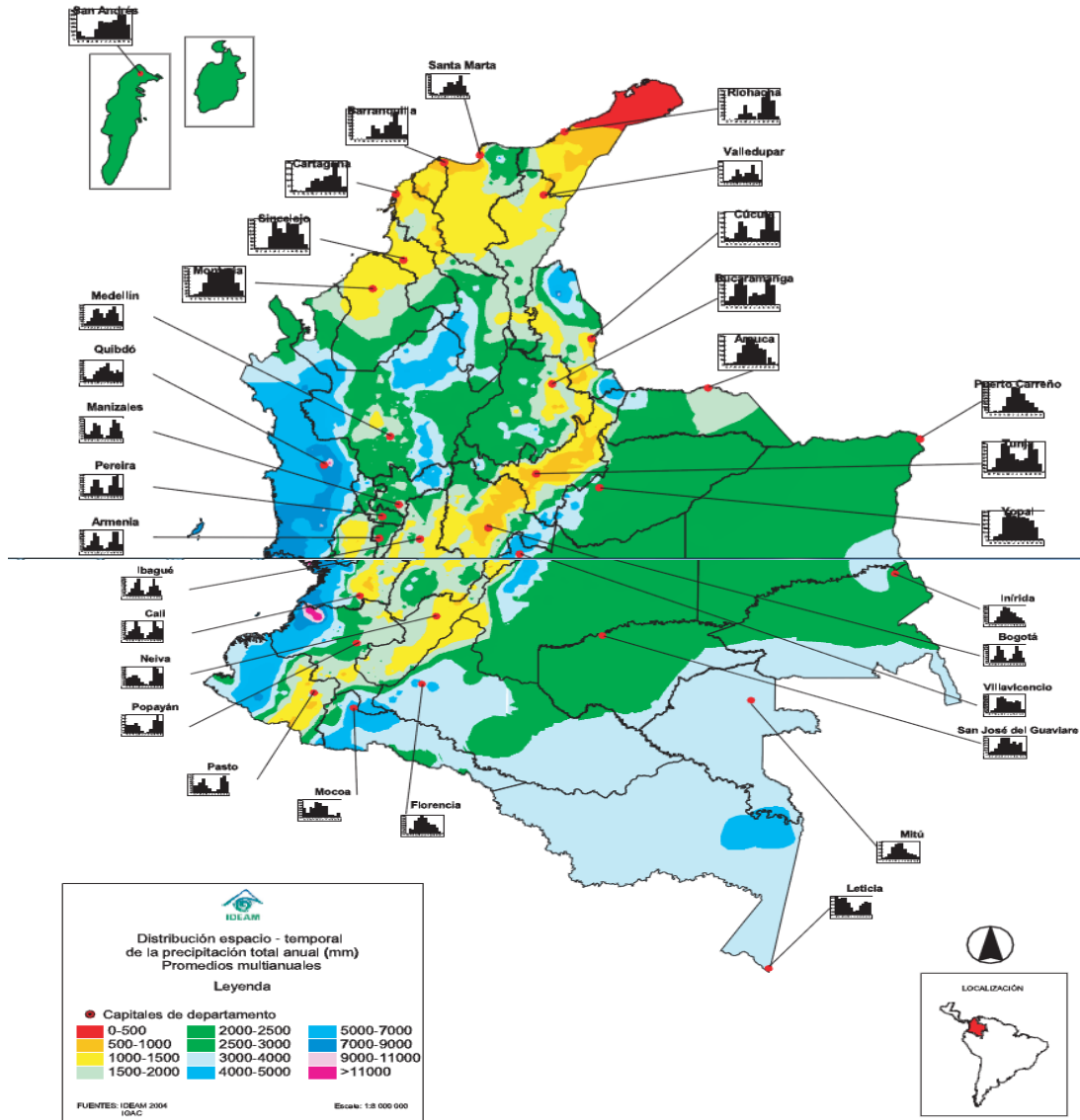


Fuente: www.todacolombia.com

Colombia se encuentra dividida en cinco regiones principales y una más que hace referencia a la zona insular comprendida por las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Las regiones presentan diferencias geográficas, demográficas, climáticas y económicas entre ellas, por eso es un país con tanta diversidad; entre las regiones se encuentran: Región Caribe, Región Andina, Región Amazónica, Región Orinoquía o también llamada Llanos Orientales y la Región Pacífica; esta última se caracteriza por su alta humedad y se considera que su volumen de precipitación es uno de los más altos del mundo.

Para determinar el clima de una zona, interfieren diferentes elementos como la temperatura, la precipitación, la humedad, la radiación solar, los vientos y la evaporación, entre otros. En este caso de Colombia, en el cual se va a analizar el comportamiento del fenómeno de La Niña en un periodo de tiempo, se debe conocer a fondo la distribución de las lluvias para cada una de las regiones. Por esto se presenta el patrón general de las lluvias en Colombia estimado por el IDEAM y presentado en el Atlas Climatológico de Colombia, Parte II, de la siguiente manera:

Figura 11. Patrón de la lluvia total anual en el país



Fuente: IDEAM. Atlas Climatológico Colombiano. Recuperado de www.ideam.gov.co

Según la distribución espacio-temporal de la precipitación total anual (promedios multianuales), las menores lluvias se presentan en La Guajira, con totales de 0 a 500 mm; las precipitaciones máximas se han registrado en la Región Pacífica, con totales anuales de más de 10.000 mm.

La Región Caribe registra lluvias entre 500 y 2000 mm, y presenta una pequeña zona hacia el Sur con precipitaciones muy marcadas.

La Región Andina es la zona que presenta mayor diversidad pluviométrica del territorio nacional, con lluvias relativamente escasas a lo largo de la cordillera Oriental y en los valles del Alto Magdalena y Alto Cauca, con un volumen de hasta 2000 mm; también presenta departamentos con volumen máximos de 3000 a 5000 mm en las cuencas del Medio Magdalena y Medio Cauca.

En la Orinoquía predominan las lluvias altas de 2000 a 3000 mm en su parte central y oriental; en la parte del Piedemonte pueden observarse hasta 6000 mm y en contraste se encuentra el extremo norte de Arauca, donde las lluvias pueden ser menores de 1500 mm.

La Amazonia es una zona muy húmeda. Gran parte de esta zona recibe entre 3000 y 4000 mm por año, a pesar de esto la Región Pacífica sigue siendo la zona con mayor cantidad de lluvia por año, recibiendo entre 3000 y 12.000 mm.

Estos datos son los patrones generales. Sin embargo, a nivel regional se presentan variaciones en este comportamiento, por razones como la accidentada topografía, factores de meso y macroescala como la ZCIT, las ondas del Este del Caribe y los ciclones tropicales, entre otros. A nivel mensual, este patrón se conserva relativamente constante, variando únicamente las cantidades.

Según información histórica, el régimen de lluvias en Colombia también es influenciado, en parte, por los fenómenos de El Niño y de La Niña, los cuales han sido causa de sequías extremas y lluvias torrenciales en diferentes regiones del país (Montealegre, 2007).

El IDEAM presenta como características predominantes de la distribución de la lluvia en Colombia, las siguientes:

Presentan régimen bimodal: la mayor parte de la región Andina y de la región Caribe, con excepción de la región del Bajo Nechí.

La región Pacífica no presenta una tendencia definida y tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular.

A continuación se presentan tablas con las principales ciudades, los promedios y número de días con lluvia de cada una, para poder identificar las regiones más y menos lluviosas de Colombia y el porqué de su condición:

Tabla 2. Promedio de precipitación de las principales ciudades de Colombia

UBICACIÓN			PROMEDIO PRECIPITACIÓN												
ESTACION	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto Vasquez Cobo	Leticia	Amazonas	348,3	334,7	347,5	351,5	299,0	202,3	158,4	168,1	244,6	256,9	298,0	287,1	3296,4
Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	64,7	79,3	124,1	162,1	201,5	157,7	119,2	145,7	179,0	217,1	150,5	95,8	1696,7
Apto Arauca	Arauca	Arauca	11,6	22,5	43,0	136,4	234,6	314,0	302,3	232,4	199,6	181,5	103,5	25,1	1806,5
Apto E Cortisoz	Soledad	Atlantico	5,4	0,4	1,3	24,0	113,9	84,9	72,9	106,4	156,9	163,0	78,8	27,2	835,2
Apto Eldorado P1-2	Bogota	Bogota D.C.	29,4	43,9	65,6	101,4	92,8	54,1	42,9	46,2	72,1	106,4	89,6	52,4	796,8
Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	7,7	0,5	2,3	23,5	116,0	100,7	111,7	127,1	136,4	232,9	127,5	40,3	1026,6
U P T C	Tunja	Boyaca	16,51	28,0	53,4	75,0	83,6	57,4	46,3	42,1	53,4	85,6	68,2	30,1	639,5
Apto La Nubia	Manizales	Caldas	102,5	91,6	134,0	168,1	159,9	90,4	63,5	76,6	141,4	192,3	170,8	120,8	1512,0
Apto G Artunduaga	Florencia	Caqueta	102,5	194,2	287,4	388,8	470,2	494,7	447,7	347,4	309,1	297,5	233,6	138,9	3712,0
Apto Yopal	Yopal	Casanare	8,3	51,5	80,8	268,2	334,5	287,6	311,8	257,0	272,4	249,6	126,8	22,1	2270,5
Apto G L Valencia	Popayan	Cauca	201,3	182,3	216,9	200,4	169,4	80,2	55,2	63,4	124,5	250,8	333,7	251,0	2129,1
Apto Alfonso Lopez	Valledupar	Cesar	13,1	9,2	26,0	69,1	155,0	86,0	61,6	117,3	119,4	194,8	96,9	27,2	975,5
Apto Los Garzones	Monteria	Cordoba	4,5	16,0	26,6	94,7	172,3	150,5	165,0	166,6	185,8	159,0	84,7	35,8	1261,6
Apto El Carano	Quibdo	Choco	554,0	517,7	525,6	663,3	711,3	728,5	771,6	800,9	672,8	640,3	676,2	585,6	7847,8
Apto Benito Salas	Neiva	Huila	106,2	131,9	148,7	133,5	95,2	36,8	32,5	23,0	64,8	204,0	216,3	153,3	1346,1
Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	3,6	1,4	3,0	21,0	63,8	39,4	15,4	36,8	131,2	140,0	62,4	23,4	541,2
Apto Simon Bolivar	Santa Marta	Magdalena	6,2	2,8	1,9	9,8	53,4	61,8	60,6	56,0	88,1	107,5	49,0	12,7	509,7
Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	66,4	128,0	223,4	527,9	619,9	522,7	436,9	418,1	397,1	456,5	410,9	155,2	4363,0
Apto Antonio Narin	Chachagui	Narino	110,2	112,7	133,0	151,4	141,0	61,1	30,7	32,9	71,0	156,8	178,4	132,6	1311,8
Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santander	47,5	39,1	64,8	101,2	78,2	40,0	37,5	41,1	80,3	146,7	123,8	73,8	874,0
Pto Leguizamo	Leguizamo	Rutumayo	110,0	208,9	224,1	298,5	336,7	395,1	317,6	240,8	244,5	240,3	210,9	137,9	2965,3
Apto El Eden	Armenia	Quindio	135,3	157,0	198,1	255,0	226,2	137,3	99,0	108,0	180,2	245,1	259,0	169,0	2169,2
Apto Matecana	Pereira	Risaralda	138,9	133,6	198,5	228,8	253,5	185,5	123,9	129,7	191,9	270,0	271,6	177,2	2303,1
Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres y Pr	75,8	41,5	24,0	32,3	134,3	212,0	200,3	201,4	239,7	318,3	273,0	145,9	1898,5
Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	89,8	100,9	135,2	131,3	130,0	84,5	105,1	84,2	113,0	132,4	114,7	76,5	1297,6
Apto Rafael Barvo	Corozal	Sucre	17,2	25,4	34,2	87,5	142,7	132,0	131,8	143,2	147,4	123,2	80,5	33,6	1098,7
Apto Perales	Ibague	Tolima	82,0	107,0	138,4	203,9	238,2	123,7	72,4	87,5	156,9	212,7	161,9	106,5	1691,1
Apto A Bonilla A	Palmira	Valle	45,3	60,9	103,7	126,4	98,0	51,7	29,9	38,1	74,5	102,7	97,7	60,2	893,7
Apto Pto Carreno	Puerto Carreno	Vichada	9,3	18,6	36,8	131,3	265,5	455,8	447,9	342,2	196,3	172,6	97,0	30,5	2203,9

Fuente: IDEAM. Promedios actuales 71-00. Recuperado de www.ideam.gov.co

Tabla 3. Número de días con lluvia en las principales ciudades de Colombia

UBICACIÓN			NUMERO DE DIAS CON LLUVIA												
ESTACION	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto Vasquez Cobo	Leticia	Amazonas	24	21	23	22	23	19	16	16	18	19	20	23	243
Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	12	13	17	22	23	19	17	19	22	24	21	15	225
Apto Arauca	Arauca	Arauca	1	2	4	11	17	21	20	19	15	13	9	4	137
Apto E Cortisoz	Soledad	Atlantico	0	0	0	4	9	9	7	10	13	15	8	2	78
Apto Eldorado P1-2	Bogota	Bogota D.C.	8	11	14	18	20	18	17	16	16	18	17	12	187
Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	1	0	1	3	10	12	10	13	14	16	11	3	96
U P T C	Tunja	Boyaca	5,6	8,1	12,6	17	19	18	19	18	16	18	16	10	177
Apto La Nubia	Manizales	Caldas	14	15	20	23	24	20	17	17	21	25	20	16	233
Apto G Artunduaga	Florencia	Caqueta	12	15	20	24	27	26	25	23	21	21	19	14	246
Apto Yopal	Yopal	Casanare	1	5	7	15	17	18	18	17	15	15	10	5	142
Apto G L Valencia	Popayan	Cauca	17	16	19	20	21	14	9	10	16	23	24	21	211
Apto Alfonso Lopez	Valledupar	Cesar	1	1	3	6	12	9	8	11	13	14	8	3	90
Apto Los Garzones	Monteria	Cordoba	1	2	2	7	12	11	12	13	12	11	8	4	93
Apto B Carano	Quibdo	Choco	24	21	22	25	27	26	26	27	27	27	26	26	305
Apto Benito Salas	Neiva	Huila	11	12	14	15	15	12	10	8	10	16	18	14	154
Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	1	1	1	3	7	3	2	4	10	11	6	2	51
Apto Simon Bolivar	Santa Marta	Magdalena	0	1	1	2	7	9	9	12	14	13	7	2	77
Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	8	10	15	23	27	27	26	24	22	22	21	14	240
Apto Antonio Narin	Chachagui	Narino	14	13	16	18	18	12	7	7	12	19	20	17	172
Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santander	7	7	9	11	12	13	14	12	13	14	13	9	133
Pto Leguizamo	Leguizamo	Putumayo	11	14	18	22	25	24	23	21	19	19	16	15	226
Apto El Eden	Armenia	Quindio	12	12	14	18	18	14	10	11	16	19	18	14	178
Apto Matecana	Pereira	Risaralda	16	15	19	22	23	21	18	17	21	24	23	18	236
Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres y Pr	19	13	8	9	14	20	24	22	22	23	22	22	218
Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	10	11	14	17	19	17	18	19	19	19	14	10	189
Apto Rafael Barvo	Corozal	Sucre	3	3	3	9	14	13	11	15	13	14	9	5	112
Apto Perales	Ibague	Tolima	12	13	16	20	20	13	10	11	15	20	18	14	181
Apto A Bonilla A	Palmira	Valle	9	10	13	16	15	10	8	8	12	17	15	11	145
Apto Pto Carreno	Puerto Carreno	Vichada	2	3	5	13	20	25	25	25	20	17	10	4	168

Fuente: IDEAM. Promedios actuales 71-00. Recuperado de www.ideam.gov.co

A partir del análisis de las anteriores tablas y de los estudios históricos a lo largo del tiempo sobre el clima en Colombia, se puede inferir que la precipitación en las diferentes regiones del país se comporta de la siguiente manera:

Región Caribe

La región Caribe se encuentra ubicada en el Norte del país. Comprende desde el Golfo de Urabá, al Occidente, hasta la península de La Guajira, al Oriente. La Guajira registra la menor frecuencia de días con lluvia, con 51 días al año. La mayor parte de la región, correspondiente a los departamentos de Atlántico, Magdalena, Sucre, Cesar, Córdoba y la zona montañosa de la Sierra Nevada, presentan valores de 50 a 150 días con lluvia. Los meses de junio-julio, septiembre-octubre son los que presentan mayor volumen de precipitación en la región Caribe, con un aproximado de 150 mm en cada uno de estos meses; en los meses de junio-julio, la zona de Confluencia Intertropical está de paso por esta zona.

Región Andina

La región Andina tiene este nombre porque está formada por las tres cordilleras de los Andes. Comprende tanto las montañas como los valles interandinos en una superficie aproximada a los 305.000 Km² y se extiende desde los límites con Ecuador hasta las estribaciones de las cordilleras en la llanura del Atlántico.¹⁴

Los departamentos de Huila, Tolima y Valle del Cauca registran los más bajos niveles de número de días con lluvia de la región. Estas áreas presentan entre 100 y 170 días con lluvias al año. En las estribaciones de las cordilleras, el número de días con lluvia crece paulatinamente hasta llegar a 200 días (Atlas Climatológico Colombiano). Los departamentos con mayores frecuencias de número de días con lluvia son: Antioquia, sur de Santander, Eje Cafetero, oriente de Cundinamarca y Boyacá. El número de días de estas zonas está entre 200 a 300 por año. En la mayoría de los departamentos de esta región se presentan volúmenes de lluvias de 1000 a 3000 mm por año, siendo los picos más altos en los meses de mayo y octubre.

¹⁴ KINDERSLOY, D. Atlas del estudiante, 2008. En: publicación del periódico El espectador. [Fascículos]

Región Pacífica

La región Pacífica se encuentra ubicada al Occidente de Colombia, limita al Norte con Panamá, al Sur con Ecuador, al Oriente con la cordillera Occidental y al Occidente con el océano Pacífico.¹⁵

Es una región que se caracteriza por sus altos volúmenes de precipitación, en la que llueve entre 200 y 300 días al año. Puede alcanzar volúmenes pluviométricos de hasta 10.000 mm por año. Los meses de mayor precipitación se registran entre junio y agosto, con un promedio de 790 mm al mes. Esta excesiva precipitación se debe a la ubicación de esta región, ya que recibe toda la nubosidad provocada por la acumulación de los vientos en la Zona de Confluencia Intertropical.

Región de la Orinoquía

La región de la Orinoquía se conoce también como Llanos Orientales, por las inmensas llanuras que se encuentran en su territorio. Está ubicada en la región Oriental de Colombia.

El sector central de los departamentos de Casanare y Meta, así como el norte de Arauca, registran entre 100 y 150 días con lluvia. El resto de la región se sitúa en el rango de 150 a 250 días. Meta registra como el departamento con el volumen de precipitación más alto, con un valor de aproximadamente 5000 mm anuales. Los meses con mayor precipitación están entre mayo y julio, con un promedio de 315 mm.

Región Amazónica

La región Amazónica está enmarcada por la cordillera de los Andes al Occidente y se extiende hacia el Oriente hasta las fronteras con Brasil y Venezuela; de Norte a Sur se extiende desde los ríos Guaviare y Vichada, hasta el Putumayo y el Amazonas (Kindersloy, 2008).

En la Amazonia, los departamentos de Caquetá, Amazonas, Vaupés y Putumayo registran entre 200 y 300 días con lluvia. Su precipitación, en todos los meses, es muy constante, pero en los primeros meses del año se puede evidenciar un aumento en sus volúmenes.

Por las consideraciones anteriores, se puede deducir que la región con mayor nivel de precipitación en Colombia es la Pacífica, siendo el Chocó el departamento

¹⁵ INGEOMINAS. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Mapa Geológico de Colombia, 1998. En: Memoria Explicativa. [en línea]. [citado 20 diciembre de 2011]. Disponible en <www.crc.gov.co>

con el mayor número de días con lluvia y el mayor volumen pluviométrico anual; en segundo lugar se encuentra la región Amazónica con su gran selva húmeda tropical, que registra aproximadamente 4000 mm al año; los departamentos con mayor volumen y número de días con lluvias son Vichada, Putumayo, Caquetá y Amazonas.

Seguidamente se encuentra la región Andina, representada por el Eje Cafetero; los departamentos de Quindío y Risaralda son los que presentan mayor volumen de precipitación, con aproximadamente 2500 mm, y el mayor número de días con lluvia de la región, con un promedio de 240 días.

Finalmente, el departamento del Meta se encuentra entre los que presentan valores de precipitación más altos, con 4400 mm y 240 días con lluvia al año, lo que hace que la región Orinoquía esté entre las más lluviosas del país.

1.11 Indicadores océano-atmosféricos

1.11.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) es un indicador de la estructura térmica de la capa superior de los océanos (Kindersloy, 2008). La TSM se utiliza como variable explicativa de la dinámica térmica de los océanos, que a la vez está relacionada con los procesos convectivos que se generan en la atmósfera (Montenegro, 2007). Para tener control e información sobre la variabilidad de la TSM en la franja tropical del Pacífico, se han establecido cuatro regiones: Occidental (región Niño 4), Central (región Niño 3), Centro Occidental (región Niño 3,4) y Oriental (región Niño 1+2). En cada una de estas regiones se mide la temperatura de la superficie del mar en grados Celsius (Montenegro, 2007).

1.11.2 Índice de la Oscilación del Sur (IOS)

El Índice de la Oscilación del Sur es un dato que se obtiene de la diferencia de los valores de presión atmosférica entre la isla de Tahití (Polinesia francesa) y Darwin (Australia).

La isla de Tahití se utiliza como punto representativo del comportamiento de la presión atmosférica en la parte oriental-central del océano Pacífico Tropical, y

Darwin se utiliza como el punto representativo de la presión atmosférica de la parte occidental del océano Pacífico Tropical.¹⁶ Un alto valor del IOS (gran diferencia de presión atmosférica) se asocia con vientos Alisios más fuertes de lo normal y es tendiente a un evento de La Niña. Un valor bajo del IOS (diferencia de presión atmosférica pequeña) se asocia con vientos Alisios más débiles de lo normal y a condiciones de El Niño.¹⁷

1.11.3 Índice Oceánico de El Niño (ONI)

El Índice Oceánico de El Niño se calcula con la media móvil de tres meses consecutivos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3,4.

En relación con este índice, en condiciones cálidas de El Niño, el ONI debe ser mayor o igual a +0,5 °C, y en las condiciones frías de La Niña, debe ser menor o igual que -0,5 °C. Para que un evento pueda ser catalogado como tal, los umbrales anteriormente nombrados deben ser excedidos por un periodo de al menos cinco meses consecutivos.¹⁸

1.11.4 Vientos 850 mb (175°West-140°West) 5°N-5°S del Pacífico Central

Los vientos a niveles bajos (850 milibares) responden a las anomalías de la presión atmosférica. Los vientos predominantes del Este se hacen más fuertes durante La Niña y más débiles durante un evento de El Niño (Guevara Díaz, 2008).

1.11.5 Vientos zonales del Ecuador. 200 Milibares (165° West-110° West)

Los vientos zonales del Ecuador a 200 mb permiten apreciar el patrón del viento zonal en la alta tropósfera y comparar con el flujo al nivel isobárico menor, de 850

¹⁶ INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL. Fenómeno ENOS. El índice de la oscilación del sur. [en línea]. San José, Costa Rica. [citado 2 enero de 2012]. Disponible en: www.lmn.ac.cr.

¹⁷ CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA. CICESE. El Niño. Glosario de Términos, 1999. [en línea]. [citado 2 enero de 2012]. Disponible en: elnio.cicese.mx/golsario.htm.

¹⁸ UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA ESPAÑA. Tema 9: Patrones de variabilidad Climática- índices de circulación. [Documento consecutivo en línea]. [citado 12 Enero 2012] Disponible en: webpages.ull.es.

mb, con anomalías opuestas. El mayor interés por este indicador es por la relación encontrada con la circulación en las zonas extratropicales; sus anomalías positivas se refieren a vientos desde el Oeste (Guevara Díaz, 2008).

1.11.6 Nivel medio del mar en Tumaco

El nivel medio del mar se define como el valor medio de las alturas horarias del nivel del mar por un periodo de al menos un año, el cual se denomina nivel medio anual, aunque generalmente se utiliza el término nivel medio del mar para designar un promedio de muchos años que caracteriza un estado o posición del nivel medio del mar en una región.¹⁹ Sin embargo, los valores se toman a nivel mensual.

1.11.7 Promedio de temperatura a 500 mb

La temperatura es el grado de calor o frío de la atmósfera, en este caso a una altura de 500 milibares. Con una base de datos de series de tiempo se obtienen los promedios de temperatura a la altura determinada, para así analizar los datos y determinar su afectación al clima global, ya sea favoreciendo las condiciones de un evento de La Niña o de El Niño.

1.11.8 Índice de la evolución de El Niño (TNI)

El Índice de la evolución de El Niño (TNI) está dado por la diferencia de anomalías de la temperatura superficial del mar entre la región Niño 1+2 y la región Niño 4, con una media móvil de cinco meses. Los valores del TNI son tomados mensualmente (Trenbert y Stepanick, 2001).

1.11.9 Western Hemisphere Warm Pool (WHWP)

La piscina caliente del hemisferio Occidental (WHWP, por su sigla en inglés) hace referencia a la anomalía mensual de la superficie del océano más cálido, de 28,5

¹⁹ HERNANDEZ, M; MARZO, O; ACANDO REYES, A. Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del archipiélago cubano. [en línea]. Serie Oceanologica no. 7, 2010. [citado 15 enero 2012]. ISSN 2072-800. Disponible en: <oceanologia.redciencia.cu/artículos/articulo72.pdf>.

°C en el Atlántico y en el Pacífico Norte. El WHWP es un componente esencial del clima de verano boreal del Caribe y de las áreas circundantes de la Tierra. Se relaciona con las lluvias de verano en los Estados Unidos y el Caribe, y con la ocurrencia de huracanes en el Atlántico (Enfield y Chunzai, 2012).

1.11.10 Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

La Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por su sigla en inglés) ha sido descrita como una variabilidad climática de largo periodo en el océano Pacífico, el cual afecta principalmente la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte. La escala temporal de la PDO es del orden de 20 a 30 años. Consta de una fase positiva (cálida) y de una negativa (fría). Se puede decir que las alteraciones climáticas más importantes en el Pacífico y en el continente americano van a suceder cuando la PDO y el ENSO estén en fase (Icochea y Oliveira, 2012).

1.11.11 Índice Multivariado de ENSO (MEI)

El Índice Multivariado de ENSO es uno de los índices de carácter mixto que involucra tanto variables atmosféricas como oceánicas en su composición. Este índice es entendido como la media ponderada de seis variables sobre el Pacífico Tropical, que son: presión atmosférica a nivel del mar, componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur) del viento en superficie, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire en superficie y cantidad total de nubosidad. Los valores positivos del MEI representan la fase cálida de ENSO (El Niño) (ERFEN, 2011).

1.11.12 Humedad relativa a 700mb (Humedad de la Amazonia)

La humedad relativa es el vapor de agua que existe en una masa de aire y, en esta forma, es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia convectiva. Sin embargo, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen de la temperatura del momento. Se mide en porcentaje y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible sea el 100%. En las zonas tropicales continentales, en donde las variaciones de la temperatura durante el día son generalmente grandes, la humedad relativa cambia considerablemente en el transcurso del día (IDEAM, 2012).

1.11.13 Oscilación Cuasi-bienal (QBO)

La QBO es una oscilación de los vientos zonales en la estratosfera tropical, con un periodo aproximadamente de 27 a 30 meses, entre 10 hPa y 100 hPa. Durante este periodo se presentan dos fases que duran entre 12 a 15 meses, en las que los vientos estratosféricos tropicales se alternan del Este y del Oeste. La QBO se desarrolla como un resultado de los disturbios u ondas de la tropósfera tropical que se propagan verticalmente dentro de la baja estratosfera (Amador y Alfaro, 1996).

2. METODOLOGÍA

2.1 Conformación base de datos de lluvia para las principales ciudades de Colombia

2.1.1 Catálogo de estaciones meteorológicas

Este catálogo representa parte de la construcción de la base de datos de lluvias para las principales ciudades de Colombia. En la Tabla 3 se puede encontrar el código de la estación, el tipo, el nombre, la corriente y el departamento al que pertenece. Para este proyecto se están trabajando 29 ciudades capitales de departamentos; seguidamente, se puede ver la localización exacta de la estación, presentando la elevación, la longitud y la latitud; al final de la tabla se encuentran los promedios históricos de precipitación de cada ciudad capital.

2.1.2 Mapas de anomalías

Para la identificación de indicadores más representativos durante La Niña 2010-2011 se trabajó con series de datos de anomalías, es decir, con los cálculos de la diferencia de los indicadores del mes, respecto a su dato normal o histórico. Si es menos, se considera una anomalía negativa, si es más, se denomina como una anomalía positiva.

La ecuación de anomalía se representa de la siguiente manera:

$$\textit{Anomalía} = \frac{\textit{Valor registrado en el mes}}{\textit{Promedio multianual}} \times 100$$

Para poder obtener la anomalía de la precipitación se trabajó con la tabla de serie de datos mensuales, desde abril de 2009 a mayo de 2010, proporcionada por la base de datos del IDEAM. Cabe agregar que a pesar de que el estudio se basa en los efectos que tuvo el fenómeno de La Niña entre 2010 y 2011, se analizan los datos desde abril de 2009, para tener una base de datos robusta que nos indique con mayor precisión qué indicadores influyeron en la presencia de este evento.

Tabla 4. Catálogo meteorológico de las principales ciudades de Colombia

INFORMACION GENERAL										PRECIPITACION (MM)											
CODIGO	CAT	ESTACION	MUNICIPIO	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	ELEVACION	LONGITUD	LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2120579	SP	Apito Eborado Pl-2	Bogota	Bogota	Bogota D.C.	2547	-74,424217	4,695472	28,4	43,9	65,6	101,4	92,8	54,1	42,9	46,2	72,1	106,4	89,6	52,4	796,8
2701507	SP	Apito Obaya Herrera	Medellin	Medellin	Antioquia	1490	-75,598889	6,220556	64,7	79,3	124,1	162,1	201,5	157,7	119,2	145,7	179,0	217,1	150,5	95,8	1696,7
2904502	SP	Apito E Conisoz	Soledad	Magdalena	Atlantico	14	-74,774400	10,895450	5,4	0,4	1,3	24,0	113,9	84,9	72,9	106,4	156,9	163,0	78,8	27,2	885,2
2403513	CP	UPTC	Tunja	Chulo	Boyaca	2690	-73,358694	5,555389	16,5	28,0	53,4	75,0	83,6	57,4	46,3	42,1	53,4	85,6	68,2	30,1	639,5
2615511	SP	Apito La Nubia	Menzales	Chinchina	Caldas	2062	-75,473306	5,032393	102,5	91,6	134,0	168,1	159,9	90,4	63,5	76,6	141,4	192,3	170,8	120,8	1512,0
4403502	SS	Apito G Atunduega	Florencia	Hecha	Caqueta	244	-75,552917	1,591917	102,5	194,2	287,4	388,8	470,2	464,7	447,7	347,4	309,1	297,5	233,6	138,9	3712,0
2803503	SP	Apito Alfonso Lopez	Valedugar	Guatapuri	Cesar	138	-73,251066	10,429028	13,1	9,2	26,0	69,1	155,0	86,0	61,6	117,3	119,4	194,8	96,9	27,2	975,5
1501505	SP	Apito Simon Bolivar	Santa Maria	Mar Caribe	Magdalena	4	-74,233333	11,133333	6,2	2,8	1,9	9,8	53,4	61,8	60,6	56,0	86,1	107,5	49,0	12,7	509,7
3503502	SP	Apito Vanguardia	Villavencio	Guatiquia	Mesa	423	-73,620278	4,163333	66,4	128,0	228,4	527,9	619,9	522,7	436,9	418,1	397,1	456,5	410,9	155,2	4363,0
2612506	SP	Apito El Eden	Ameria	Quindio	Quindio	1247	-75,769778	4,457593	135,3	157,0	198,1	255,0	226,2	137,3	99,0	108,0	180,2	245,1	259,0	169,0	2169,2
2613504	SP	Apito Matecana	Pereira	Otun	Risaralta	1367	-75,737722	4,816833	138,9	133,6	198,5	228,8	253,5	185,5	123,9	129,7	191,9	270,0	271,6	177,2	2303,1
2607504	SP	Apito A Bonilla A	Palma	Guahtal	Vale	989	-76,398889	3,536139	46,3	60,9	103,7	126,4	98,0	51,7	29,9	38,1	74,5	107,2	97,7	60,2	893,7
2319513	SP	Apito Palonegro	Lebija	De Oro	Santander	1189	-73,186454	7,120241	57,6	79,7	120,9	136,0	118,5	81,9	88,0	84,7	100,5	141,9	118,7	56,0	1184,3
1308504	SS	Apito Los Garzones	Monteria	Oro Boyre	Corooba	36	-75,834480	8,830770	4,5	16,0	26,6	94,7	172,3	150,5	165,0	166,6	168,8	159,0	84,7	35,8	1261,6
4801501	SP	Apito Vasquez Ocho	Leticia	Amazonas	Amazonas	84	-69,943694	-4,194417	348,3	334,7	347,5	351,5	299,0	202,3	158,4	168,1	244,6	256,9	298,0	287,1	3236,4
3705501	SP	Apito Arauca	Arauca	Arauca	Arauca	128	-70,738167	7,069333	11,6	22,5	43,0	136,4	234,6	314,0	302,3	232,4	199,6	181,5	103,5	25,1	1806,5
1401502	SP	Apito Rafael Nunez	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	2	-75,520194	10,442000	7,7	0,5	2,3	23,5	116,0	100,7	111,7	127,1	136,4	232,9	127,5	40,3	1026,6
3521501	CP	Apito Yopal	Yopal	Cravo Sur	Casarene	325	-72,391000	5,323444	8,3	51,5	80,8	288,2	334,5	287,6	311,8	297,0	272,4	249,6	126,8	22,1	2270,5
2603503	SP	Apito G L Valencia	Popayan	Cauca	Cauca	1757	-76,611917	2,457722	201,3	182,3	216,9	200,4	169,4	80,2	55,2	63,4	124,5	250,8	333,7	251,0	2123,1
1104501	SP	Apito El Carano	Quibdo	Atrato	Choco	53	-76,638390	5,695950	554,0	517,7	525,6	663,3	711,3	728,5	771,6	800,9	672,8	640,3	676,2	585,6	7847,8
2111502	SS	Apito Benito Salas	Nevia	Las Ceibas	Hulla	439	-75,293083	2,949639	106,2	131,9	146,7	133,5	95,2	36,8	32,5	23,0	64,8	204,0	216,3	153,3	1346,1
1506501	SP	Apito Alm Peallia	Rohachia	Ay Zongo	La Guajira	4	-72,933333	11,533333	3,6	1,4	3,0	21,0	63,8	39,4	15,4	36,8	131,2	140,0	62,4	23,4	541,2
5204502	SP	Apito Antonio Marin	Cracaguji	Pasto	Narino	1873	-77,294167	1,386611	110,2	112,7	133,0	151,4	141,0	61,1	30,7	32,9	71,0	156,8	178,4	132,6	1311,8
1601501	SP	Apito Camilo Daza	Cocuta	Pamplonia	Norte Santander	250	-72,529944	7,780944	47,5	39,1	64,8	101,2	78,2	40,0	37,5	41,1	80,3	146,7	123,8	73,8	874,0
1701501	SP	Apito Susquehuentaria	San Andres	Mar Caribe	San Andres y Pr	1	-81,704000	12,593530	75,8	41,5	24,0	32,3	134,3	212,0	200,3	201,4	239,7	316,3	273,0	145,9	1888,5
2502508	SS	Apito Rafael Barvo	Corozal	Corozal	Sucre	166	-75,287250	9,328389	17,2	25,4	34,2	87,5	142,7	132,0	131,8	143,2	147,4	123,2	80,5	33,6	1098,7
2124504	SS	Apito Perales	Bague	Opa	Tolima	928	-75,143667	4,426639	82,0	107,0	138,4	203,9	238,2	123,7	72,4	87,5	156,9	212,7	161,9	106,5	1691,1
3801503	SP	Apito Pio Carreno	Puerto Carreno	Orinoco	Vichada	50	-67,498880	6,167060	9,3	18,6	36,8	131,3	265,5	455,8	447,9	342,2	196,3	172,6	97,0	30,5	2203,9
4401501	AM	Villagarzon	Villagarzon	Mocca	Palmireno	405	-76,622500	1,037222	317,7	317,3	376,3	502,9	533,6	570,0	512,7	347,5	359,1	362,6	363,7	338,4	4891,8

Fuente: IDEAM. Catálogo de estaciones meteorológicas. Recuperado de www.ideam.gov.co

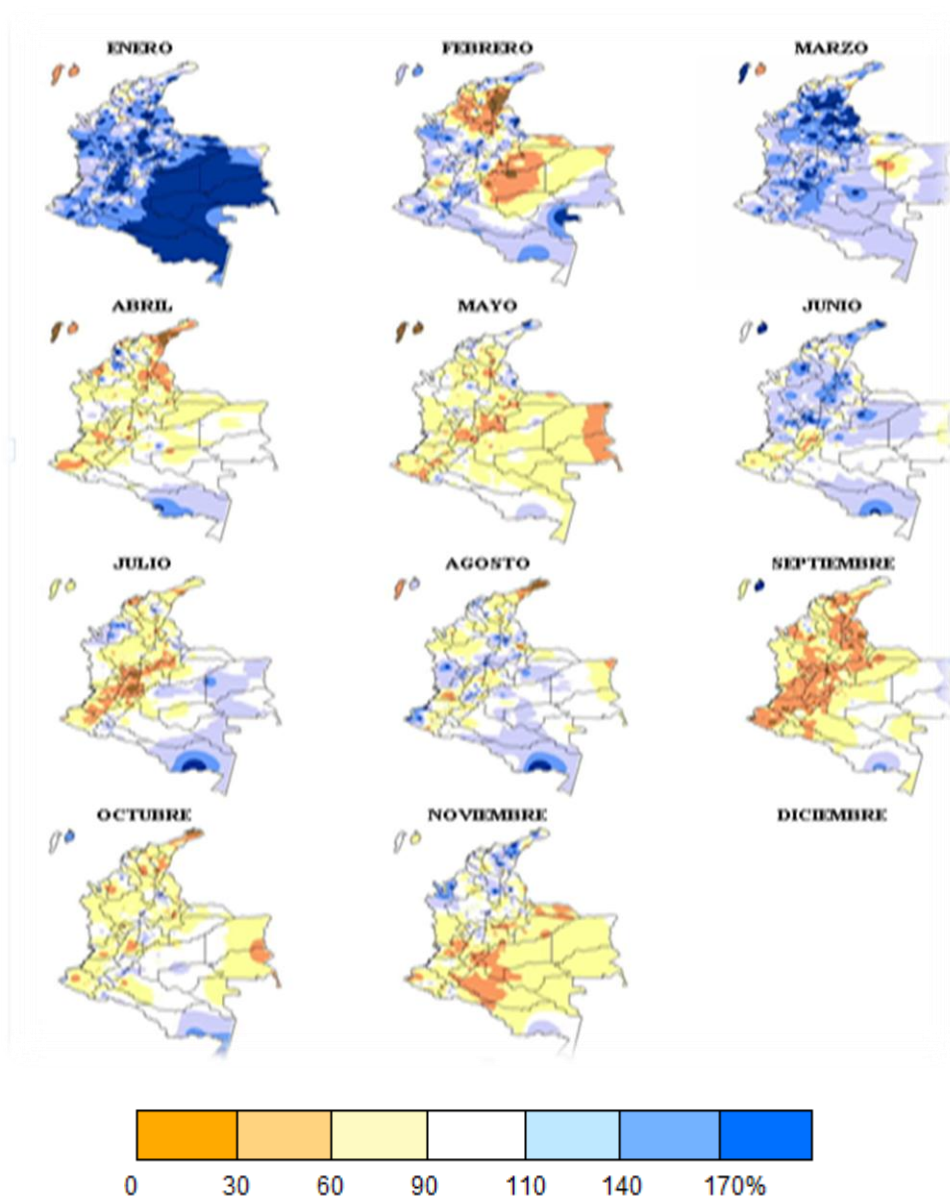
Al tener los datos históricos de precipitación y las series de datos mensuales, se aplica la fórmula de anomalía para poder determinar las anomalías de precipitación de cada ciudad principal, desde abril de 2009 a mayo de 2011. Para corroborar esta información y determinar para cada ciudad y para cada mes el déficit o exceso en las lluvias, se analiza qué porcentaje (%) de cada región fue afectado por La Niña y para esto se usan los mapas de anomalías.

Los mapas de anomalías están basados en porcentajes y según como lo ha determinado el IDEAM se analizan de la siguiente manera:

Los colores van de naranja a azul, siendo naranja el porcentaje más bajo y el azul oscuro, el más alto. Se dice que hay déficit fuerte cuando los porcentajes son <30; déficit moderado, si los porcentajes están entre 30 y 60; y se presenta déficit ligero cuando los porcentajes están entre 60 y 90. Se consideran condiciones normales cuando los pesos están entre 90 y 110%.

En tal sentido, cuando se presentan excesos se usa la misma clasificación: fuerte, moderado y ligero. Cuando los porcentajes son > 170% se dice que hay un exceso fuerte; cuando están entre 140 y 170% se considera exceso moderado y cuando se clasifican entre 110 y 140% se presenta como un exceso ligero.

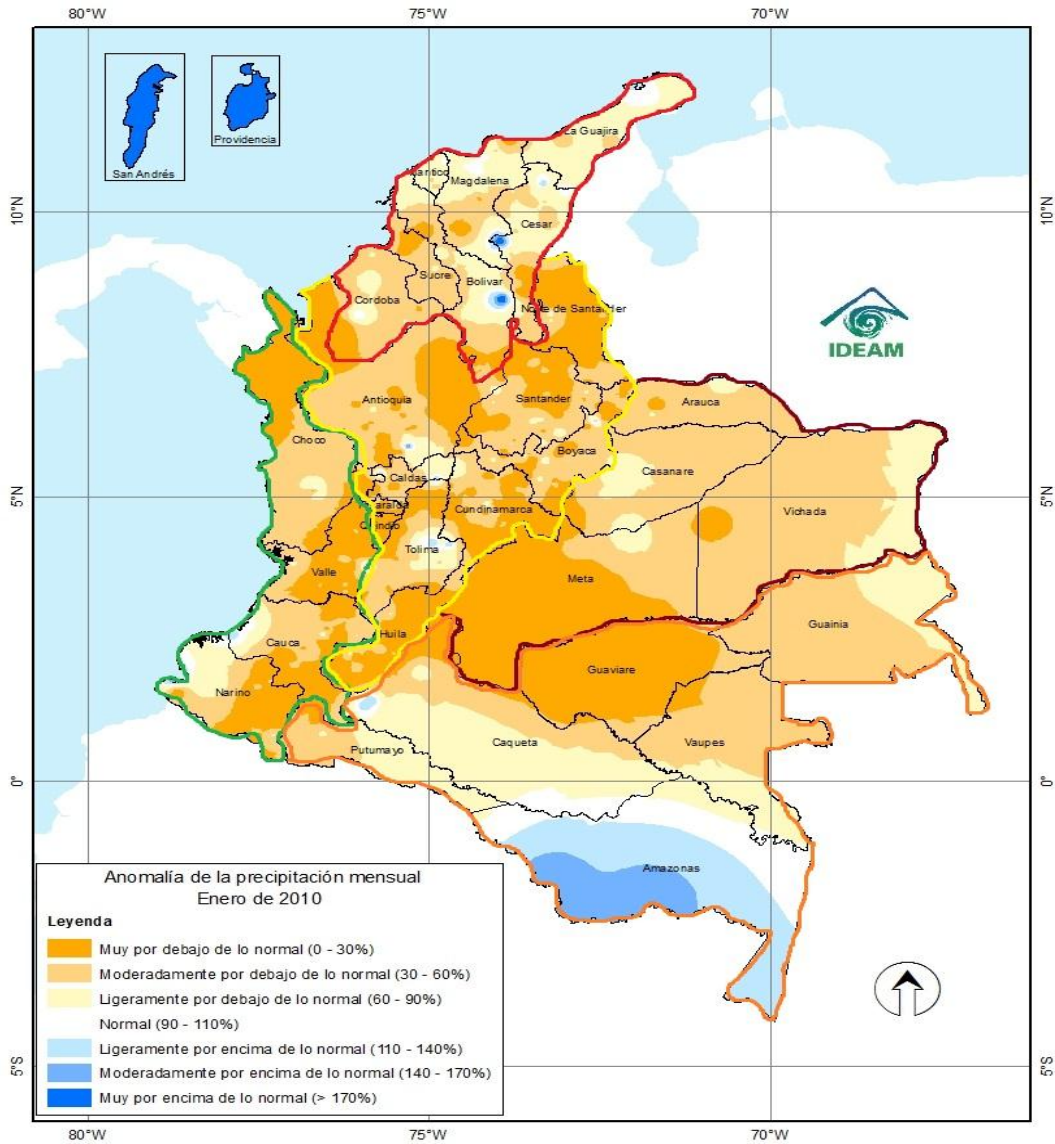
Figura 12. Comportamiento de las anomalías de precipitación durante el año 2009



Fuente: IDEAM. Pronósticos y alertas. Mapas de anomalías de precipitación del año 2009. Recuperado de www.ideam.gov.co

Para el año 2010 y principios de 2011 se hace un análisis más detallado de cada uno de los mapas de anomalías, para determinar en qué porcentaje fue afectada cada región al paso del fenómeno de La Niña.

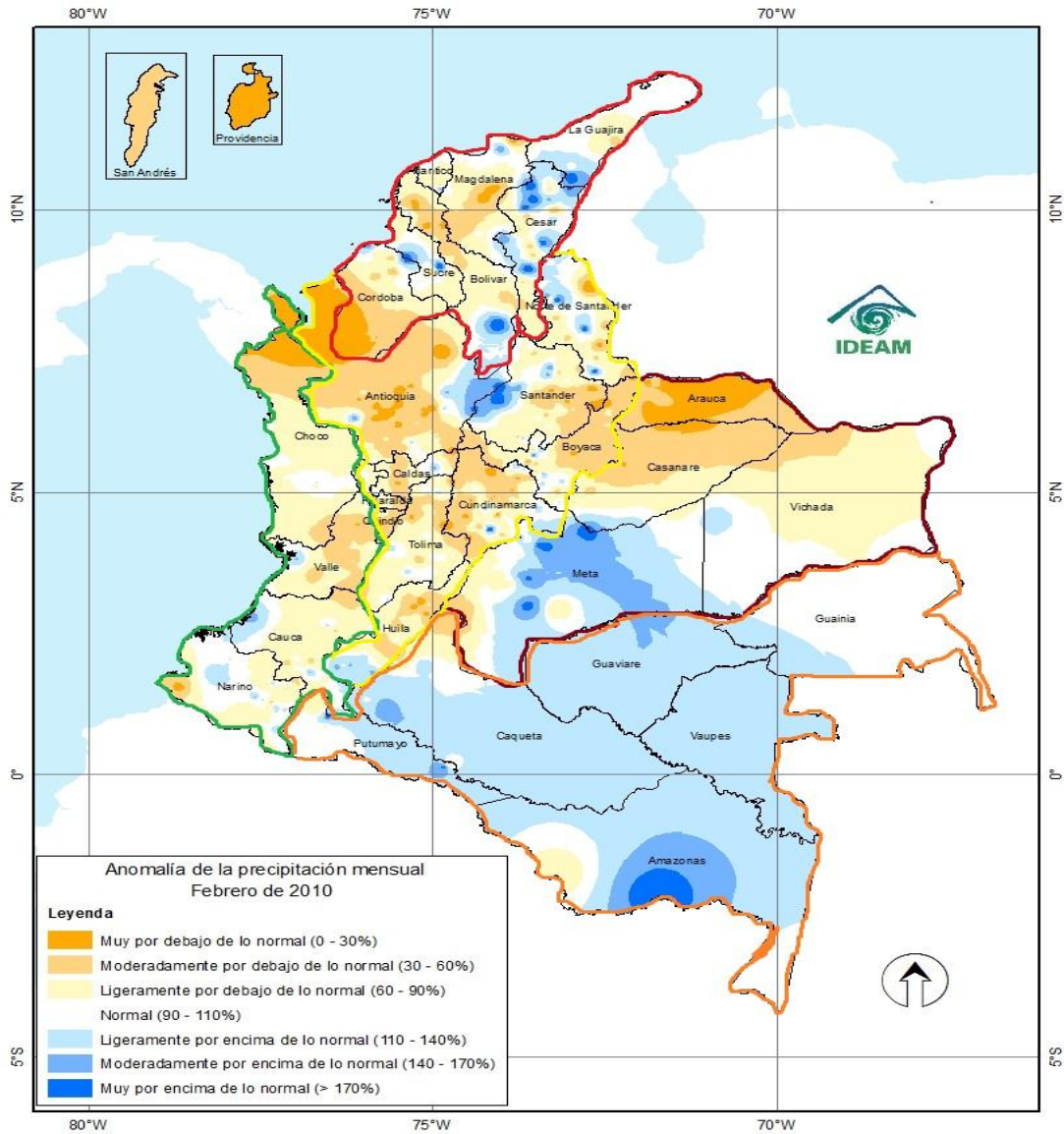
Figura 13. Mapa de anomalía de precipitación de enero de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En enero de 2010 se presentó un déficit ligero en la región Caribe; en la región Pacífica se presentaron déficits fuertes en tres departamentos; estuvo contrarrestada con déficits ligeros también presentados en esta zona; la región Andina tuvo un comportamiento parecido al de la región Pacífica, presentado déficits ligeros en la mayor parte de la región; la región Orinoquía presentó déficits de lluvia en la mayor parte del territorio llanero, y la región Amazónica tuvo un comportamiento normal al Sur de la región, con tendencia a un exceso de lluvia moderado en el Sur del Amazonas.

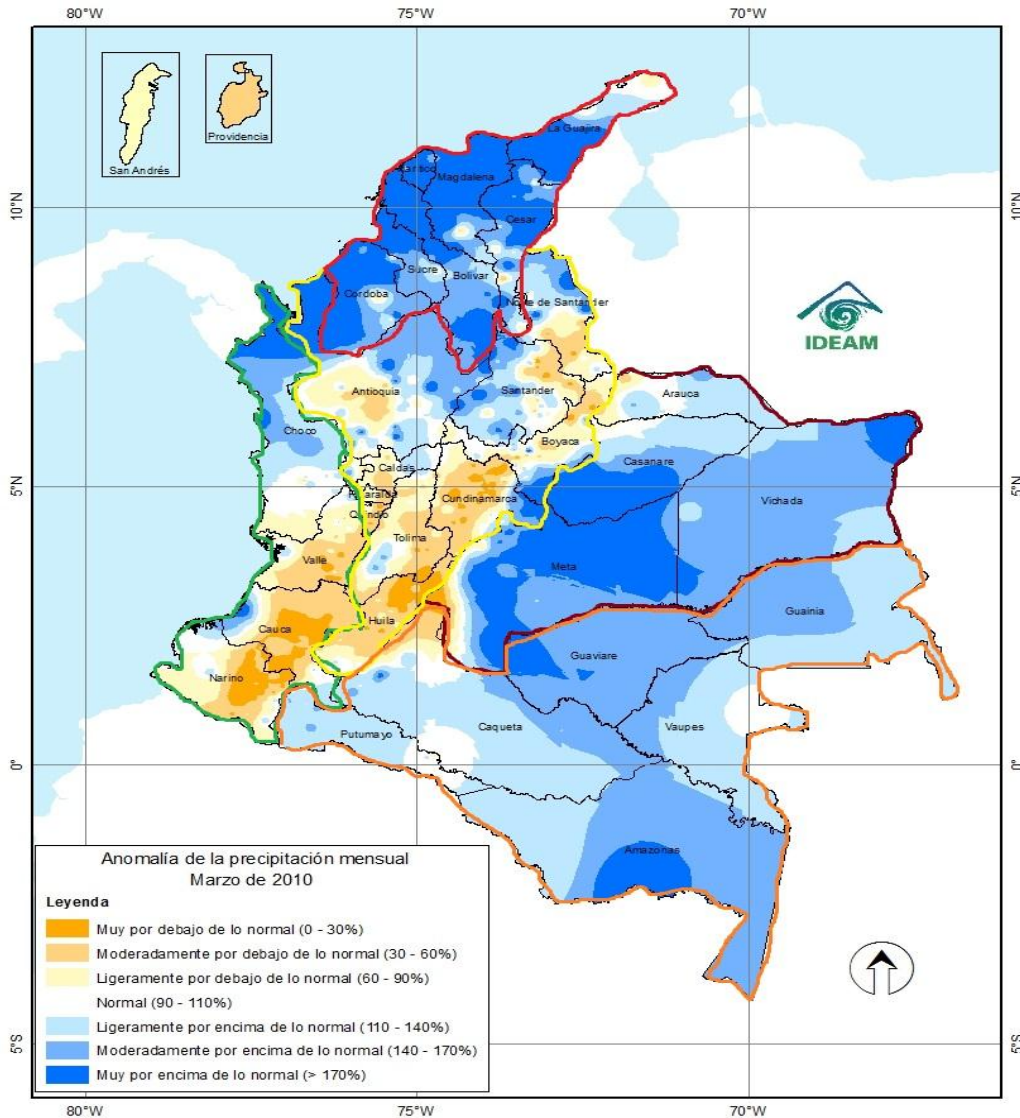
Figura 14. Mapa de anomalía de precipitación en febrero de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*Para febrero de 2010 se pudo ver el cambio que surgió de una época de sequías, como se observa desde mediados de 2009 a enero de 2010, que se le atribuye a un evento de El Niño y su cambio hacia una fase fría de La Niña, desde marzo de 2010. Se puede observar que aproximadamente el 80% de la región amazónica presenta un nivel de lluvias más alto al de su promedio histórico; las regiones de la Orinoquía, los Andes, el Caribe y el Pacífico empiezan a recuperar sus condiciones normales, tendientes a iniciar una fase de lluvias.

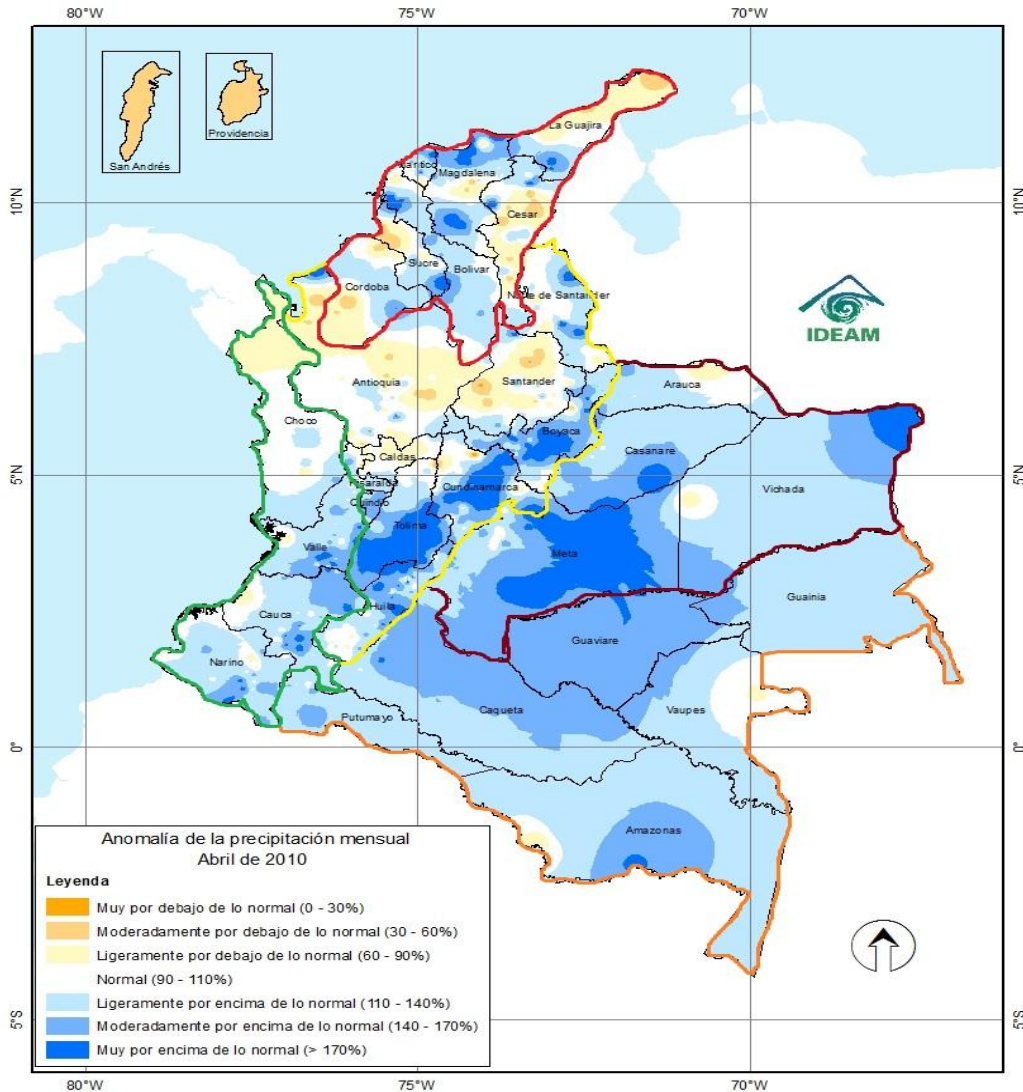
Figura 15. Mapa de anomalías de precipitación en marzo de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*Al inicio de eventos fríos en el país, la zona de Colombia más afectada es la región Caribe; ésta presenta exceso fuerte de lluvias en el 80% de la región y el departamento de Atlántico está completamente cubierto por las lluvias; le siguen las regiones de Orinoquía y Amazonia, que registran excesos de lluvia moderada en un 50%. En el Pacífico, el departamento de Chocó es el más afectado, mostrando visiblemente un exceso fuerte y moderado de lluvias al Norte del departamento; aproximadamente el 10% de la región Andina presenta exceso de lluvias, principalmente en el Noreste de Antioquia.

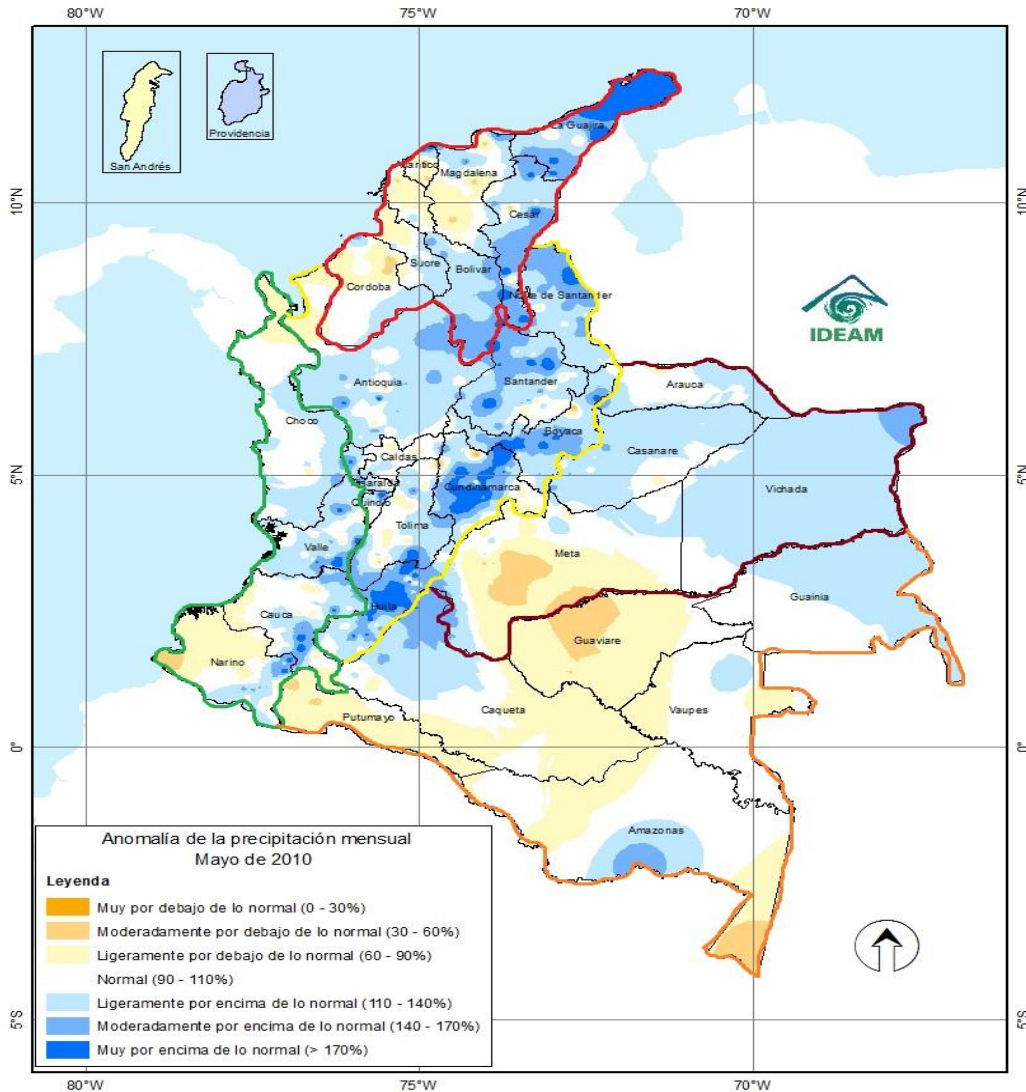
Figura 16. Mapa de anomalías de precipitación en abril de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En abril empieza el fenómeno de La Niña; los departamentos de Guaviare, Caquetá y Amazonas presentan exceso moderado de lluvias, mientras que el resto de la región amazónica registra lluvias ligeramente por encima de lo normal; En la Orinoquía, al Sur de Meta y al Occidente de Vichada se presentan lluvias muy por encima de lo normal; para la región Andina, el 44% de la zona registra lluvias mayores del promedio histórico en el Sureste de la zona; la región Pacífica no muestra grandes anomalías, se encuentra una condición normal con lluvias ligeras en toda la región; en el Caribe se registraron déficits de lluvia en La Guajira y en parte del Cesar.

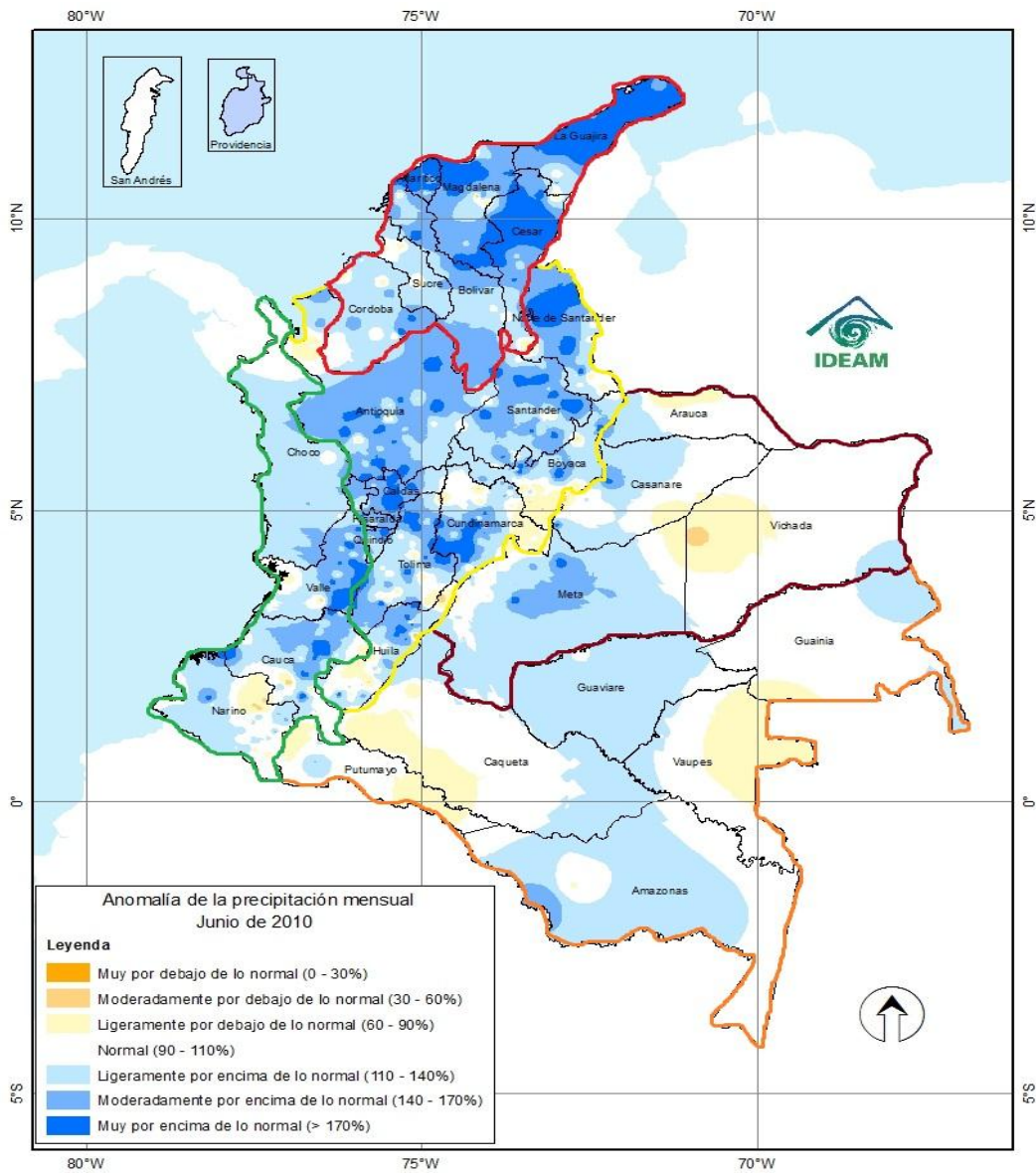
Figura 17. Mapa de anomalías de precipitación en mayo de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*Tal como se observa, en mayo las precipitaciones aumentaron en todo el territorio colombiano. La región Andina estuvo cubierta en un 90% por volúmenes de lluvias mayores a los normales, con excepción del Sur de Caldas y el Suroriente del Tolima que presentan anomalías normales. Las regiones del Pacífico, Amazonia y Orinoquía registran condiciones normales en aproximadamente 60% del territorio; en el Caribe, al Norte de La Guajira se registran lluvias muy por encima de lo normal.

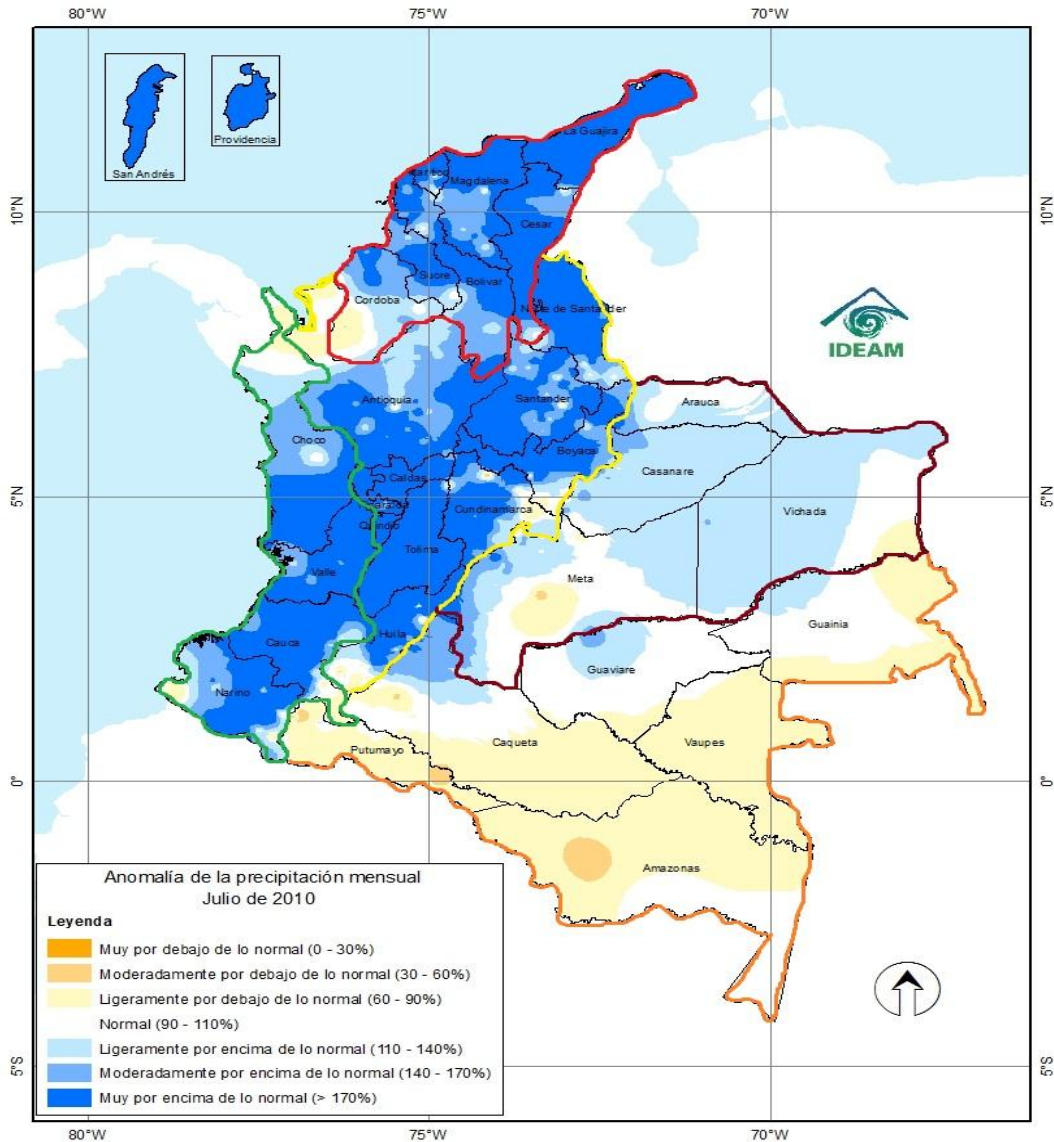
Figura 18. Mapa de anomalías de precipitación en junio de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*Las regiones de la Orinoquía y la Amazonia colombiana registraron porcentajes normales de anomalía; solo el 30% de cada región presentó anomalías ligeramente por encima de lo normal. Las regiones Andina y Caribe son las que están visiblemente más afectadas; en el Caribe, los departamentos de Atlántico, Cesar, La Guajira y parte del Magdalena presentan excesos fuertes de lluvia; el 90% de la región Andina registra excesos fuertes, moderados y ligeros de lluvias a lo largo de la región.

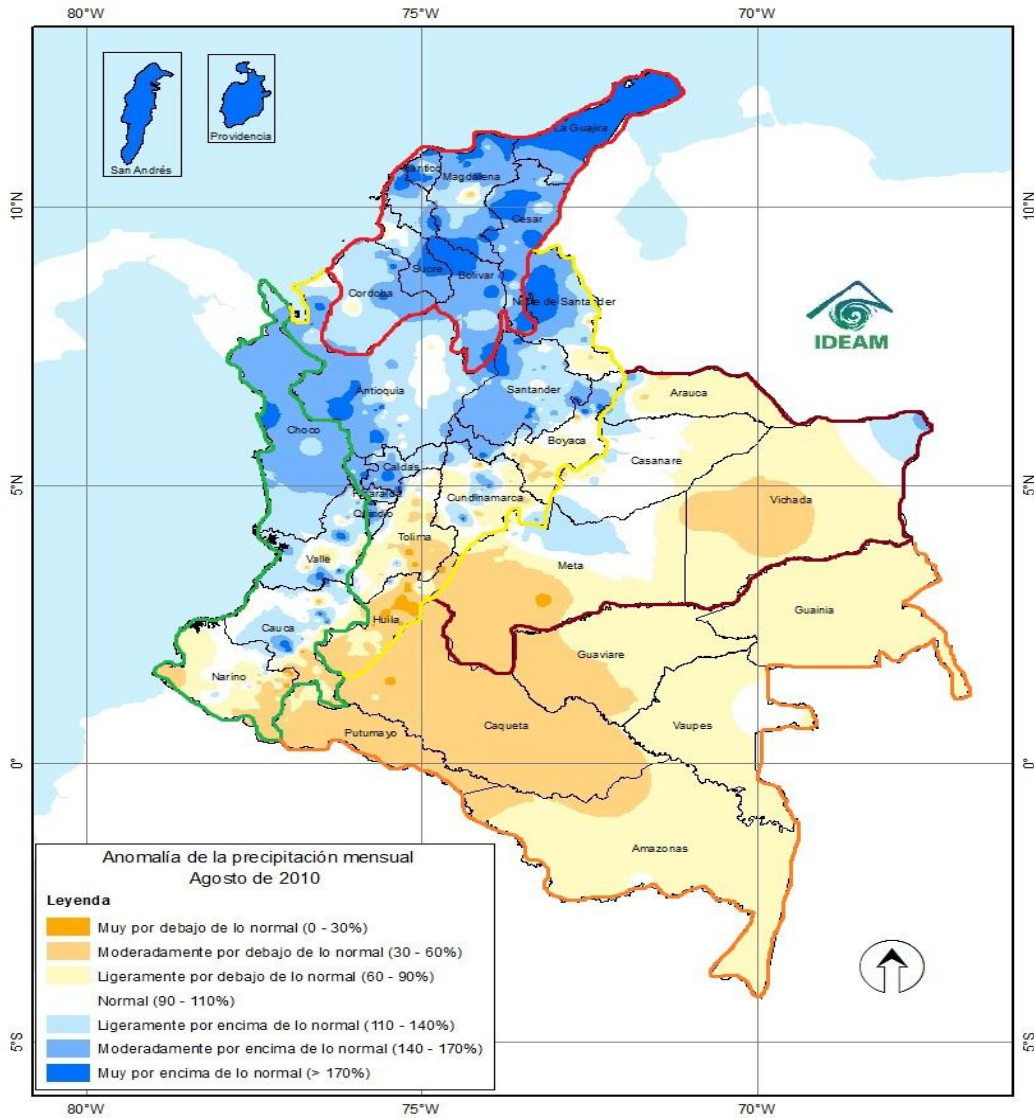
Figura 19. Mapa de anomalías de precipitación en julio de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*El invierno tomó fuerza y se concentra en las regiones Pacífica, Caribe y Andina. El 90% de la región Caribe registra excesos fuertes de precipitación, excepto el Sur del departamento de Córdoba; en la región Andina, los 10 departamentos que la conforman se ven gravemente afectados por los excesos fuertes de lluvia, solo al Norte de Antioquia se presentó un porcentaje de anomalía entre 140-170%. El Pacífico de Colombia se encontró en la misma situación, el 95% de la zona registró excesos fuertes de lluvias, con excepción del Norte del Chocó, que presentó condiciones normales. Las regiones de la Orinoquía y la Amazonia tendieron a estar en condiciones normales.

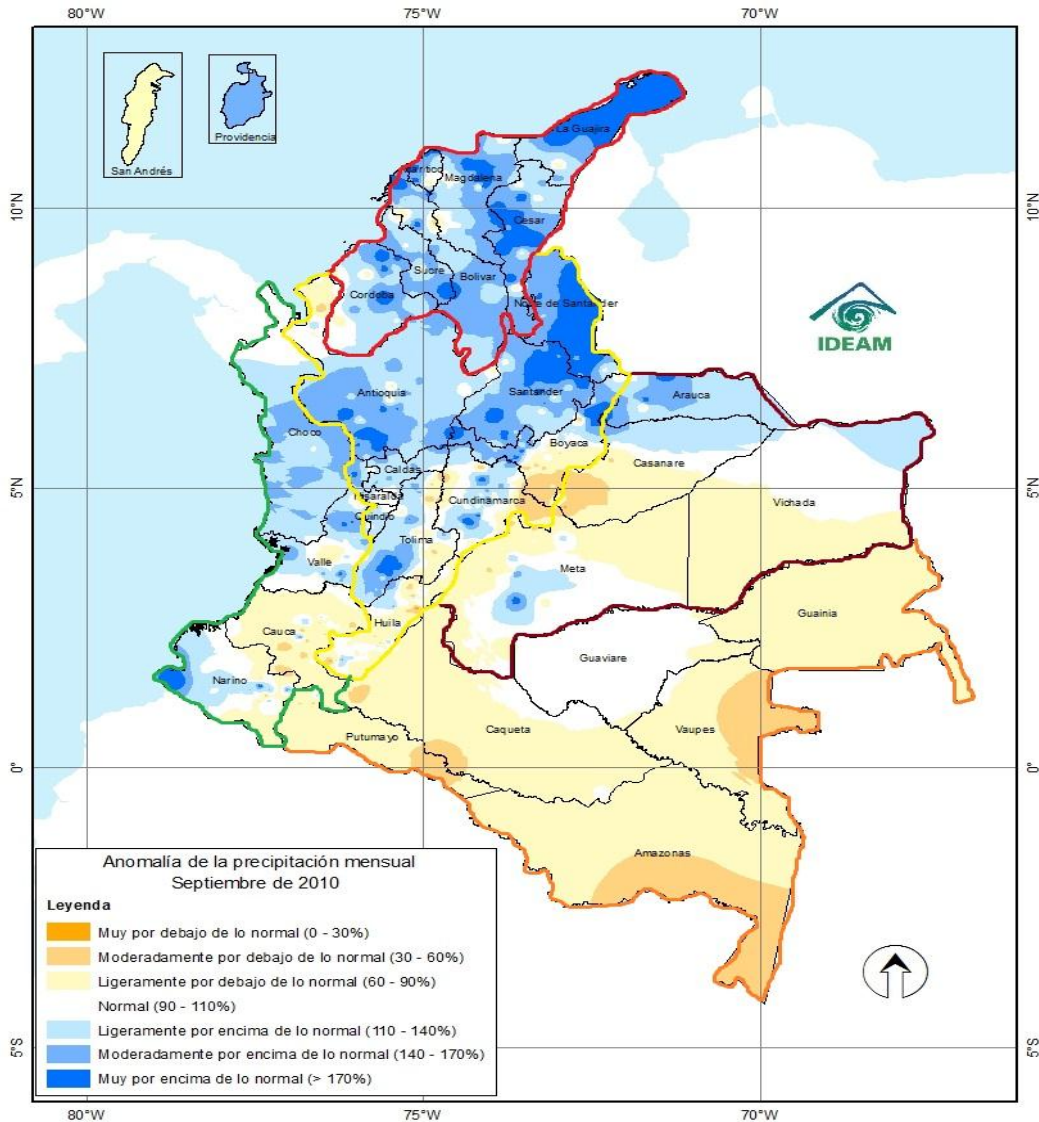
Figura 20. Mapa de anomalías de precipitación en agosto de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En toda Colombia, en el mes de agosto disminuyen los volúmenes de precipitación. La región Caribe continúa siendo la más afectada; La Guajira registra porcentajes muy por encima de lo normal, mientras que el resto de la región presenta excesos moderados y ligeros en algunas zonas de Córdoba y Magdalena. El 60% de la región Andina presentó excesos moderados por encima de lo normal. El 75% de la región Pacífica registró anomalías de precipitación ligeramente por encima de lo normal; y las regiones de la Amazonia y la Orinoquía se encontraron con déficit ligeros de lluvias en el 100% de sus zonas.

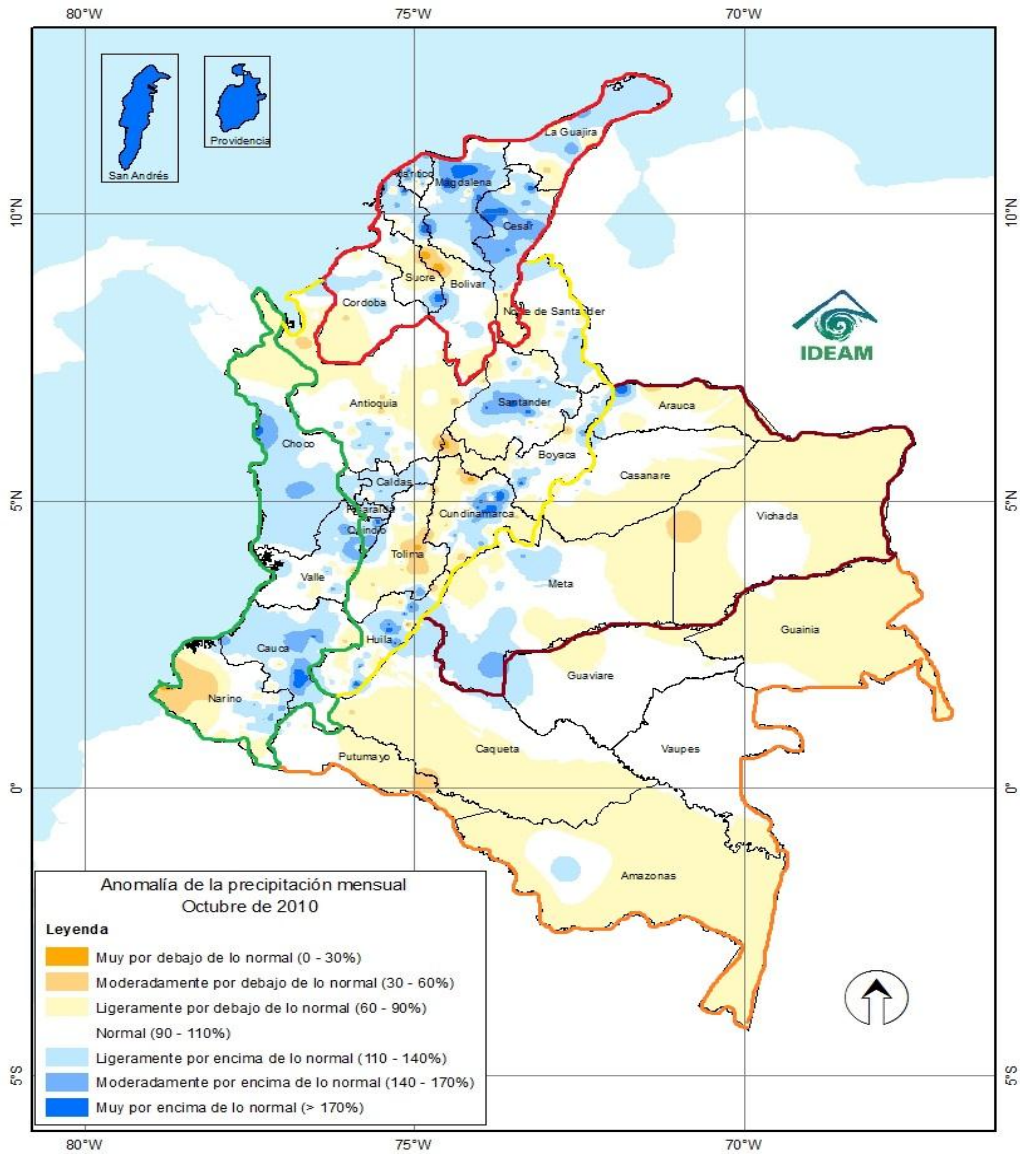
Figura 21. Mapa de anomalías de precipitación en septiembre de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En el mes de septiembre, el 100% de la Amazonia colombiana presentó un déficit ligeramente por debajo de lo normal; en la región de la Orinoquía las anomalías tendieron a la normalidad, excepto por el departamento de Arauca y parte del Casanare que presentaron excesos ligeros en las precipitaciones. La región Pacífica estuvo entre los porcentajes de normalidad, con algunos excesos de lluvias en el centro del Chocó. Las regiones Caribe y Andina siguieron presentando excesos en las lluvias, con excesos de gran importancia en La Guajira y Norte de Santander.

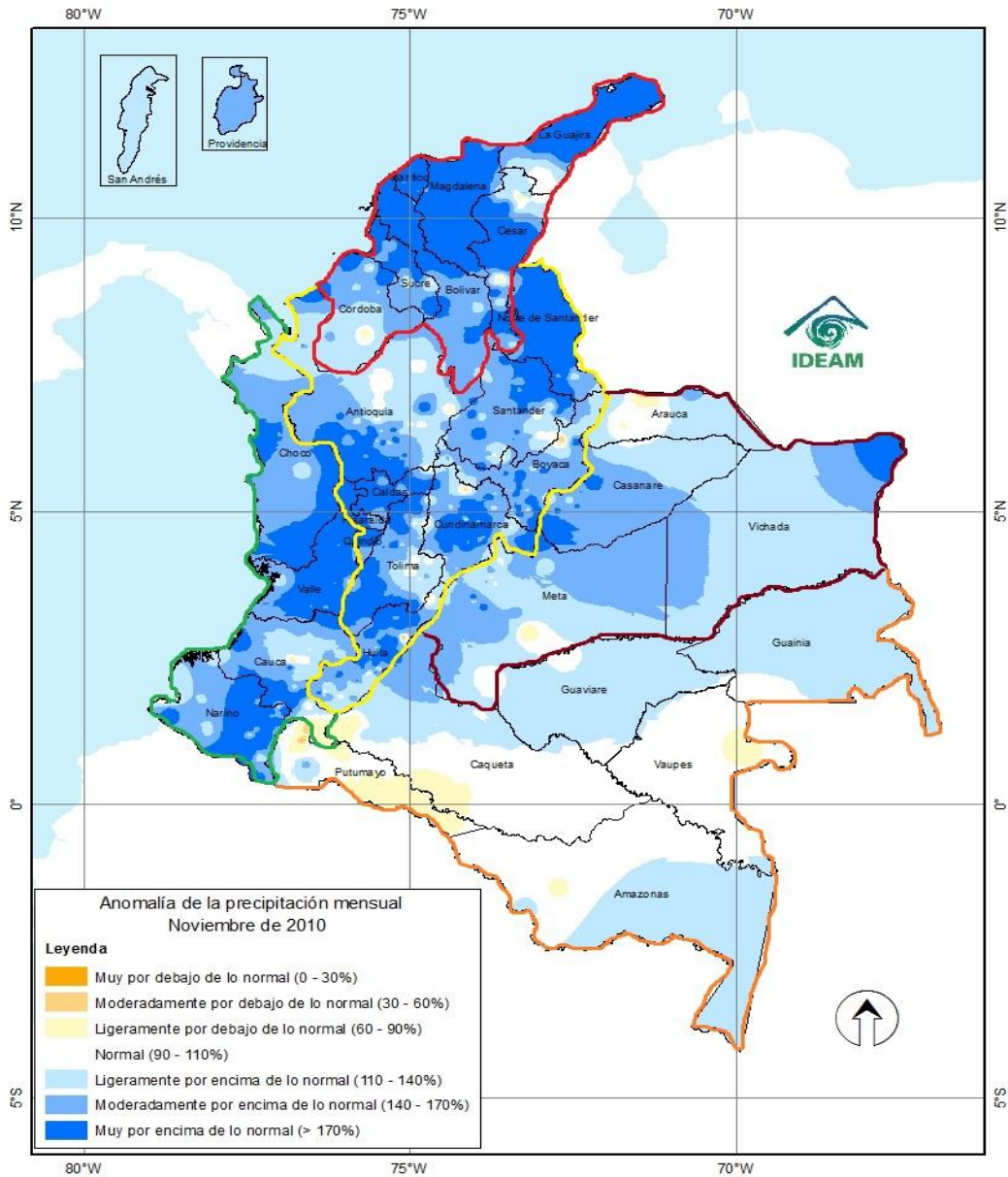
Figura 22. Mapa de anomalías de precipitación en octubre de 2010



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*La región Caribe presentó una disminución de la precipitación y el 50% de la región registró excesos ligeros en las lluvias. En la Amazonia siguieron las condiciones de normalidad con algunos déficits ligeramente por debajo de lo normal, al igual que la Orinoquía. En la región Andina y el Pacífico, el 60% de la zonas presentaron excesos ligeros en las lluvias.

Figura 23. Mapa de anomalías de precipitación en noviembre de 2010

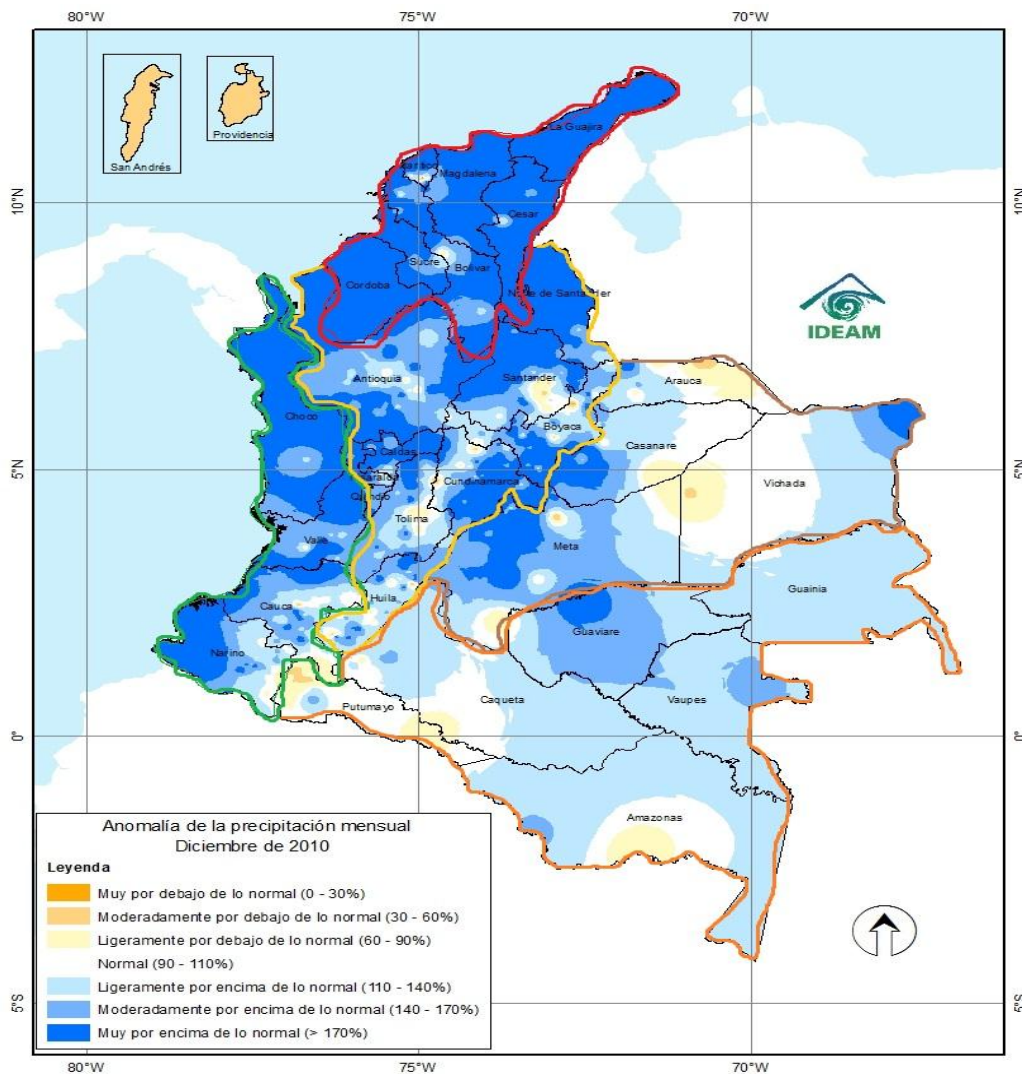


Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*Para noviembre de 2010, las lluvias aumentaron en toda Colombia. La región Caribe presentaba excesos de lluvias en el 100% de la región, siendo los departamentos de Atlántico, Magdalena, La Guajira y Cesar los más afectados; en la región Andina las lluvias también se apoderaron del 100% de la zona, con excesos fuertes de precipitación, con excepción del Norte de Antioquia que presenta un exceso ligero. Toda la región Pacífica registró excesos fuertes y

moderados en la precipitación. La Orinoquía comenzaba a presentar excesos ligeramente por encima de lo normal, mientras que la región amazónica estaba tendiendo a la normalidad, con algunos excesos ligeramente por encima de lo normal.

Figura 24. Mapa de anomalías de precipitación en diciembre de 2010

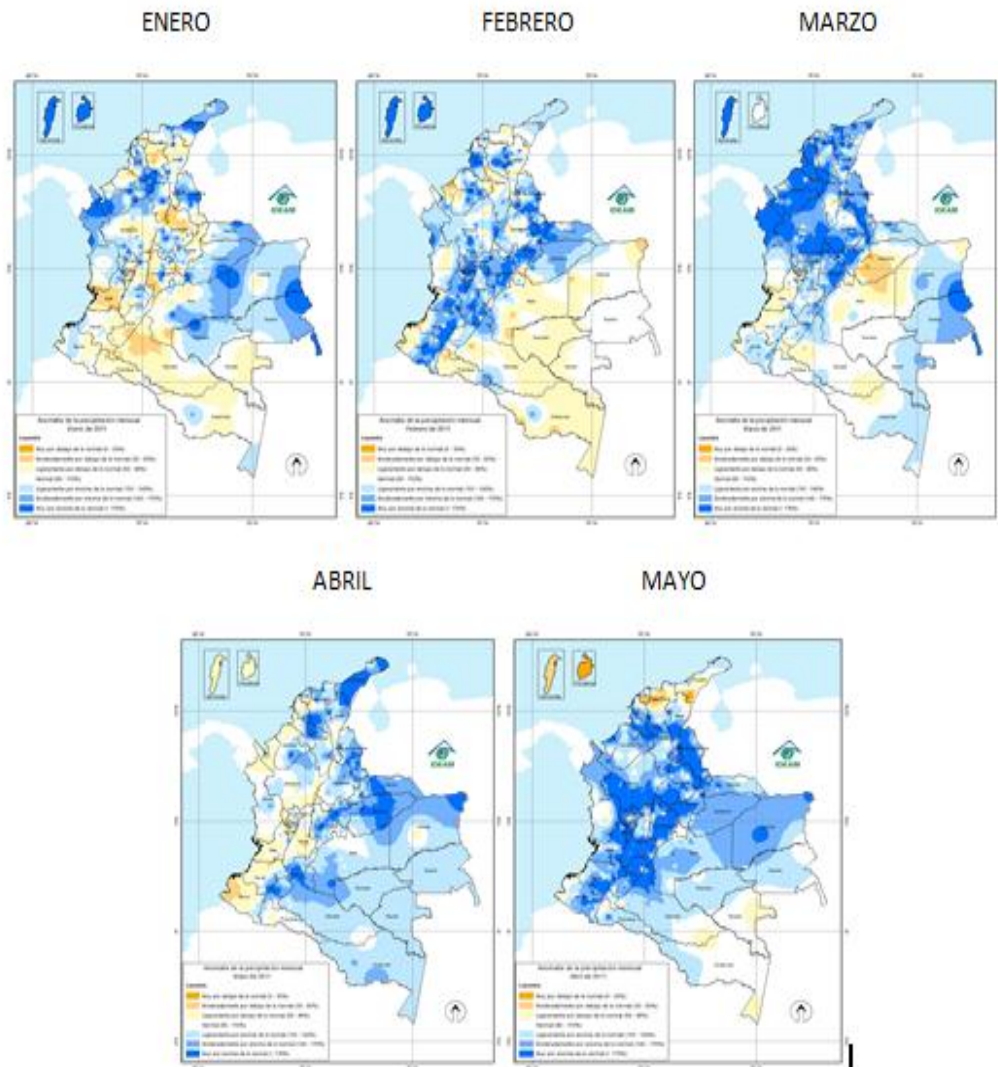


Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En diciembre continuó la tendencia de fuertes precipitaciones en todo el territorio nacional. El Caribe, el cual sufrió la peor ola invernal de todos los tiempos, registró excesos fuertes en todos los departamentos que lo conforman; le siguieron las regiones Andina y Pacífica; esta última presentó excesos fuertes en el 90% de la región, el 10% restante registró excesos moderados y ligeros. En la región Andina

se registraron excesos fuertes en cinco departamentos de la zona y los otros tuvieron precipitaciones moderadamente por encima de lo normal. Las regiones de la Amazonia y la Orinoquía presentaron excesos ligeros en el 90% de las zonas, exceptuando los departamentos de Meta y Guaviare, que tuvieron lluvias moderadamente por encima de lo normal.

Figura 25. Mapas de anomalías de precipitación entre enero y mayo de 2011



Fuente: IDEAM. Subdirección de Meteorología, 2011. Recuperado de www.ideam.gov.co

*En los meses de enero y febrero de 2011 disminuyeron las precipitaciones en la región Caribe; se puede observar que en febrero, la región Andina fue la más afectada, con presencia de excesos fuertes de lluvias en el 100% de la región. En el Pacífico, las lluvias tuvieron un exceso muy por encima de lo normal en los departamentos de Cauca y Nariño; en los Llanos Orientales y en la Amazonia se presentó normalidad con tendencia a déficits ligeramente por debajo de lo normal. En marzo, las lluvias volvieron a perjudicar a la región Caribe, registrando excesos en el 100% de la zona; la región Andina presentó excesos en el 80% del territorio, y en el Pacífico, el departamento del Chocó fue el más afectado, registrando excesos fuertes de lluvia al Norte de la zona. En abril, la región Pacífica registró normalidad en las anomalías de precipitación, al igual que la parte oriental de la región Andina; se presenciaron excesos de lluvias en toda la región amazónica y en la Orinoquía. En el Caribe, La Guajira registró mayores excesos fuertes. En mayo, los excesos fuertes de precipitación se concentraron en las zonas Andina, Pacífica y parte Sur del Caribe; en la Orinoquía y la Amazonia se registraron excesos ligeramente por encima de lo normal y la zona de La Guajira presentó déficits ligeros en las lluvias.

2.2 Análisis exploratorio

2.2.1 Análisis de indicadores océano-atmosféricos

Con el propósito de determinar qué procesos oceánicos y atmosféricos se relacionaron directamente con la precipitación de Colombia en los periodos comprendidos entre enero de 2010 y mayo de 2011, donde se desarrolló un evento de La Niña, se debían identificar los indicadores que caracterizan estos procesos y determinar qué grado de relación tienen con el evento ocurrido. Estos indicadores se convertirían en variables de salida o respuesta.

Como se ha podido observar a lo largo de este proyecto, el comportamiento océano-atmosférico es uno de los componentes del sistema climático que tiene mayor incidencia en el comportamiento de la precipitación en el mundo y obviamente en Colombia. Por esta razón se analizan indicadores que comprenden variables atmosféricas y oceánicas presentes en el Océano Pacífico Tropical.

Existen más de 50 variables presentadas por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), de los Estados Unidos, para el estudio del clima. Ellos las

dividen en siete grandes grupos que son: Teleconexiones, Atmosféricas, Precipitación, ENSO, TSM en el Pacífico, TSM en el Atlántico y de otra índole.

Después de conocer el listado de indicadores, se definen las variables indicadas para este proyecto o que más se pueden acercar a dar respuesta sobre la incidencia de la precipitación en Colombia entre 2009 y 2011.

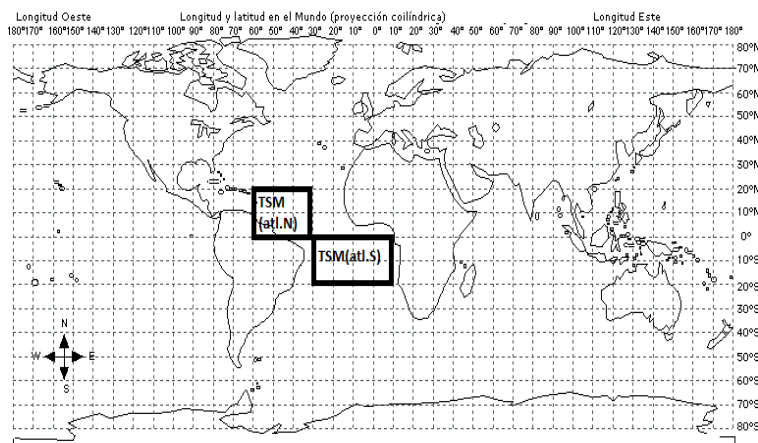
Para iniciar el análisis, se escogieron los indicadores que según datos históricos, investigaciones y demás, presentan mayor probabilidad de relación en la ocurrencia de un evento de La Niña en Colombia.

Inicialmente se seleccionaron 11 variables, reconocidas como indicadores representativos en la variabilidad climática de Colombia. Estos indicadores contienen procesos oceánicos y atmosféricos, y están representados por:

TSM (Atlántico Norte) / TSM (Atlántico Sur)

La serie de datos analizados correspondientes a la TSM en el Atlántico Norte y Sur, están ubicados en (5-20° N - 60-30° O) y (0-20° S - 30°O-10E), respectivamente. En la siguiente imagen se muestra su ubicación exacta:

Figura 26. Ubicación de datos TSM (Atlántico Norte y Atlántico Sur)

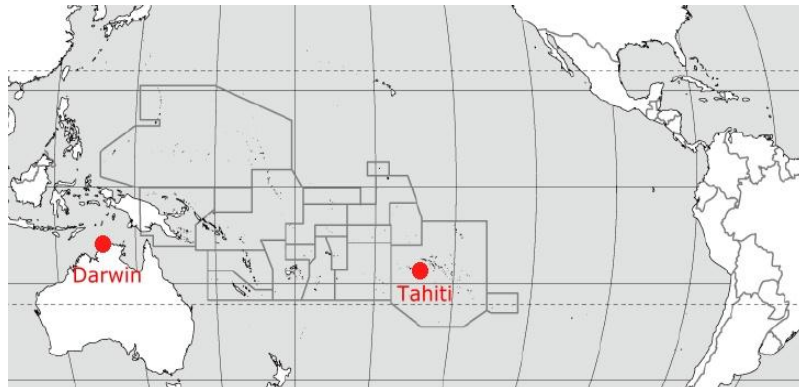


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

IOS

Tal como se ha presentado anteriormente, el IOS es el cálculo de las diferencias normalizadas entre la presión atmosférica en Tahití (Polinesia francesa) y Darwin (Australia). Para ilustrar esto se presenta la siguiente gráfica:

Figura 27. Ubicación IOS (Tahití – Darwin)

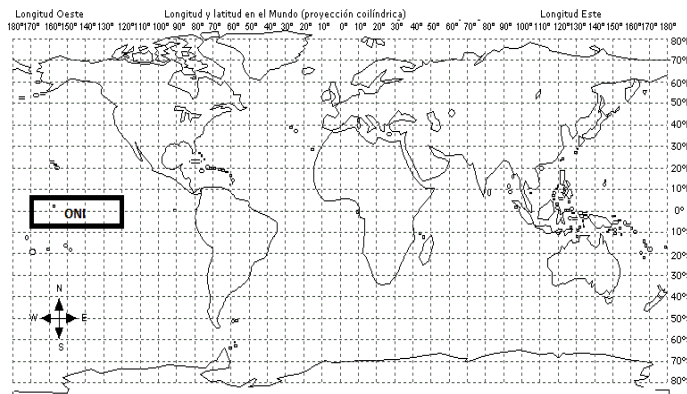


Fuente: Environmental Science Published for Everybody Round the Earth.

ONI

Las coordenadas de medición del ONI son (5°N – 5°S, 120°-170°W) y se ven reflejadas en el siguiente mapa:

Figura 28. Ubicación ONI (5°N-5°S, 120°-170°W)

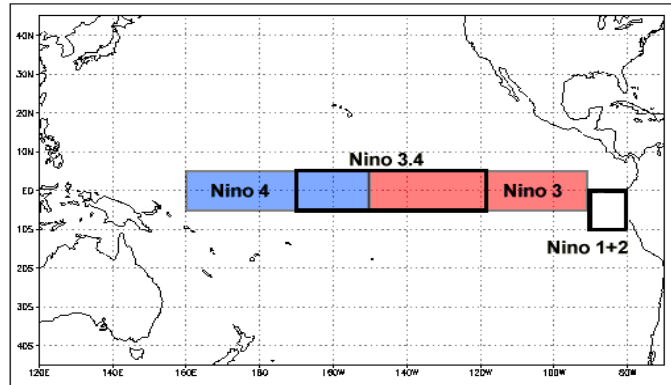


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

Regiones de El Niño (Niño 1+2 – Niño 3 – Niño 3,4 – Niño 4)

Como ya se ha aclarado, se determinaron cuatro zonas para el estudio de la variabilidad de la TSM en la franja tropical del Pacífico. Estas tienen la siguiente ubicación:

Figura 29. Ubicación de las regiones de El Niño

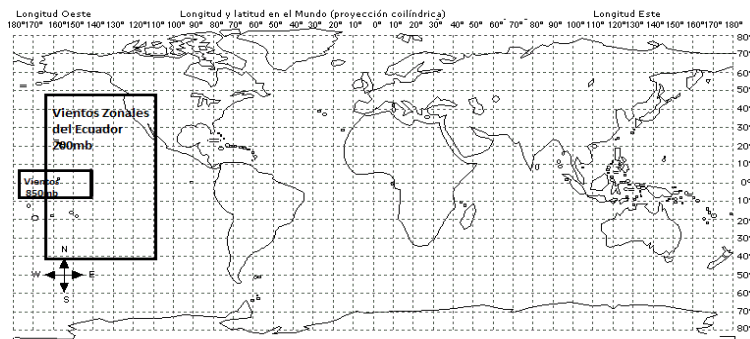


Fuente: Climate Prediction Center. NOAA. Regiones de El Niño. Recuperado de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>

Vientos a 850mb del Pacífico central / Vientos zonales del Ecuador 200mb

La serie de datos de estos indicadores se toman en las coordenadas (175°W-140°W – 5°N-5°S) del Pacífico central, y en (165°W-110°W) para los vientos zonales del Ecuador, a una altura de 850mb y 200mb, respectivamente, como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 30. Ubicación de vientos 850mb y 200mb

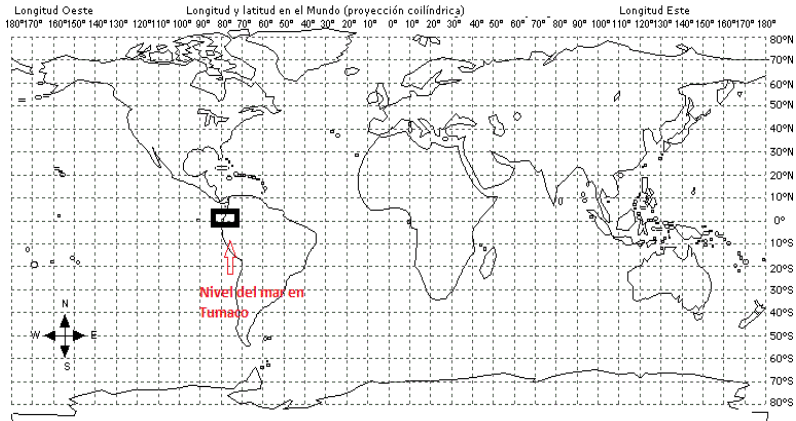


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

Nivel del mar en Tumaco

En la siguiente grafica se muestra la ubicación de la toma de muestras de la serie de datos del nivel del mar en Tumaco.

Figura 31. Ubicación del nivel del mar en Tumaco



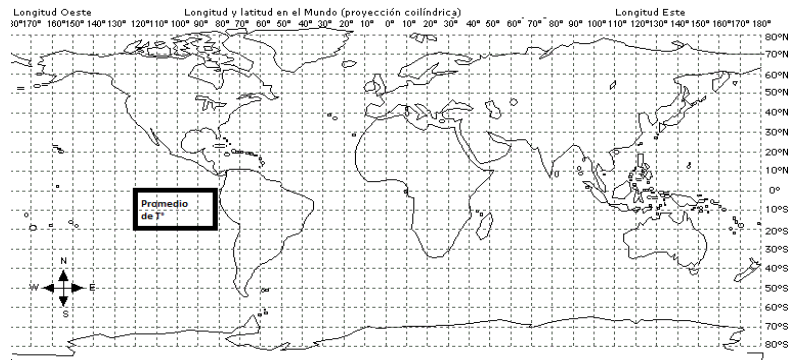
Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

Después del primer análisis con las once variables presentadas anteriormente, se detectó la necesidad de hacer un estudio más robusto, para tener un mejor resultado en la identificación de indicadores más representativos en el evento de La Niña 2009-2011 en Colombia. Para tal fin, se adicionaron siete variables más al modelo, completando un total de 18 indicadores presentes en el océano Pacífico tropical a analizar. Cabe resaltar, que se encuentran otros indicadores que pueden estar relacionados con la variabilidad climática de Colombia y que no se encuentran presentes en este estudio por no tener las series de datos completas. Las variables adicionadas corresponden a:

Promedio de temperatura a 500mb

Este indicador corresponde al promedio zonal de la temperatura del aire a una altura de 500mb, en el Pacífico Tropical.

Figura 32. Ubicación promedio de la temperatura a 500mb en el Pacífico Tropical

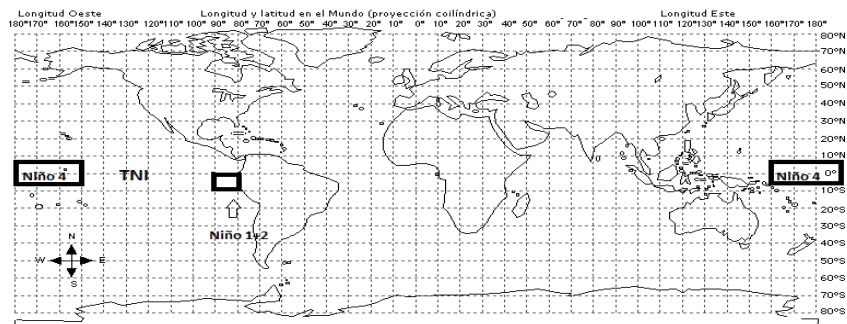


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

TNI

El TNI se ubica en las coordenadas (0°-10°S, 90°-80°O) y (5°N-5°S, 160°E-150°O), correspondientes a las regiones Niño 1+2 y Niño 4, respectivamente. Como se ha expresado anteriormente, el TNI representa la diferencia entre las anomalías de TSM entre estas regiones.

Figura 33. Ubicación de TNI



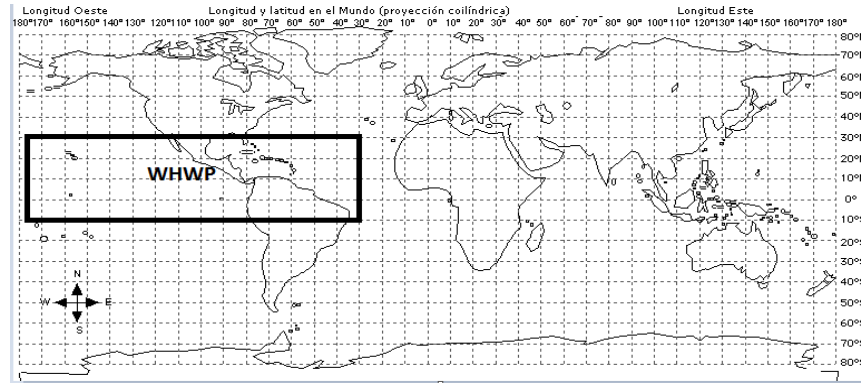
Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

WHWP

La piscina caliente del Hemisferio Occidental se extiende sobre partes del Este del Pacífico Norte, el Golfo de México, el Caribe y el Atlántico Norte Tropical. Las

coordenadas espaciales dadas por el NOAA para este indicador son: N: 30°, S: -5°, E:-30°, W:-180°, y se muestran en el siguiente gráfico.

Figura 34. Ubicación de WHWP

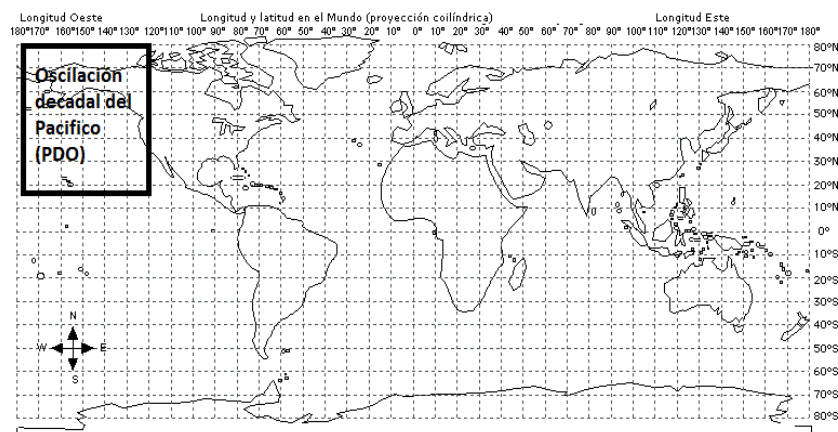


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

PDO

Como ya se conoce, el PDO está derivado de las anomalías mensuales de la TSM en el océano Pacífico Norte, hacia los polos, como se muestra a continuación:

Figura 35. Ubicación de PDO

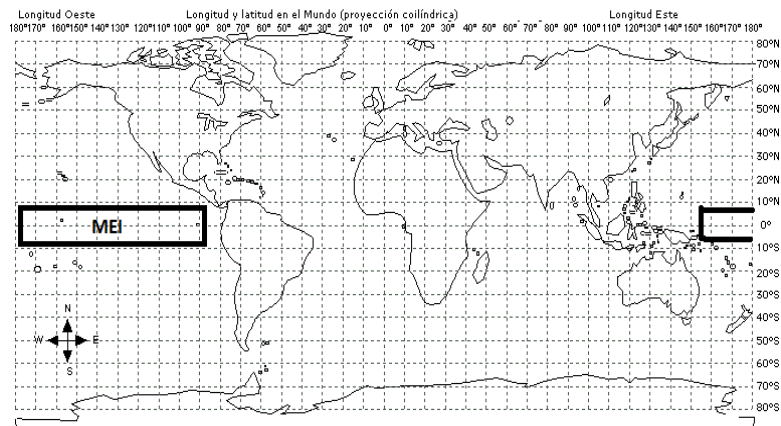


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

MEI

El Índice Multivariado del ENSO se evalúa en la zona del Pacífico Tropical.

Figura 36. Ubicación del MEI

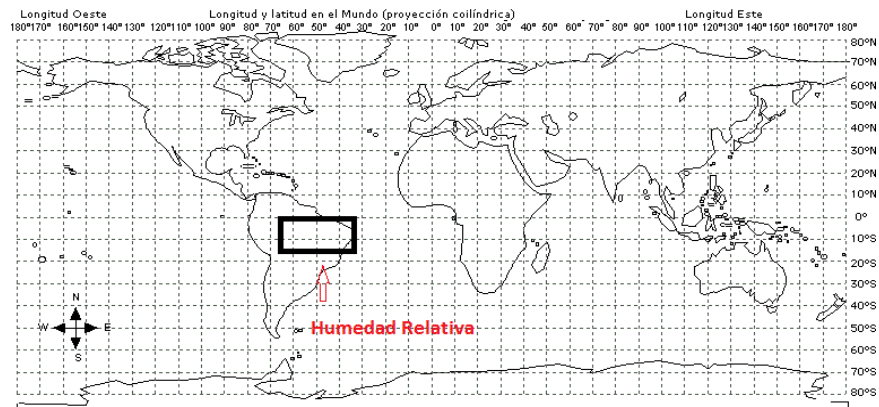


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

Humedad relativa

Este indicador se tomó de las coordenadas (0°, -15°) – (-45°, -65°), a una altura de 700mb. Su ubicación representa la humedad en la zona de la Amazonia.

Figura 37. Ubicación de la humedad relativa a 700mb

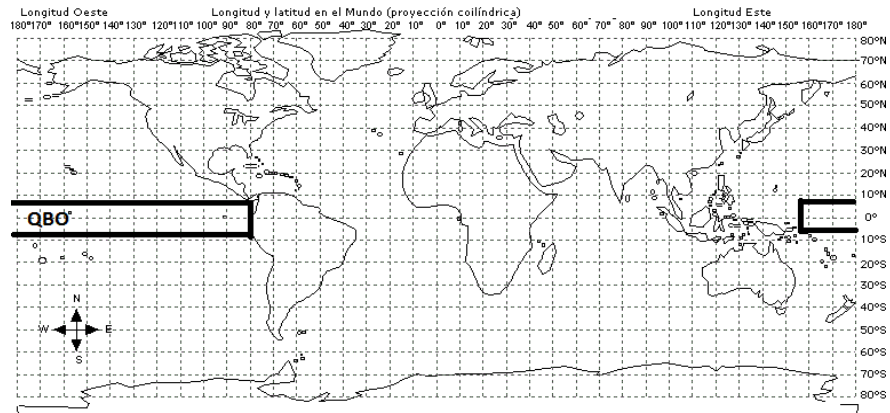


Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

QBO

La Oscilación Cuasi-bienal se representa con la fluctuación de los vientos en el Pacífico Tropical, como se muestra a continuación:

Figura 38. Ubicación del QBO



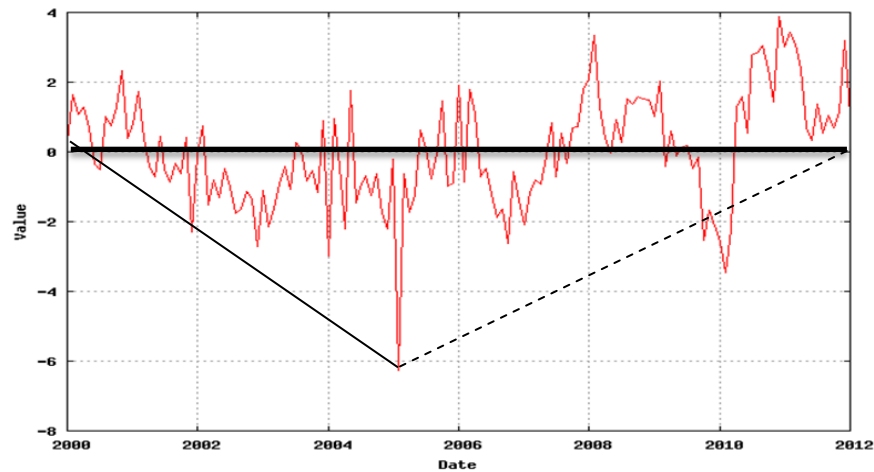
Fuente: Mi Atlas. Mapamundi. Elaboración: Propia

2.2.2 Conformación de la base de datos de indicadores océano-atmosféricos

Para crear la base de datos de los indicadores que podrían tener incidencia en la ocurrencia del fenómeno de La Niña ocurrido entre los periodos 2010-2011 en Colombia, se utilizaron las series de datos dadas por la NOAA, de los Estados Unidos, para cada una de las variables y para los años correspondientes al desarrollo del proyecto (2009-2011).

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se conoce la ubicación espacial de cada indicador, y para poder entender con mayor claridad su conducta a lo largo de los años, se presentan las gráficas de comportamiento de los últimos 10 años, para cada variable a analizar. Estos comportamientos se pueden ver reflejados en las siguientes figuras:

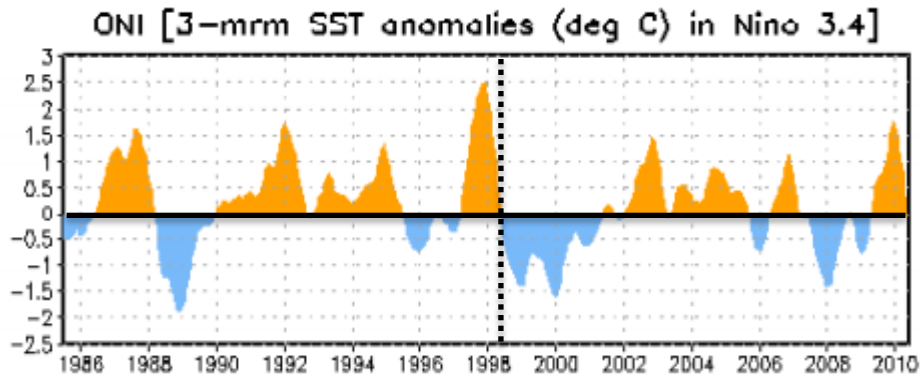
Figura 39. IOS (Índice Oscilación del Sur) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*El Índice de Oscilación del Sur (IOS) registra un comportamiento descendente desde el año 2000 al 2005, hasta llegar a una anomalía de -6, su punto más bajo; esto indica la tendencia de un fenómeno de El Niño en esta época. Como se muestra en la figura, a partir del año 2005 se registra una tendencia ascendente, lo que indica la presencia de un evento de La Niña, con mayor influencia en los años 2008, y entre el 2010 y 2011, ya que en estos tiempos se muestra los picos más altos y como se vivencio en Colombia, fueron tiempos de lluvias excesivas.

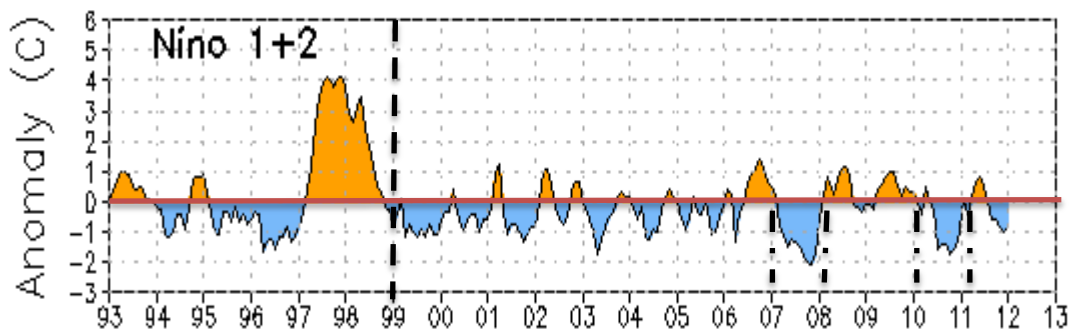
Figura 40. ONI (Índice Oceánico de El Niño) – Comportamiento de anomalías de 1986 a 2010



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*El Índice Oceánico de El Niño presenta condiciones de El Niño cuando su valor es mayor o igual a $+0.5^{\circ}\text{C}$; en la figura es representado con el color naranja, teniendo el pico más alto entre 1997-1998. Y para ser clasificado como un evento de La Niña debe ser menor o igual que -0.5°C , identificados con color azul, correspondiente a los años 1999, 2000 y 2008 (Anomalías negativas más altas). Cabe aclarar que estos umbrales deben ser excedidos por un periodo de al menos cinco meses consecutivos, para poder definir la ocurrencia de un evento.

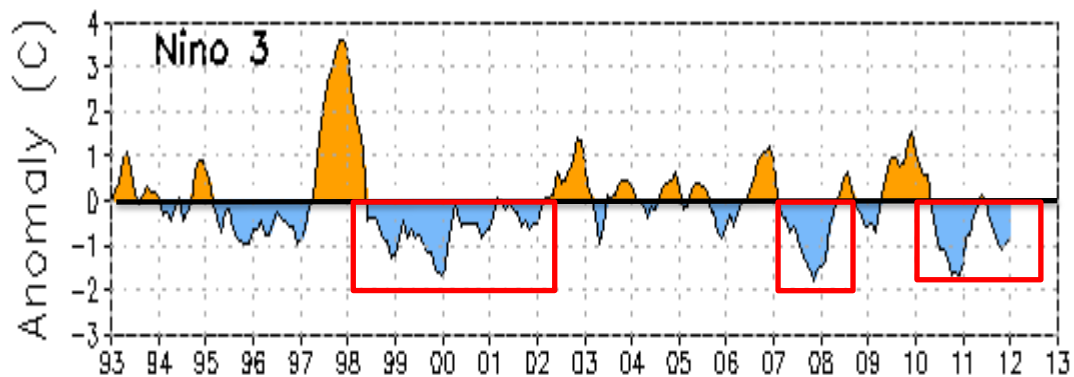
Figura 41. Niño 1+2 (TSM) – Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*En la figura de las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2, se muestra en los años 1997 y 1999 un calentamiento de las aguas, lo que representa la presencia de un fenómeno de El Niño. A partir del año 2000 se evidencia un enfriamiento de la TSM, teniendo anomalías negativas más pronunciadas entre 2007-2008 y 2010-2011, cuando se presentaron eventos relacionados con un fenómeno de La Niña.

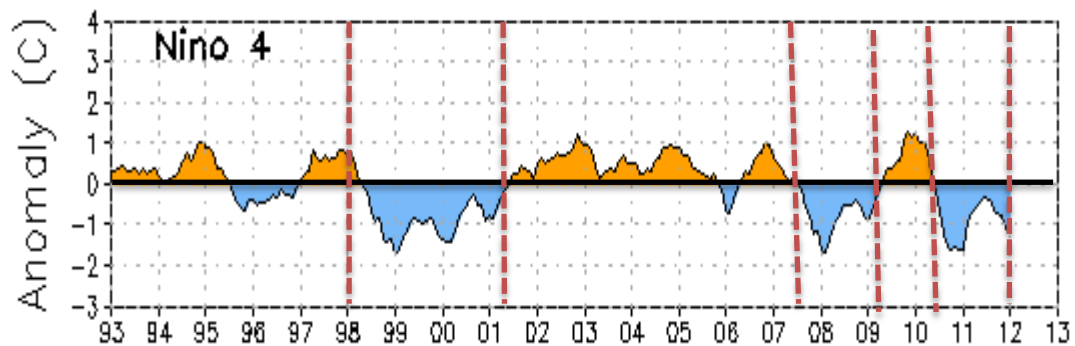
Figura 42. Niño 3 (TSM) – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*En color naranja se presentan las anomalías positivas, es decir, aumento en la TSM; como se puede apreciar, entre el año 1997 y 1998 hubo un aumento significativo de la temperatura, lo que deja ver la presencia de un evento de El Niño en este periodo. En los cuadros rojos se resaltan las anomalías negativas, relacionados con un evento frío de La Niña. Se pueden observar temperaturas bajas en los años 1998 a 2001; 2007 – 2008 y parte del 2009, y por último, eventos fríos desde mediados de 2010 y principios de 2012.

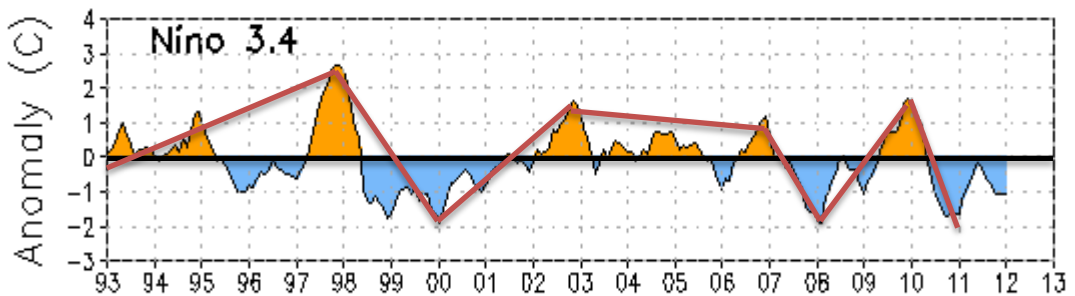
Figura 43. Niño 4 (TSM) - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*El comportamiento en el tiempo de la región Niño 4 se puede dividir en seis tramos, tomados de la siguiente forma: desde 1993 a 1998 se presentaron anomalías positivas (aguas cálidas), exceptuando el periodo entre 1996-1997, cuando disminuyó la TSM. El segundo tramo está comprendido por los años de 1998 a 2001, donde se evidencia la presencia de un evento frío relacionado con el fenómeno de La Niña. Entre 2001 y mediados de 2007 vuelve a aumentar la TSM, registrando un evento cálido relacionado con El Niño, seguidamente se presenta una disminución importante en la TSM, entre 2008 y principios del 2009; este evento frío se ve interrumpido por una nueva aparición de aguas cálidas a mediados de 2009; el evento frío reaparece a mediados de 2010 y continúa presente a inicios de 2012.

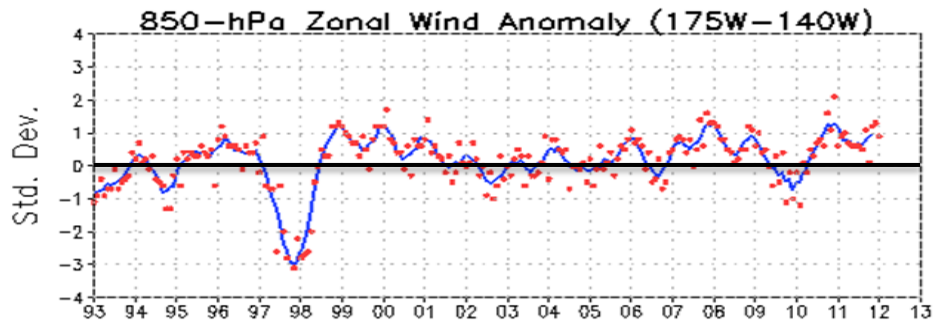
Figura 44. Niño 3,4 (TSM) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*El comportamiento de la TSM en las regiones de El Niño es muy parecido; comienza un periodo con un evento cálido, vuelve a tener un comportamiento descendente representado en un evento frío, y así secuencialmente, hasta terminar en un evento frío entre los años 2010-2011 y principios de 2012, cuando se evidenció la presencia de un fenómeno de La Niña.

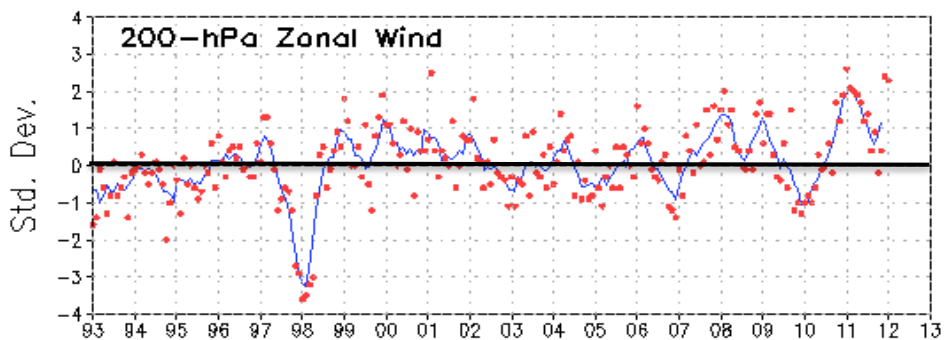
Figura 45. Vientos a 850mb - Comportamiento de anomalías de 1993 - 2011



Fuente: NOAA/CPC – Monthly Atmospheric and SST Index. Recuperado de www.cpc.ncep.noaa.gov

*Los vientos zonales a una altura de 850mb han tenido a lo largo de los años un comportamiento sin muchas variantes, teniendo fluctuaciones entre 0 y +1, la mayoría del tiempo, exceptuando los años de 1998 y 2010, cuando presentan anomalías negativas que se pueden relacionar con la presencia de un evento de La Niña en estas épocas.

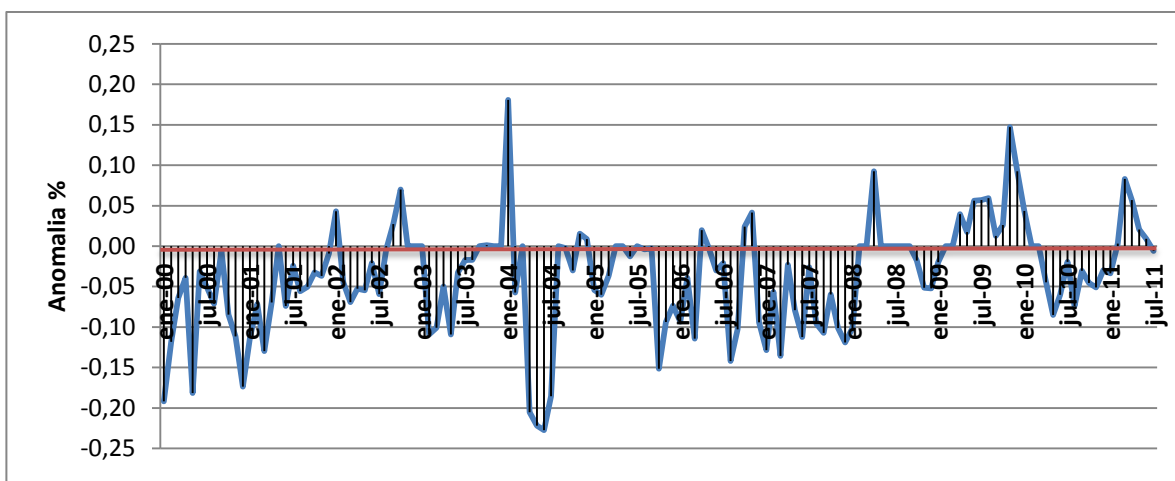
Figura 46. Vientos a 200mb - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Monthly Atmospheric and SST Index. Recuperado de www.cpc.ncep.noaa.gov

*La figura muestra un comportamiento uniforme entre anomalías positivas y negativas, presenta una anomalía negativa muy fuerte en el año 1998, lo que se asocia con la intensidad del evento de El Niño ocurrido en este año. Los siguientes no tienen fluctuaciones tan representativas, hasta el año 2011, cuando presenta su pico más alto relacionado con anomalías positivas con un valor de +2, relacionadas con la intensidad del evento de La Niña en este período. Estos datos fueron representados a una altura de 200mb.

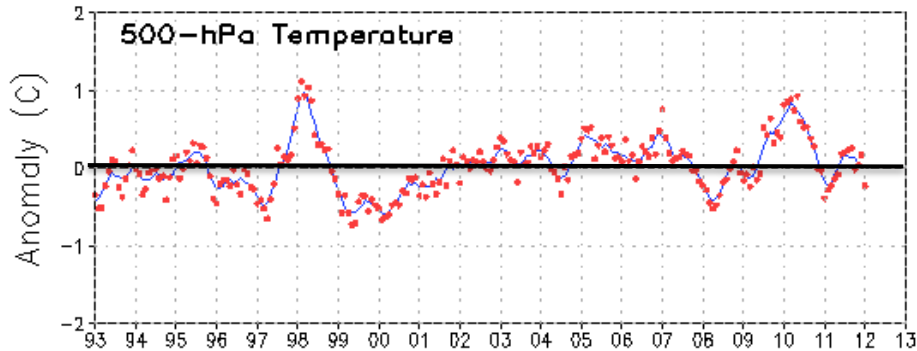
Figura 47. Nivel medio del mar en Tumaco – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: Datos de anomalías del nivel del mar en Tumaco, IDEAM. Elaboración: Propia

*El nivel medio del mar en Tumaco, a lo largo del tiempo, ha tenido el mayor número de anomalías negativas, siendo la más significativa en el año 2004. Este indicador presenta anomalías positivas a finales del 2003, principios del 2010 y del 2011. Se puede inferir que las anomalías del nivel medio del mar han sido positivas cuando se han presentado eventos fríos de La Niña.

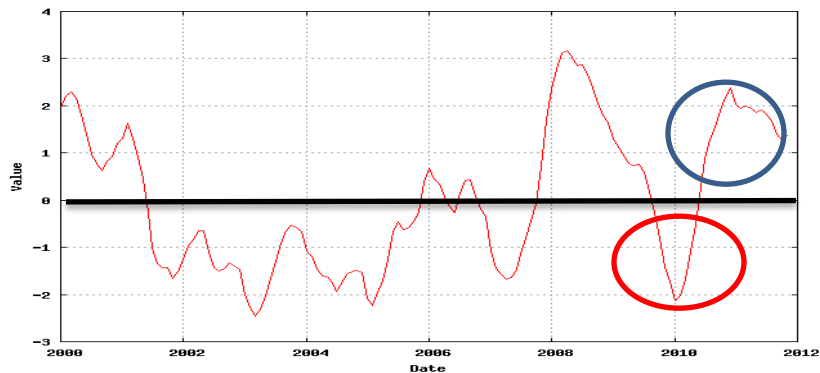
Figura 48. Promedio de la temperatura a 500mb - Comportamiento de anomalías de 1993 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Monthly Atmospheric and SST Index. Recuperado de www.cpc.ncep.noaa.gov

*El comportamiento de la temperatura a una altura de 500mb es homogéneo, registra dos picos entre 1997 y 1998, y entre 2009 -2010; esto puede tener una relación directamente proporcional, en cuanto que a mayor anomalía positiva, es mayor la relación con un evento cálido, como es el caso de estos dos periodos en los que se desarrolló un evento de El Niño.

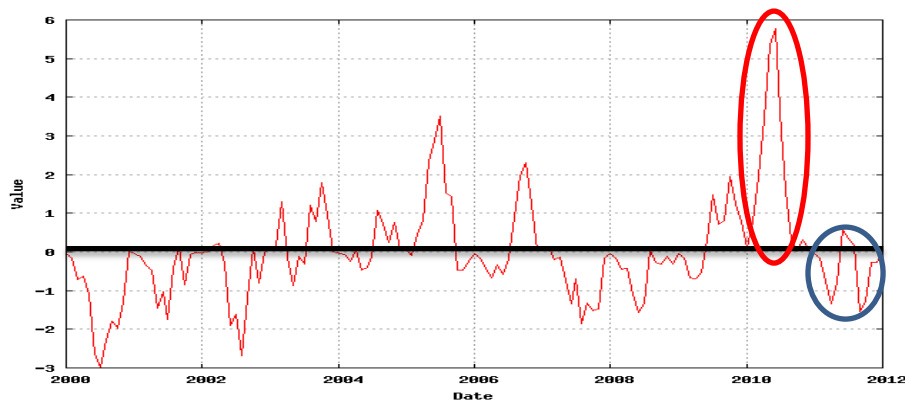
Figura 49. TNI (Índice de la Evolución de El Niño) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*El TNI tiene un comportamiento descendente hasta el año 2005, mostrando que la diferencia de la TSM entre las regiones de El Niño generan una anomalía negativa; desde el 2005 al 2009 se evidencia lo contrario, presentando una tendencia ascendente. A partir del segundo semestre del 2009 vuelve a tener un comportamiento descendente, y en 2010 toma valores de anomalías positivas, presentando un comportamiento característico del TNI, con cambios ascendentes y descendentes por periodos. Las últimas fases de El Niño 2009-2010, coinciden con las anomalías negativas del TNI; y las anomalías positivas del periodo 2010-2011 están relacionadas con la ocurrencia del evento de La Niña.

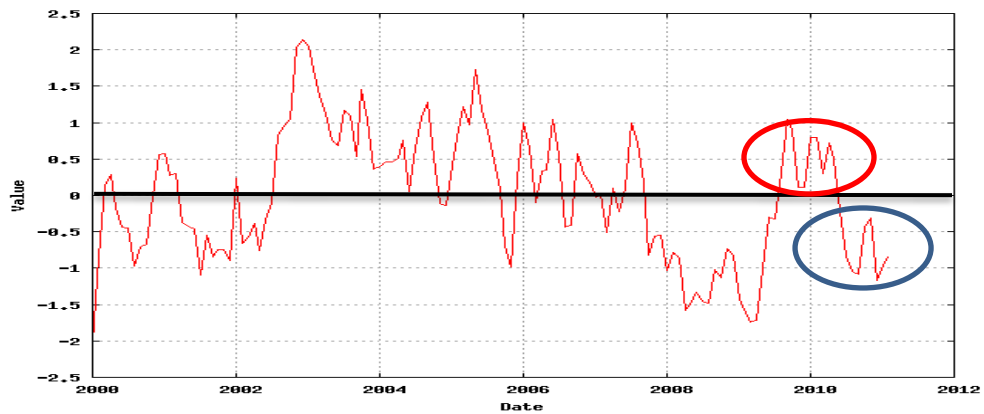
Figura 50. WHWP - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*La WHWP llega a su pico más alto en el año 2010, presentando los mayores valores de anomalías positivas en las piscinas calientes; esto tiene mucha relación con el TSM del Atlántico Norte Tropical. Este pico puede estar relacionado con el último evento cálido de El Niño, y las anomalías negativas registradas entre 2010-2011 se asocian con un evento frío de La Niña.

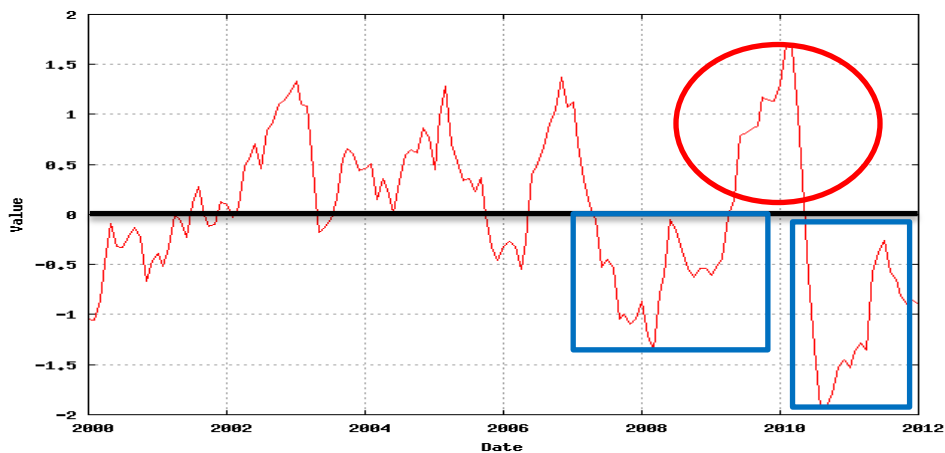
Figura 51. PDO (Oscilación Decadal del Pacífico) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*Se puede observar un comportamiento habitual: la mayor presencia de anomalías positivas a través de los años. Las anomalías positivas encerradas en el círculo rojo se asocian con la ocurrencia del fenómeno de El Niño entre 2009-2010 y las negativas están relacionadas con la ocurrencia de eventos fríos, como ocurrió entre 2010-2011.

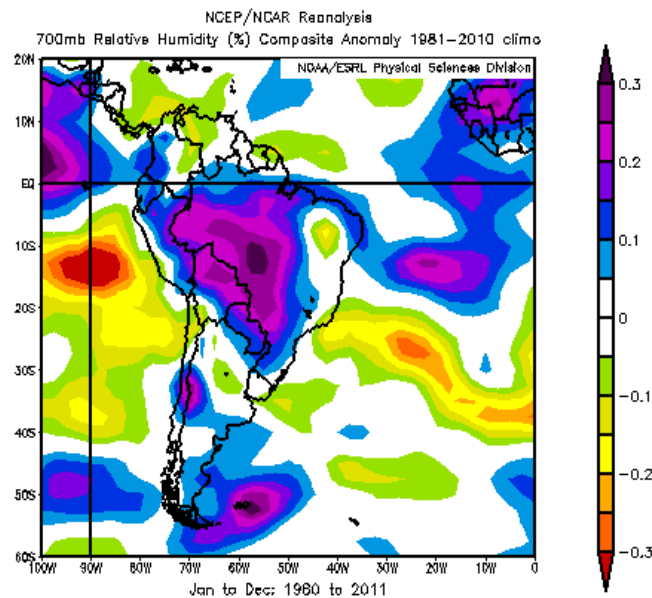
Figura 52. MEI (Índice Multivariado de ENSO) - Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

* En los cuadros azules se muestran los valores negativos del MEI, que representan la fase fría de ENSO, es decir, La Niña para los años 2008-2009 y entre el 2010-2011 y principios de 2012. Los valores positivos representan la fase cálida de El Niño, teniendo su pico más alto al inicio de 2010.

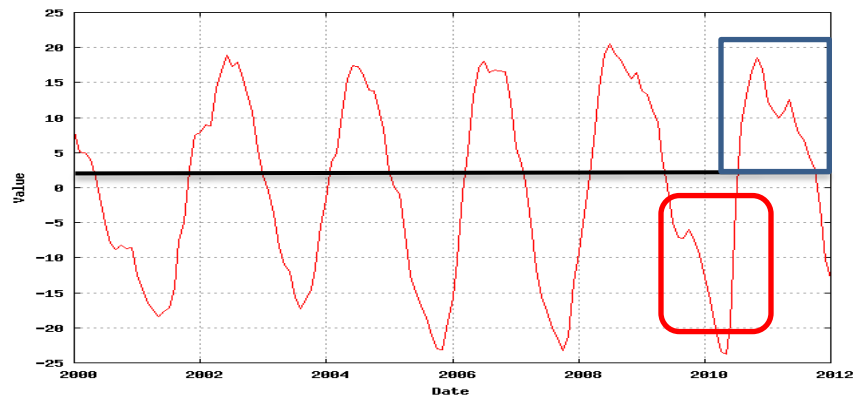
Figura 53. Humedad relativa a 700mb – Comportamiento (%) de 1940 a 2011



Fuente: NOAA - Earth System Research Laboratory/Physical Sciences Division. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov>

*La humedad relativa, en este caso, según las coordenadas (0, -15) (-45, -65) es la correspondiente a la Amazonia; en la figura se puede ver que hacia la parte Norte, correspondiente al Caribe, se presentan anomalías negativas, y hacia la zona Pacífica se registran anomalías positivas representativas. Las anomalías positivas que se observan hacia el Brasil, teniendo en cuenta los Alisios, son las que mantienen los valores positivos de anomalías para Colombia.

Figura 54. QBO (Oscilación Cuasi-bienal) – Comportamiento de anomalías de 2000 a 2011



Fuente: NOAA/CPC – Climate Indices. Recuperado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices>

*La Oscilación Cuasi-bienal es un fenómeno atmosférico que presenta una periodicidad casi perfecta; se trata de una oscilación en la dirección de los vientos zonales y en la temperatura. Los vientos zonales presentan un patrón alternante entre Oeste y Este, con una periodicidad de entre 24 y 30 meses (Zuluaga, Posada y Poveda). Las anomalías negativas del cuadro rojo pueden estar relacionadas con un evento cálido, y el azul, con un evento frío.

2.3 Métodos estadísticos

2.3.1 Análisis de correlación simple

El principal objetivo del análisis de correlación simple consiste en determinar el grado de relación entre dos variables: una dependiente “Y” (la que buscamos explicar o estimar) y una independiente “X” (explicativa o predictora). Este análisis se lleva a cabo con programas como el de Windows Office Excel.

Generalmente, el primer paso para realizar una correlación simple es mostrar los datos en un diagrama de dispersión, ya que esta figura permite ver la relación entre dos variables (Vallejo, 2011). La relación que se ajusta a un conjunto de

datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que se denomina ecuación de regresión o coeficiente de determinación.²⁰ El valor del coeficiente de determinación puede tomar valores de cero a uno, indicando que mientras más cercano esté a uno el valor del coeficiente, más fuerte será la relación entre las dos variables. Este valor es representado por la letra R^2 .²¹

De lo anterior se puede inferir que:

1 = Correlación perfecta

0,95 = Correlación fuerte

0,80 = Correlación significativa

0,70 = Correlación moderada

0,50 = Existe una relación parcial

Como ya se ha aclarado, el análisis de correlación simple se usa para relacionar dos variables, por esto se utilizó para analizar el comportamiento de cada indicador océano-atmosférico, enfrentado a la anomalía de precipitación de cada ciudad principal. Se analizaron individualmente los 19 indicadores seleccionados, en un tiempo t , $t-1$ y $t-2$; estos últimos fueron analizados como rezagos.

Las 29 ciudades analizadas se trabajaron de la misma forma, generando gráficos de dispersión entre la anomalía de precipitación y cada uno de los 19 indicadores durante los mismos tiempos (t , $t-1$ y $t-2$). Todos los datos fueron tomados como anomalías (%). Después de realizar este análisis se seleccionaron los indicadores con mayor valor de " R^2 ", es decir, que presentaron mayor relación con la variable a explicar (precipitación), por cada ciudad analizada.

²⁰ WALPOLE, RONALD E. Probabilidad y estadística para ingenieros.6 ed. México. Prentice-Hall Hispano América, S.A, 1999.752p. ISBN 970-17-0264-6.

²¹ VALLEJO, P. Correlación y Regresión simple y múltiple. Universidad Pontificia Comillas. [Documento en línea]. Madrid, 2011. [citado 25 enero 2011]. Disponible en: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigación/regresión.pdf>

2.3.2 Análisis de correlación múltiple

Correlación múltiple analizada con el programa estadístico SPSS

El análisis de regresión múltiple permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente “Y” y un conjunto de variables independientes (X1, X2... Xn). El análisis de regresión lineal múltiple, a diferencia del simple, se aproxima más a situaciones de análisis real, puesto que los fenómenos, hechos y procesos sociales, por definición, son complejos y, en consecuencia, deben ser explicados en la medida de lo posible por la serie de variables que, directa o indirectamente, participan en su concreción.²²

La finalidad del programa estadístico es buscar entre todas las posibles variables explicativas, aquellas que más y mejor expliquen a la variable dependiente, sin que ninguna de ellas sea una combinación lineal de las restantes.²³ Para esto existe un procedimiento llamado “paso a paso”, en el que se analizan las variables una a una, ya sea al ingresar o al salir del modelo.

Este procedimiento implica que: 1.- En cada paso solo se introduce aquella variable que cumple unos criterios de entrada; 2.- Una vez introducida en cada paso se valora si alguna de las variables cumplen criterios de salida; y 3.- En cada paso se valora la bondad de ajuste de los datos al modelo de regresión lineal y se calculan los parámetros del modelo. El proceso se inicia sin ninguna variable independiente en la ecuación de regresión y el proceso concluye cuando no queda ninguna variable fuera de la ecuación que satisfaga el criterio de selección, es decir, que garantiza que las variables seleccionadas sean significativas y/o el criterio de eliminación garantice que una variable seleccionada no sea redundante (SPSS, 2012).

La verificación de los criterios de probabilidad de entrada están definidos por el p-valor asociado al estadístico T, que indica si la información proporcionada por cada una de las variables es redundante. El SPSS, por defecto, establece un valor crítico de entrada de 0,05, si la variable tiene un valor crítico menor a este será seleccionada (SPSS, 2012). Además de esta condición de entrada, también se tendrá en cuenta el criterio de tolerancia; si una variable es aceptada pero tiene un

²² SPSS. Casos y ejemplos en el SPSS. Capítulo 4. Análisis de regresión múltiple. [Catalogo en línea]. [citado 2 febrero 2012]. Disponible en: <rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8143/regresión%20MULTIPLE.pdf>

²³ Manual del usuario del sistema básico del IBM SPSS Statistics 19. [manual en línea con el programa]. [citado 2 febrero de 2012]. Disponible en: software IBM SPSS.

criterio de tolerancia muy pequeño, será excluida del modelo. Después de tener seleccionadas las variables por criterio de entrada, se vuelve a correr el modelo, pero esta vez teniendo en cuenta el criterio de salida; el SPSS, por defecto, establece en 0,1 el valor crítico de salida; la variable será eliminada si es mayor al valor crítico de probabilidad de salida.

En otras palabras, en el análisis de correlación múltiple con SPSS se utilizan todos los indicadores seleccionados, cruzados con la anomalía de precipitación de cada una de las 29 ciudades de Colombia incluidas en el proyecto. En el programa estadístico se ingresan los datos de anomalías que previamente han sido organizados para su manejo estadístico. Una vez los datos han sido ingresados al programa, se selecciona el método de análisis para regresión múltiple “paso a paso” y se espera a la corrida del mismo, que después arrojará los resultados correspondientes. Se realiza el mismo procedimiento para todas las ciudades.

Correlación múltiple analizada con *Statgraphics*

Statgraphics es un programa estadístico para el análisis de datos. El análisis de regresión múltiple en este programa tiene como fin mostrar la relación que tiene una variable dependiente “Y” con una o más variables independientes (X1, X2... Xn).

El programa permite seleccionar el método por el cual se introducen las variables independientes al modelo final. Esto sirve para elegir la mejor ecuación de regresión.²⁴ El modelo seleccionado fue “pasos sucesivos hacia atrás”, que consiste en introducir todas las variables, que después se van excluyendo una tras otra.

Aquella variable que tenga la menor correlación parcial con la variable dependiente será la primera en ser considerada para su exclusión. Si satisface el criterio de eliminación, será eliminada. Tras haber excluido la primera variable, se pondrá a prueba aquella variable, de las que queden en la ecuación, que presente una correlación parcial más pequeña. El procedimiento termina cuando ya no quedan en la ecuación variables que satisfagan el criterio de exclusión (Statgraphics, 2009). El criterio de eliminación está determinado por el p-valor, que debe ser $\geq 0,05$ para poder quedar en el modelo; si sobrepasa este valor, será eliminado.

²⁴ STATGRAPHICS Centurion XVI. User manual by StatPoint Technologies, Inc. Estados Unidos, 2009. [Software]. [citado 10 octubre 2011]

Para hacer correr este modelo se usa la misma metodología del SPSS, se adicionan los datos (previamente organizados) en la base de datos del programa, se selecciona el método por el cual se quiere hacer el análisis; además, se especifica el tipo de resultados y gráficos que se quieren obtener. De esta manera se realiza para las 29 ciudades a analizar, en un tiempo t y $t-1$.

Como variable respuesta, este programa arroja una ecuación, especificando qué variables explican de alguna manera la variable dependiente “Y”, en este caso la precipitación.

2.3.3 Tabla resumen y validación del modelo

Después de lo expuesto anteriormente, se realiza una tabla resumen donde se especifican, por cada ciudad, los indicadores más representativos, resultantes por cada análisis estadístico. Es decir, cada ciudad tiene tres columnas explicativas sobre el análisis de correlación simple y los análisis de correlación múltiple por SPSS y *Statgraphics*, ya sea en tiempo real o a menos un rezago.

Al mismo tiempo, se realiza la validación del modelo, para tener más certeza de la veracidad de los resultados obtenidos. Una vez se tiene la ecuación dada por *Statgraphics*, se realiza la validación para cada ciudad principal seleccionada, es decir, se compara la precipitación registrada en el periodo, con los datos provenientes de la ecuación; así se podrá identificar si se tiene alguna relación entre los datos registrados y el modelo estimado. Si esta relación resulta similar, se puede decir que el modelo es veraz y se pueden dar a conocer los indicadores que podrían haber influenciado el fenómeno de La Niña en Colombia durante los años 2010-2011.

3. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación son una síntesis de los indicadores más representativos de algunas ciudades principales, por cada método estadístico utilizado:

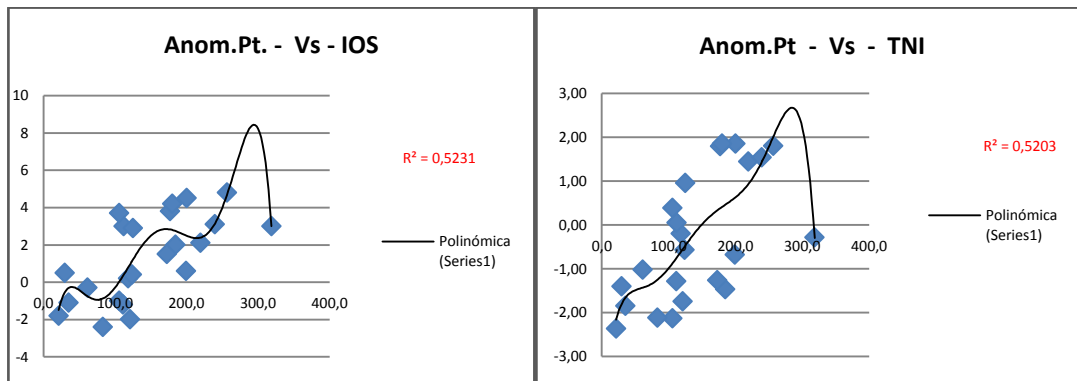
3.1 Resultado del análisis de correlación simple

Las 29 ciudades analizadas presentaron diferentes comportamientos en cuanto a los indicadores que más se relacionaban con la anomalía de precipitación. Fueron muy pocos de ellos los que presentaron un valor “R²” mayor a 0,5; cabe resaltar que este análisis se realizó a un tiempo t, t-1 y t-2. Dicho lo anterior, se presentarán las ciudades con mejores valores de “R²”, como los siguientes:

Bogotá

Los indicadores que más se destacaron en este análisis fueron IOS y TNI, ambos en un tiempo t. Estos dos indicadores se presentan en las siguientes figuras para poder ver su relación con la precipitación en los tiempos determinados:

Figura 55. Correlación simple de Bogotá - Pt Vs. IOS (Izq.) - TNI (Der.)



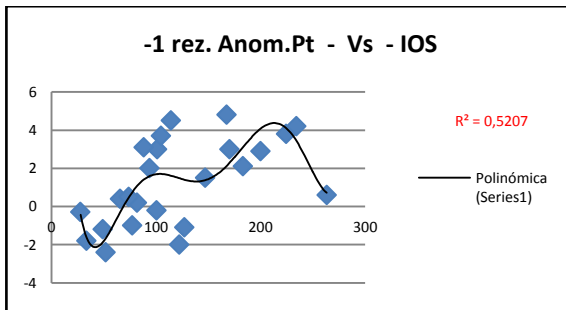
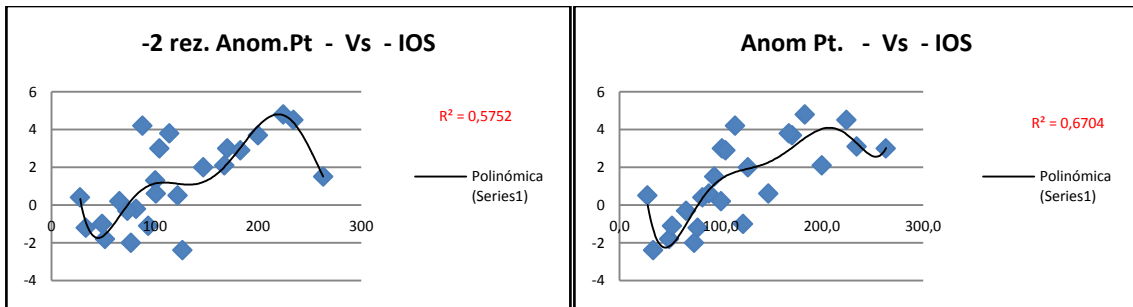
Elaboración: Propia

*Los diagramas de dispersión muestran una regresión ajustada polinómica de orden 6, para los dos indicadores ONI y TNI en un tiempo t; los valores de “R²” fueron de 0,5231 y 0,5203, respectivamente.

Medellín

Medellín fue una de las ciudades que presentó un mayor número de indicadores con relación moderada con la variable de precipitación. Los indicadores más representativos fueron: IOS, ONI, Niño 3, Niño 3,4, TNI y MEI. Todos estos con valores de “R²” considerablemente altos para los tres tiempos analizados (t, t-1 y t-2); como se muestra en las siguientes figuras explicativas:

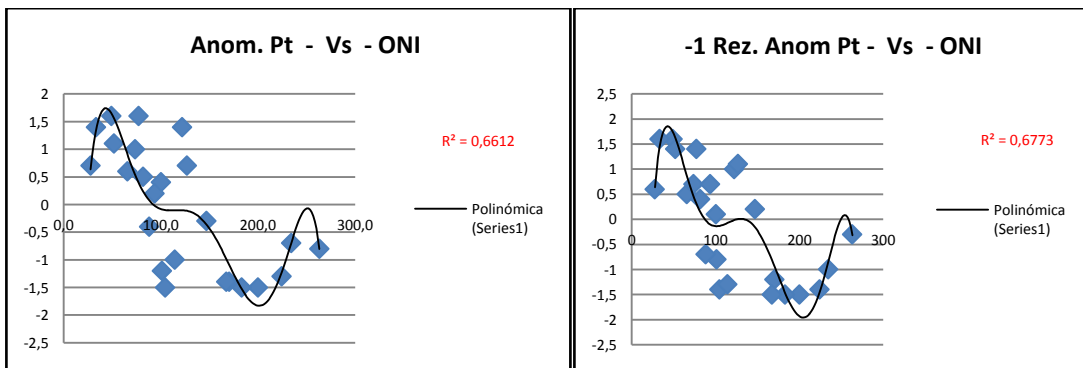
Figura 56. Correlación simple de Medellín - IOS en tiempos t, t-1 y t-2



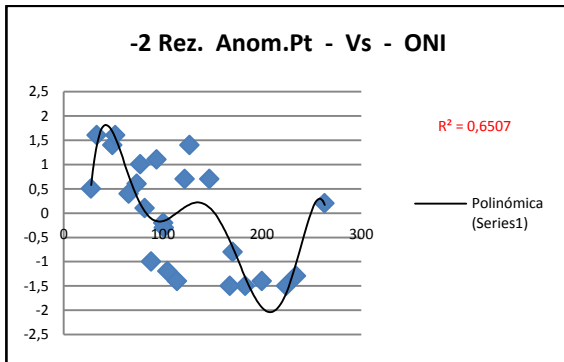
*Como se puede observar en los gráficos de dispersión del indicador IOS, presentan una línea de regresión polinómica de orden 6, donde el valor de R² más representativo es 0,6704, correspondiente a IOS en un tiempo t. Este indicador tiene una relación moderada con la precipitación en Medellín.

Elaboración: Propia

Figura57. Correlación simple de Medellín –ONI en tiempos t, t-1 y t-2



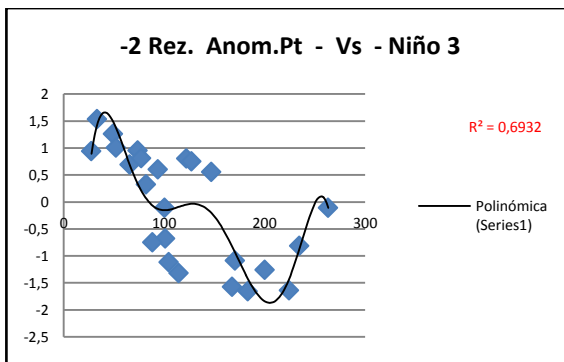
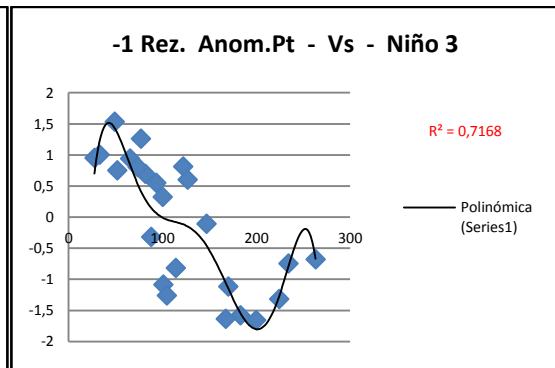
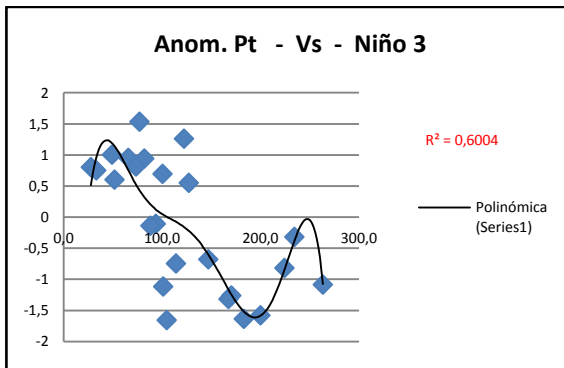
Elaboración: Propia



*Los diagramas de dispersión muestran un comportamiento parecido del ONI en los tiempos t , $t-1$ y $t-2$; el valor de R^2 es también muy parecido para los tres, siendo el valor más alto por pocas décimas, -1 rezago ONI = 0,6773. Por este comportamiento se puede inferir que el indicador ONI tuvo gran relación con la precipitación en Medellín.

Elaboración: Propia

Figura 58. Correlación simple de Medellín - Niño 3 en tiempos t , $t-1$ y $t-2$



*El Niño 3 fue para Medellín el indicador con el valor de R^2 más alto, alcanzando un valor de 0,7168 en análisis con -1 rezago. Esto indica que El Niño 3 tiene una relación fuerte con la variable a explicar, es decir, la precipitación, y que en su análisis individual tiene un peso alto. Igual que en las anteriores gráficas, éstas presentan una regresión polinómica ajustada de orden 6, ya que es la línea que mejor se ha ajustado a los datos de dispersión.

Elaboración: Propia

Figura 59. Correlación simple de Medellín - Niño 3,4 en tiempos t, t-1 y t-2

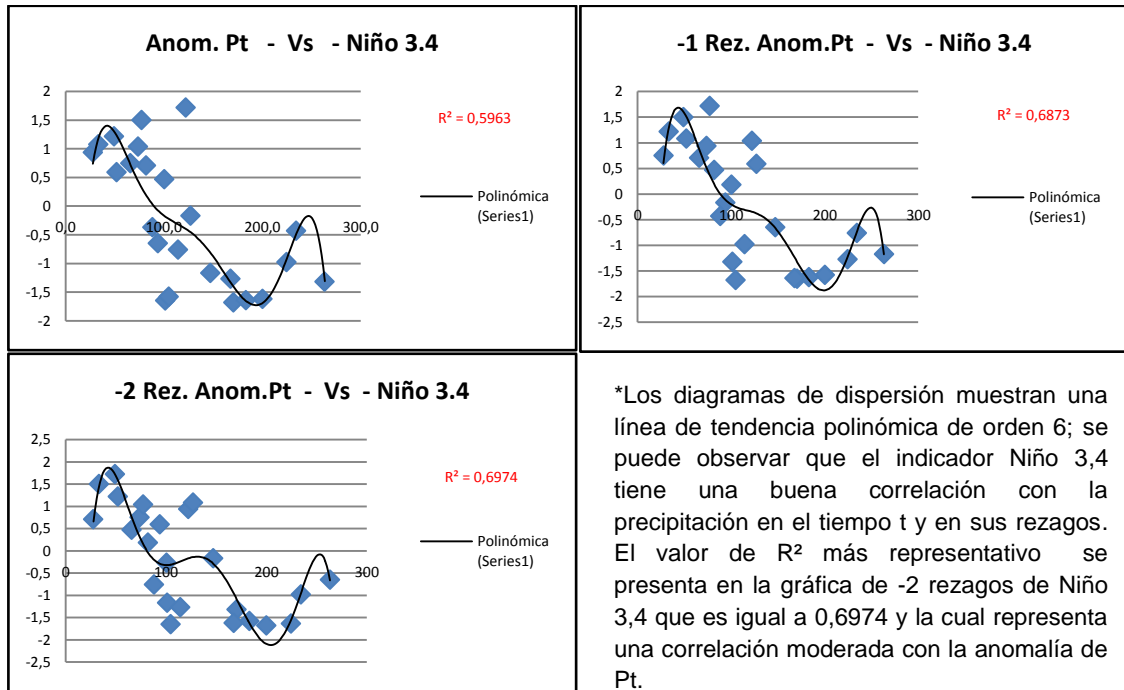
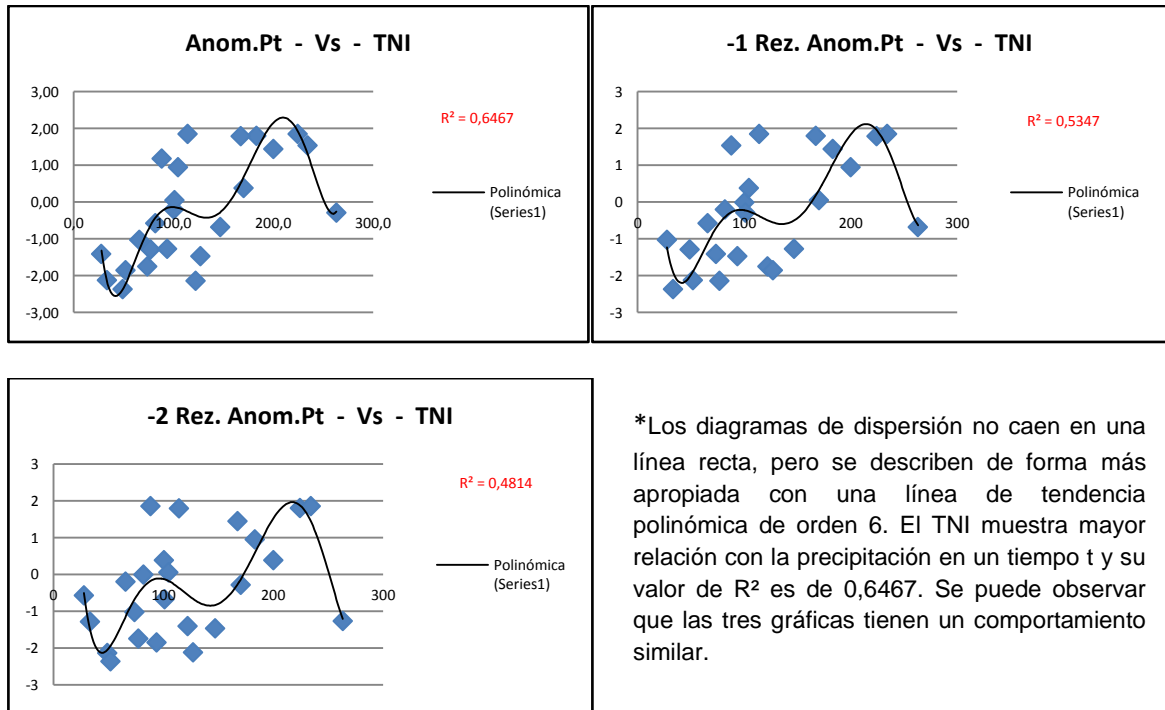
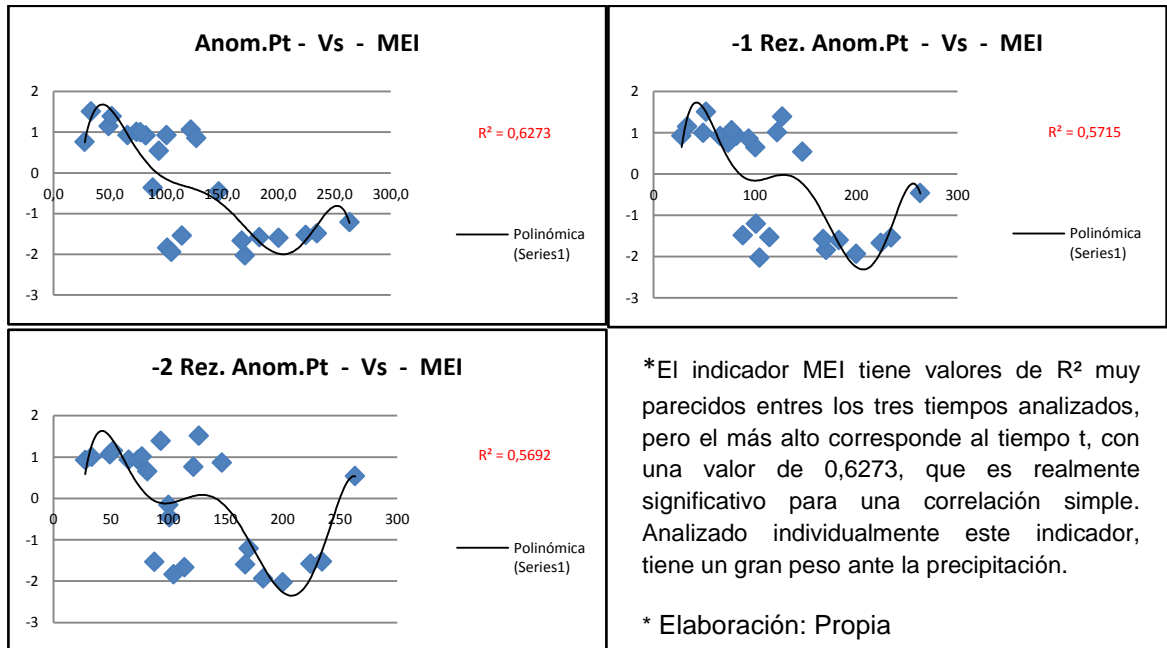


Figura 60. Correlación simple de Medellín - TNI en tiempos t, t-1 y t-2



Elaboración: Propia

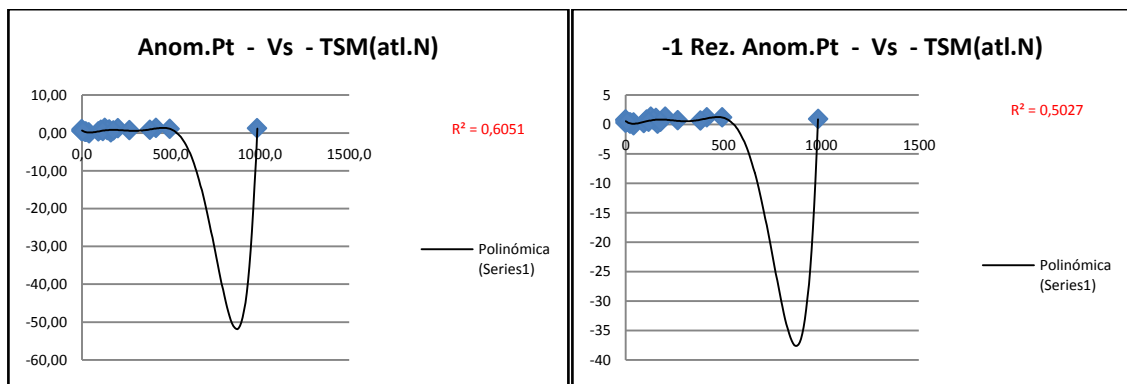
Figura 61. Correlación simple de Medellín - MEI en tiempos t, t-1 y t-2

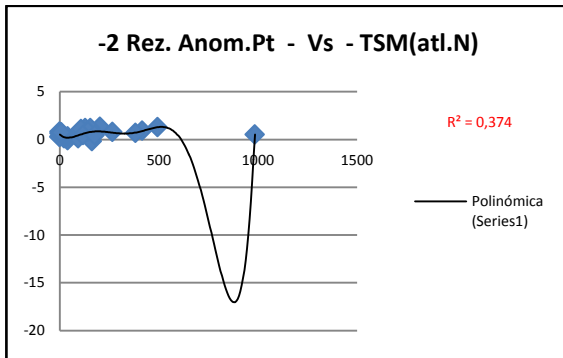


Barranquilla

Esta ciudad presentó un resultado muy particular: solo un indicador se relacionó fuertemente con la precipitación: la TSM en el Atlántico Norte. Las 17 variables restantes no presentaron un peso significativo individualmente, pero no se puede descartar que tengan una buena relación cuando se evalúen de forma grupal. El comportamiento de la TSM (Atlántico Norte) se presenta a continuación:

Figura 62. Correlación simple de Barranquilla - TSM (Atl. N) en tiempos t, t-1 y t-2





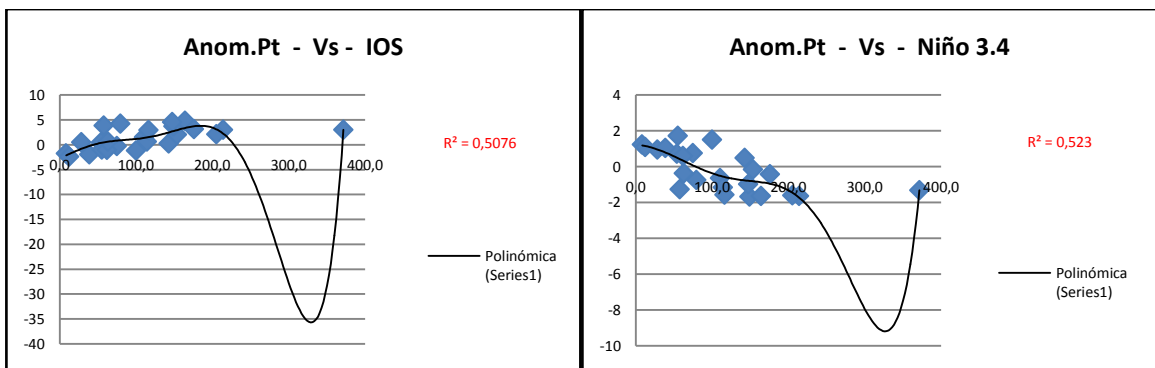
*Los diagramas de dispersión muestran una regresión polinómica ajustada de orden seis; como se observa, los rezagos no tienen pesos significativos, pero la TSM (Atl. N) en un tiempo t, tiene un valor de $R^2 = 0,6051$, lo que significa que tiene una relación moderada con la anomalía de precipitación para Barranquilla.

Elaboración: Propia

Armenia

El IOS, Niño 3,4 y WHWP fueron los indicadores con mayor coeficiente de correlación para esta ciudad. El WHWP presentó correlación alta en un tiempo t-1, el resto de indicadores presentan correlación parcial en un tiempo t, como se muestra en las siguientes gráficas:

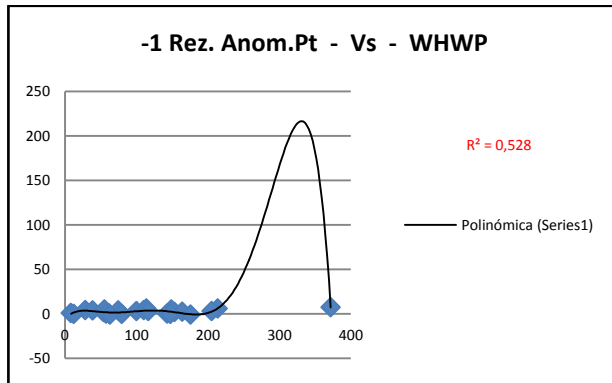
Figura 63. Correlación simple de Armenia - IOS, Niño 3,4 y Nivel medio del mar en Tumaco en tiempo t



Elaboración: Propia

*Los diagramas de dispersión muestran una regresión ajustada polinómica de orden 6, para los tres indicadores IOS y Niño 3,4 en un tiempo t. Los valores de R^2 fueron de 0,5076 y 0,523, respectivamente. Todos presentan una correlación parcial con la anomalía de precipitación.

Figura 64. Correlación simple de Armenia - WHWP en tiempo t-1



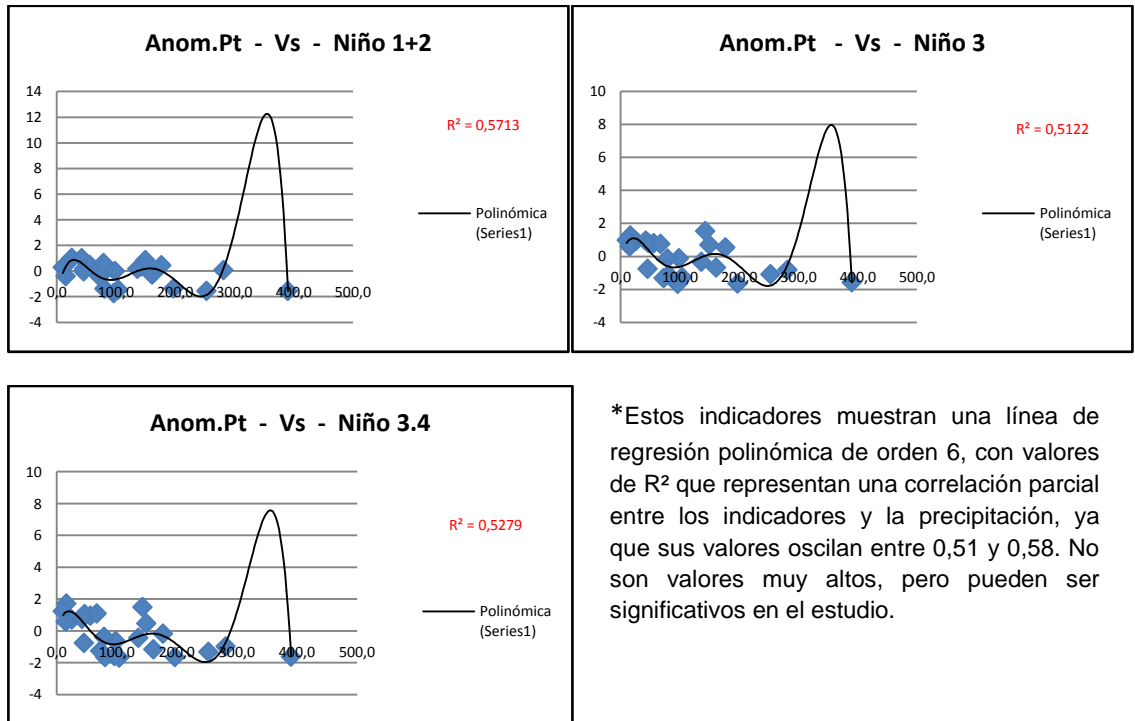
Elaboración: Propia

*La Figura 66 muestra una línea de tendencia polinómica de orden 6, con un valor de $R^2 = 0,528$ en un tiempo t-1. Los tiempos t y t-2 para este indicador no arrojaron valores con peso significativo, por lo que no se contrastan las gráficas en esta explicación. Como se puede observar con el WHWP, es importante tener en cuenta los valores de rezagos para cada ciudad y cada indicador.

Cali

Esta ciudad tuvo cinco indicadores destacados en el análisis de correlación simple, los cuales fueron Niño 1+2, Niño 3, Niño 3,4 en un tiempo t, y en un tiempo t-1 se destacaron los indicadores de Vientos a 850mb y Humedad relativa proveniente de la Amazonia a 700mb. Estos indicadores se presentan de manera individual en el tiempo, ya que los análisis realizados en diferentes tiempos a los indicados no arrojaron resultados significativos de correlación.

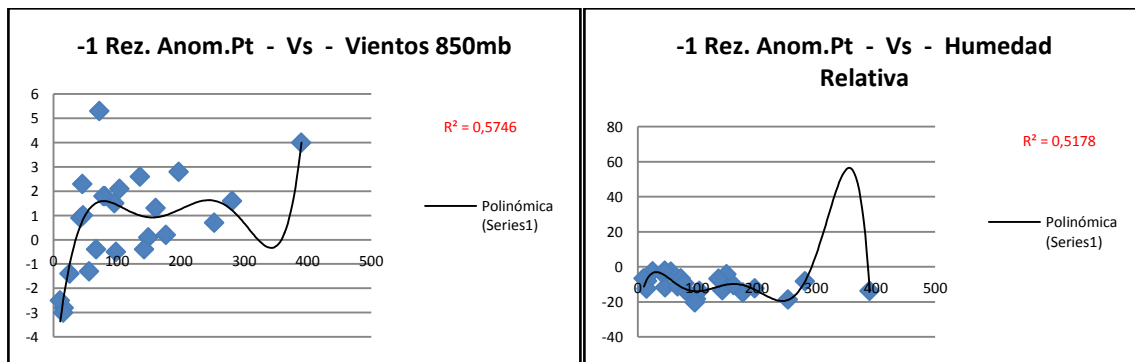
Figura 65. Correlación simple de Cali - Niño 1+2, Niño 3 y Niño 3,4 en tiempo t



*Estos indicadores muestran una línea de regresión polinómica de orden 6, con valores de R^2 que representan una correlación parcial entre los indicadores y la precipitación, ya que sus valores oscilan entre 0,51 y 0,58. No son valores muy altos, pero pueden ser significativos en el estudio.

Elaboración: Propia

Figura 66. Correlación simple de Cali - Vientos a 850mb y Humedad relativa de 300mb en tiempo t-1



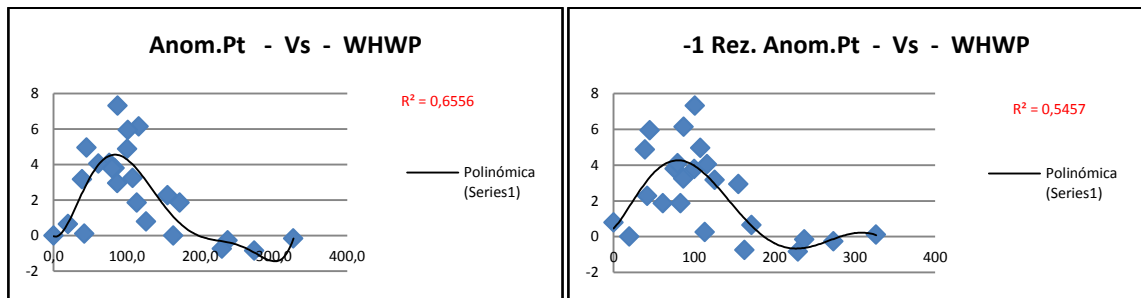
Elaboración: Propia

*Estas graficas de dispersión muestran una línea de regresión polinómica ajustada de orden 6, con una correlación parcial con la variable a explicar y sus valores de R^2 son 0,5746 y 0,5178, respectivamente.

Arauca

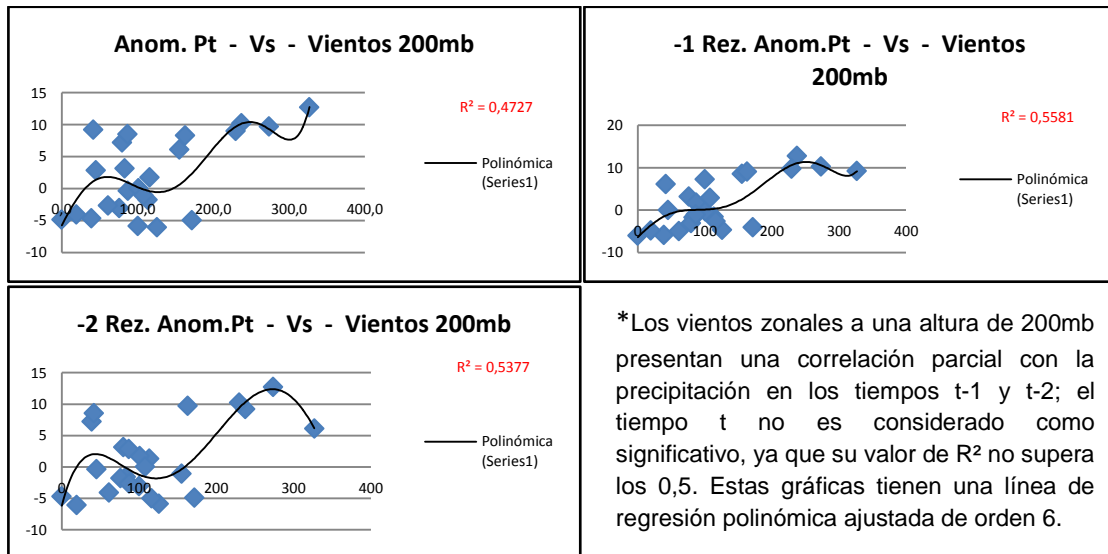
Los indicadores que presentaron correlación parcial con la precipitación fueron WHWP, Vientos a 200mb, TNI y Promedio de T° a 500mb; los dos primeros presentaron buena correlación en los tres tiempos analizados (t, t-1 y t-2); los demás solo se destacaron en uno de los tiempos, no en los tres.

Figura 67. Correlación simple de Arauca - WHWP en tiempo t y t-1



*Este indicador registró el valor más alto de correlación en un tiempo t, con un valor de $R^2=0,6556$, tendiente a una relación moderada con la precipitación. La línea de tendencia de estas gráficas de dispersión son polinómicas de orden 6, ya que son las que más se ajustan a este grupo de datos.

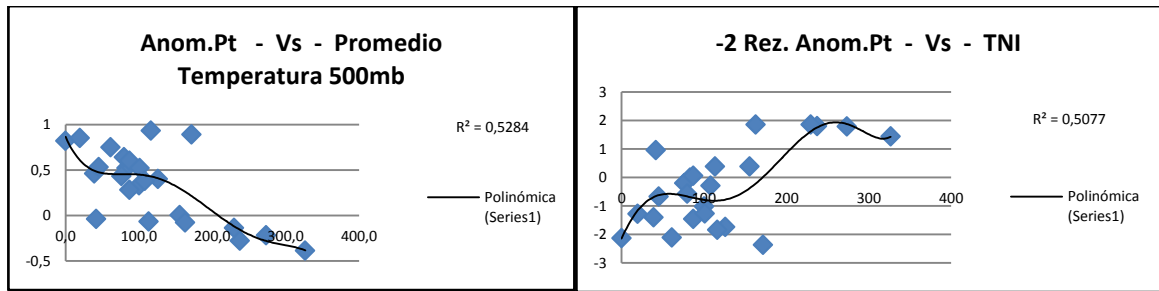
Figura 68. Correlación simple de Arauca - Vientos a 200mb en tiempos t, t-1 y t-2



*Los vientos zonales a una altura de 200mb presentan una correlación parcial con la precipitación en los tiempos t-1 y t-2; el tiempo t no es considerado como significativo, ya que su valor de R^2 no supera los 0,5. Estas gráficas tienen una línea de regresión polinómica ajustada de orden 6.

Elaboración: Propia

Figura 69. Correlación simple de Arauca - Nivel medio del mar en Tumaco, Promedio de Temperatura en tiempo t y TNI en un tiempo t-2

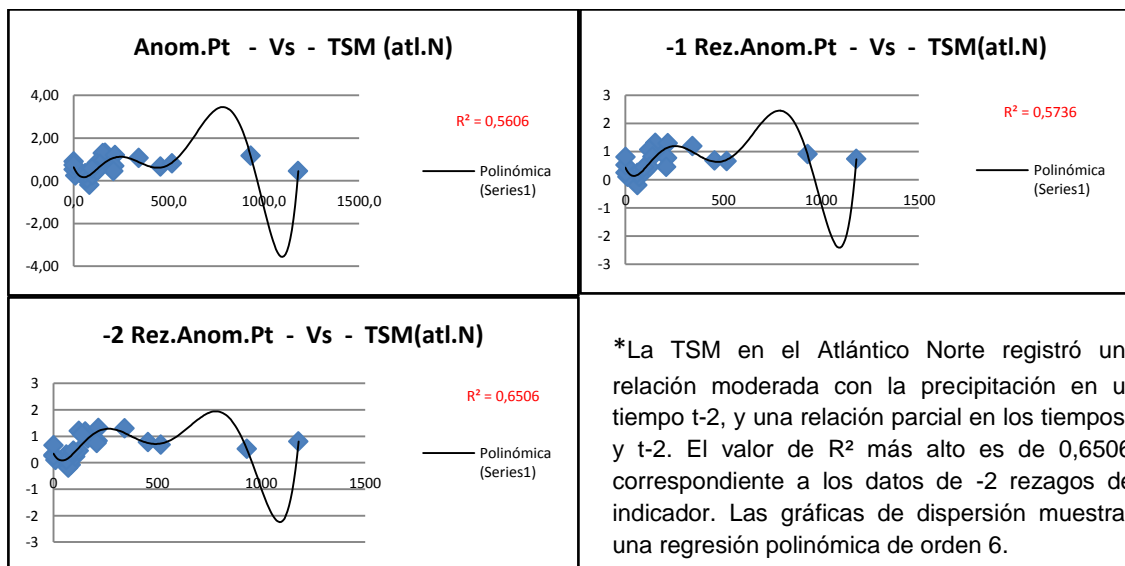


* El TNI y el Promedio de Temperatura a 500mb tienen una correlación parcial con la precipitación, con valores de $R^2= 0,5284$ para el promedio de T° y $0,5077$ para el TNI. Las tres gráficas de dispersión tienen una línea de tendencia polinómica de orden 6.

Cartagena

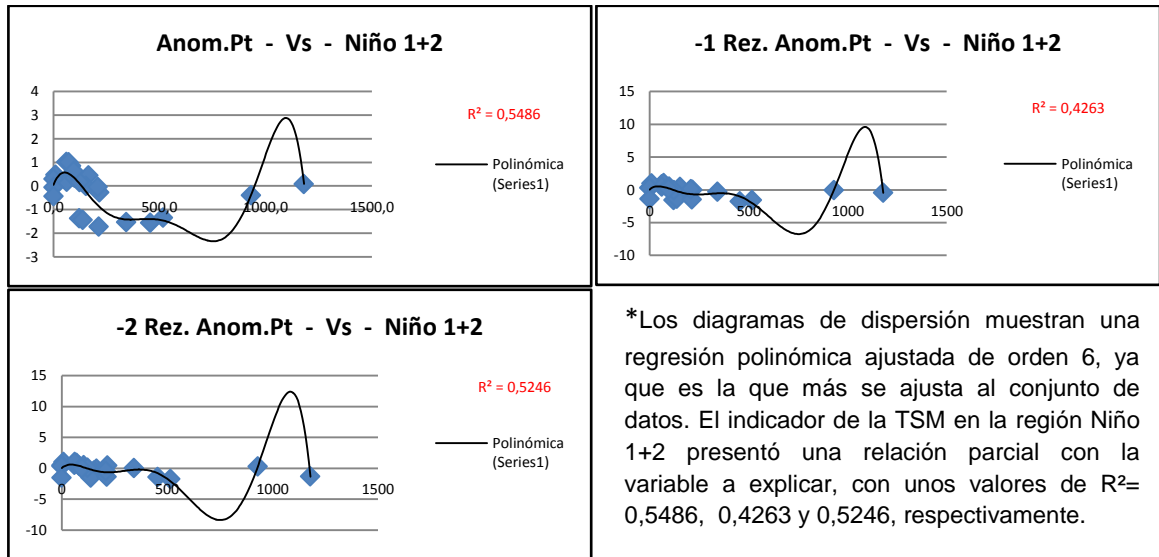
Seis indicadores fueron considerados representativos en cuanto a la relación con la precipitación; dos de estos, la TSM (Atl. N) y la región Niño 1+2, presentaron correlación moderada y parcial en los tres tiempos analizados; los otros indicadores, IOS, Vientos a 850mb, Niño 3 y Niño 3,4 tuvieron un peso significativo en el tiempo t.

Figura 70. Correlación simple de Cartagena - TSM (Atl. N) en tiempo t, t-1 y t-2



*La TSM en el Atlántico Norte registró una relación moderada con la precipitación en un tiempo t-2, y una relación parcial en los tiempos t y t-2. El valor de R^2 más alto es de $0,6506$, correspondiente a los datos de -2 rezagos del indicador. Las gráficas de dispersión muestran una regresión polinómica de orden 6.

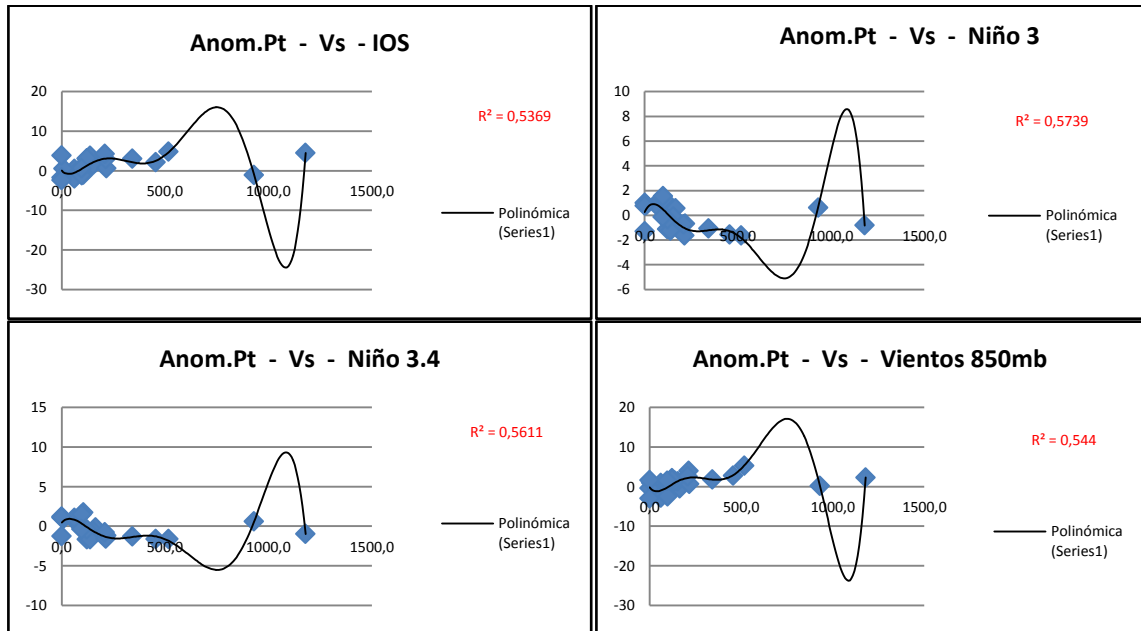
Figura 71. Correlación simple de Cartagena - Niño 1+2 en tiempo t, t-1 y t-2



*Los diagramas de dispersión muestran una regresión polinómica ajustada de orden 6, ya que es la que más se ajusta al conjunto de datos. El indicador de la TSM en la región Niño 1+2 presentó una relación parcial con la variable a explicar, con unos valores de $R^2 = 0,5486$, $0,4263$ y $0,5246$, respectivamente.

Elaboración: Propia

Figura 72. Correlación simple de Cartagena - IOS, Niño 3, Niño 3,4 y Vientos a 850mb en tiempo t



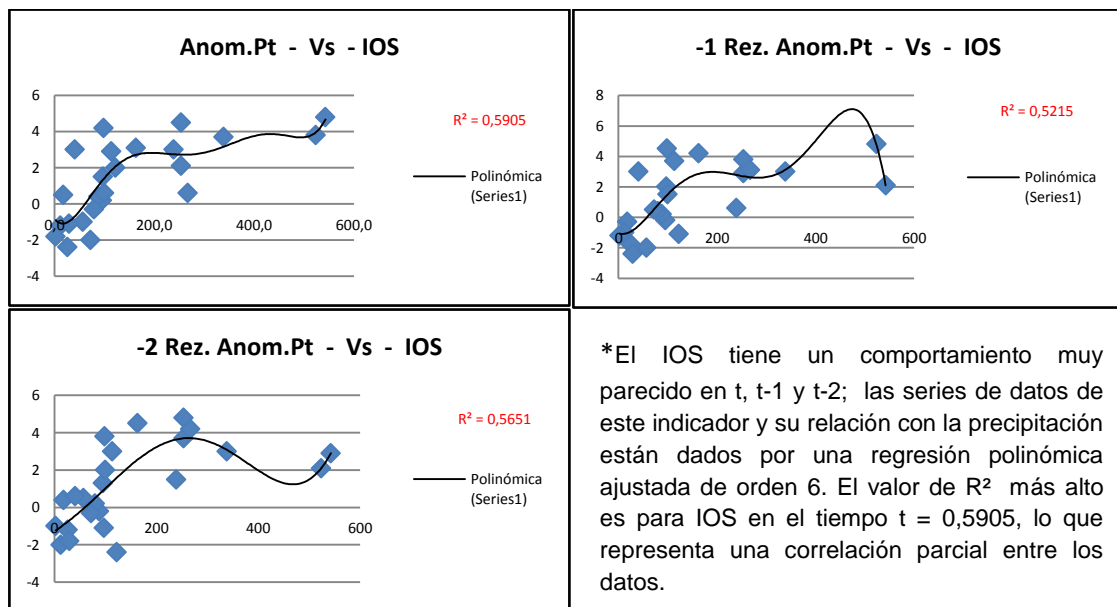
*La línea de tendencia de estas cuatro gráficas es polinómica de orden 6, ya que fue la que presentó mejor ajuste en los datos de dispersión. Los cuatro indicadores tienen una relación parcial con la precipitación, ya que sus valores de R^2 están por

encima de 0,5. No es un peso alto, pero puede indicar algún grado de relación importante, tratándose de estos indicadores tan relacionados con la variabilidad climática de Colombia.

Cúcuta

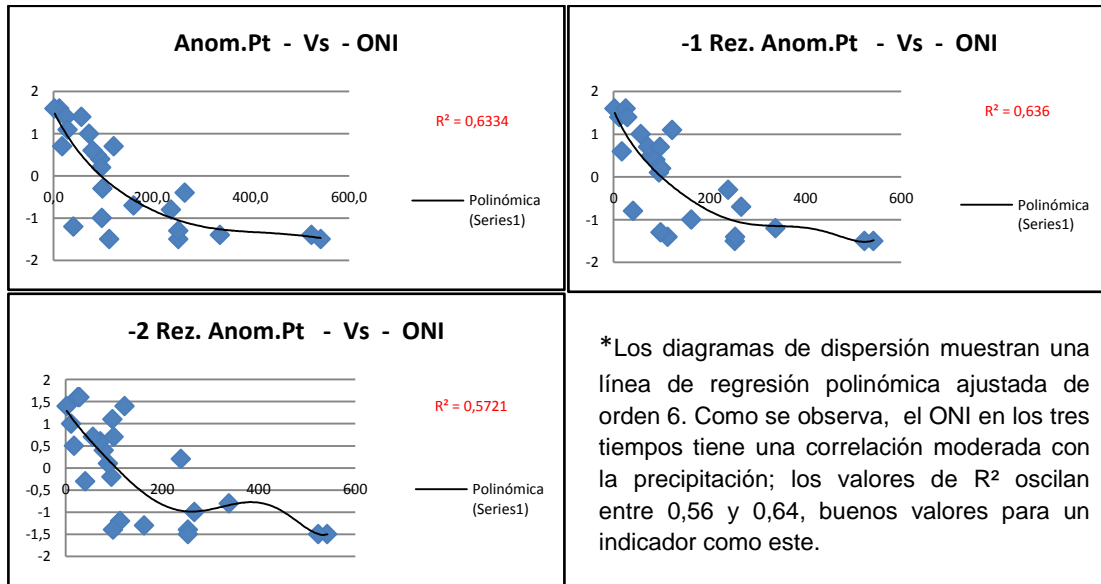
Esta ciudad presentó unos resultados muy consistentes para 10 de 18 indicadores analizados; estos fueron: IOS, ONI, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3,4, Vientos a 850mb, Vientos a 200mb, TNI, PDO y MEI; pero solo cinco tuvieron correlación fuerte en los tres tiempos (t, t-1 y t-2) y son estos los que se presentarán para el análisis de sus gráficas.

Figura 73. Correlación simple de Cúcuta - IOS en tiempos t, t-1 y t-2



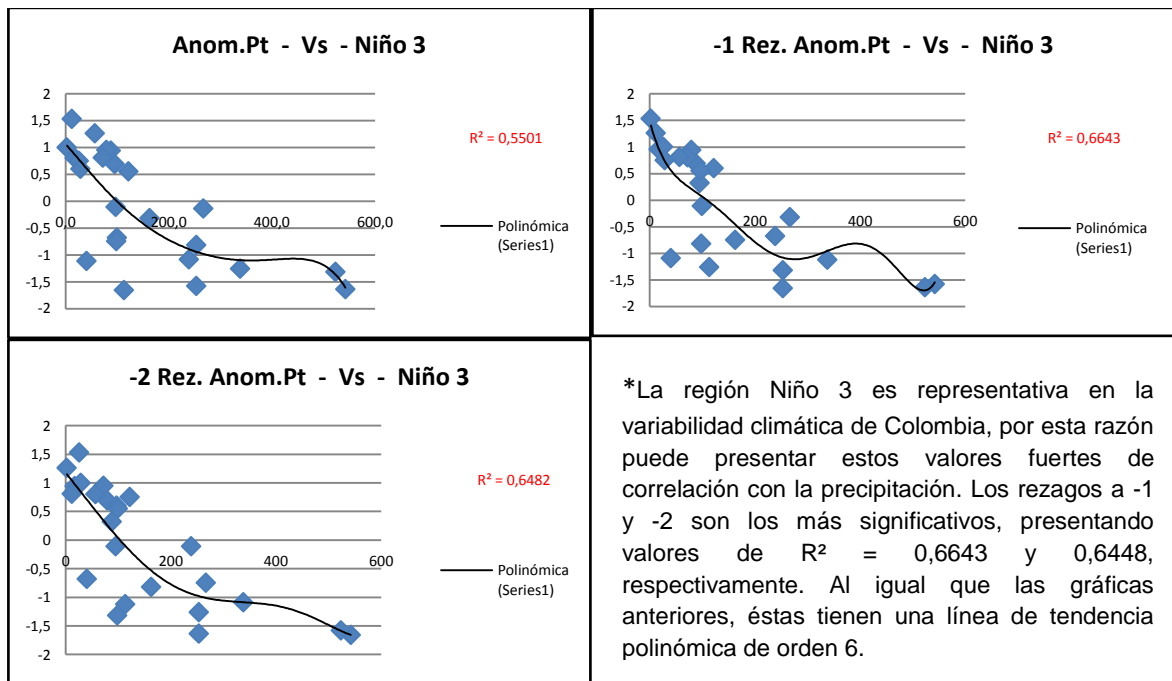
Elaboración: Propia

Figura 74. Correlación simple de Cúcuta - ONI en tiempos t, t-1 y t-2



Elaboración: Propia

Figura 75. Correlación simple de Cúcuta - Niño 3 en tiempos t, t-1 y t-2



Elaboración: Propia

Figura 76. Correlación simple de Cúcuta - Niño 3,4 en tiempos t, t-1 y t-2

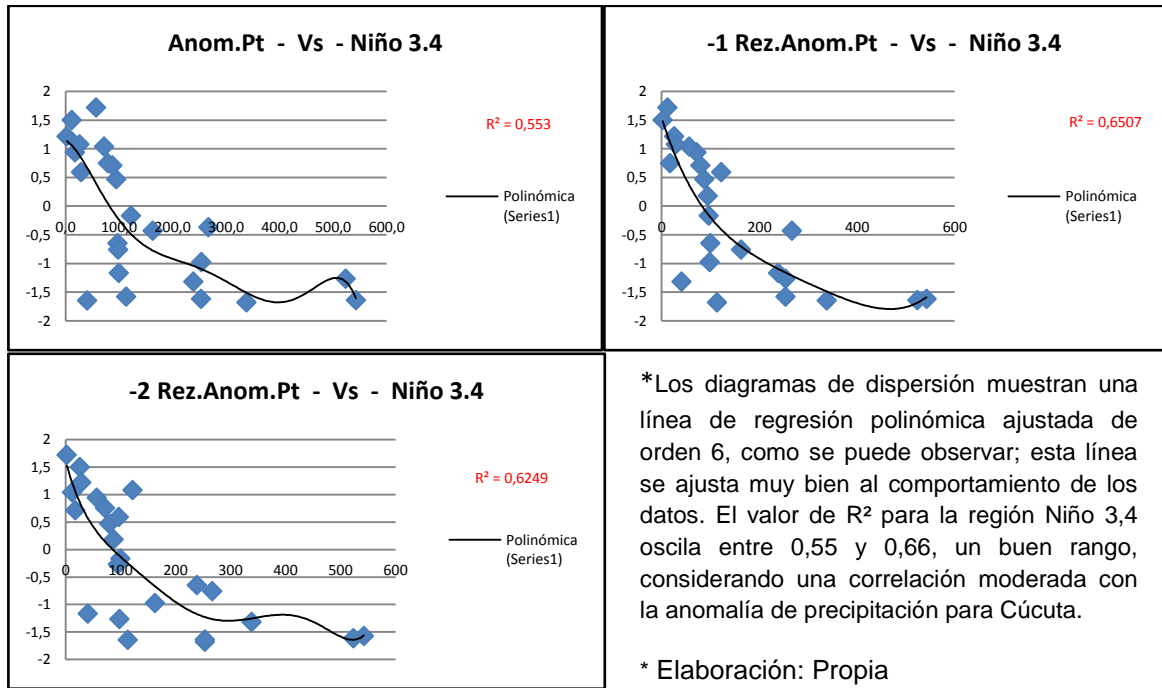
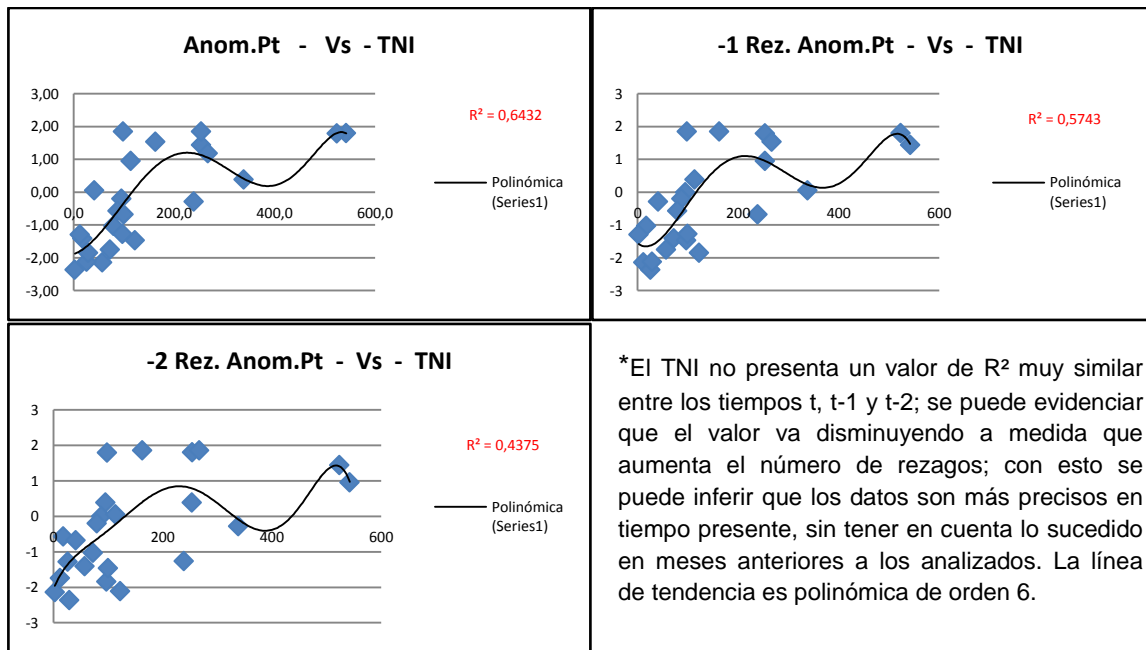


Figura 77. Correlación simple de Cúcuta - TNI en tiempos t, t-1 y t-2

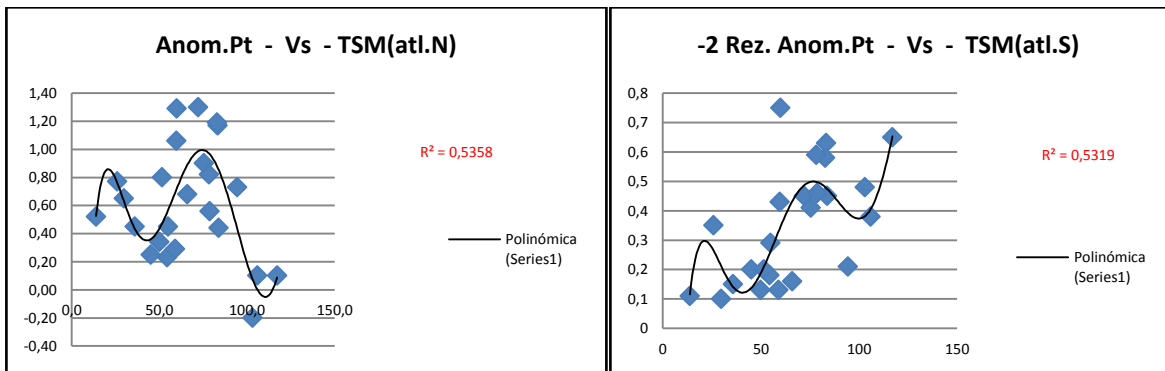


Elaboración: Propia

Mocoa

Los indicadores con mayor relación con la precipitación fueron la TSM en el Atlántico Norte en tiempo t, y la TSM en el Atlántico Sur en tiempo t-2. Para esta ciudad solo se van a relacionar las gráficas de dispersión en los tiempos mencionados, ya que los otros no alcanzaron a tener una relación significativa con la variable a explicar.

Figura 78. Correlación simple de Mocoa - TSM (Atl. N) en tiempo t, TSM (Atl. S) en tiempo t-2



Elaboración: Propia

*Las gráficas de dispersión muestran una línea de regresión polinómica ajustada de orden 6. Los valores de R^2 son 0,5358 y 0,5319, respectivamente; los dos indicadores tienen una correlación parcial con la precipitación, peso significativo para estos dos en este análisis de correlación simple.

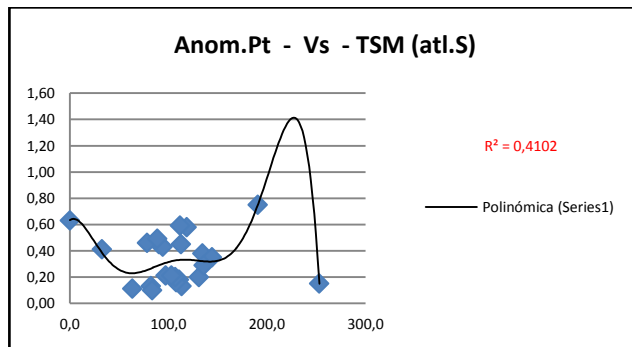
Todo lo anterior hace referencia a algunas ciudades principales de Colombia que presentaron buenos valores de correlación simple entre la variable de anomalía de precipitación y los 18 indicadores evaluados individualmente; otras de las ciudades que presentaron buena correlación fueron: Yopal, Ibagué, Florencia, Santa Marta, Neiva, Riohacha, Manizales, Popayán, San Andrés y Bucaramanga.

En este mismo orden y dirección, es conveniente presentar detalladamente algunas de las ciudades que no presentaron valores significativos de R^2 , es decir, que ningún indicador logró relacionarse fuertemente con la precipitación del 2010-2011. Algunas de estas ciudades de muestran a continuación:

Villavicencio

La TSM en el Atlántico Sur fue el único indicador que tuvo un valor de R^2 mayor a 0,4, pero no por mucho, lo que hace evidente la falta de relación individual de los indicadores con la precipitación en esta zona.

Figura 79. Correlación simple de Villavicencio - TSM (Atl. S) en tiempo t



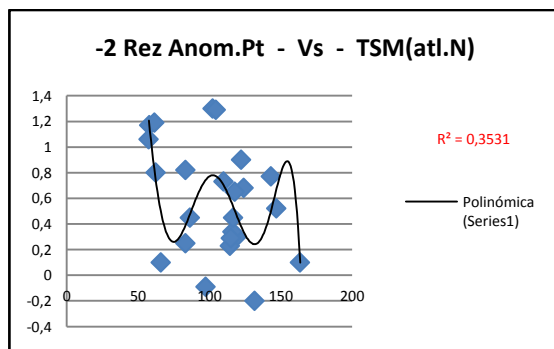
*La línea de tendencia es polinómica de orden 6; esta fue la línea que mejor se ajustó a la dispersión de los datos. El valor de $R^2 = 0,4102$ permite inferir que no presenta correlación de ningún grado con la variable a explicar.

*Elaboración: Propia

Leticia

Los valores de R^2 en Leticia no superaron el 0,35, lo que significa que ningún indicador (analizados individualmente) tiene relación con la variable de precipitación; aunque 0,35 fue el valor más alto, solo tres indicadores se acercan a este: la TSM (Atl. N), el índice del Pacífico Occidental y la Humedad relativa en la Amazonia a 300mb. Gráficamente se presenta el valor más alto de los tres: la TSM (Atl. N) en un tiempo t-2.

Figura 80. Correlación simple de Leticia - TSM (Atl. N) en tiempo t-2



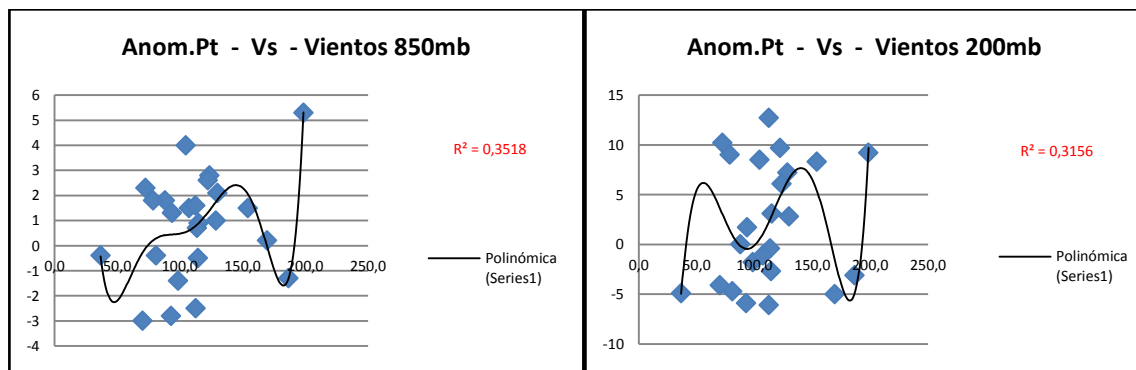
*El diagrama de dispersión muestra una línea de regresión polinómica de orden 6; estos datos no presentan ninguna relación con la precipitación y su valor de $R^2 = 0,3531$.

*Elaboración: Propia

Quibdó

Los vientos a una altura de 850mb y 200mb fueron los únicos indicadores que presentaron un coeficiente de correlación por encima de 0,3, un valor muy bajo que no alcanza a ser significativo en un análisis de correlación.

Figura 81. Correlación simple de Leticia - Vientos a 850mb y 200mb en tiempo t



Elaboración: Propia

*El valor de R^2 para estos dos indicadores es de 0,3518 para vientos a 850mb y 0,3156 para vientos a 200mb; los valores son muy bajos y no representan ningún valor importante en este análisis. La línea de tendencia es polinómica de orden 6, igual a las anteriores, ya que es la que mejor ajuste tiene en este tipo de datos.

Resulta oportuno agregar que Tunja, Valledupar, Pereira, Montería, Pasto, Sincelejo y Puerto Carreño fueron otras de las ciudades que no presentaron relaciones significativas entre los indicadores y la precipitación.

Hechas las consideraciones anteriores, se finaliza con la presentación de resultados del análisis de correlación simple para las 29 ciudades de Colombia y los 18 indicadores océano-atmosféricos incluidos en este proyecto.

3.2 Resultado del análisis de correlación múltiple SPSS

Con respecto a los resultados de correlación múltiple en el programa SPSS, cabe resaltar que una vez los datos están en el sistema y se corre el programa, éste arroja los resultados en diferentes secciones, es decir, primero muestra en una tabla la media aritmética y la desviación típica de todos los indicadores analizados,

después presenta las correlaciones por medio de la tabla de correlación de Pearson o matriz de correlaciones parciales; ésta indica la interrelación entre las variables independientes y la relación entre cada una de las variables independientes, respecto a la dependiente (precipitación).

En el primer caso, los coeficientes deben ser bajos, pues, de lo contrario cabe la posibilidad de que entre ellas se produzca multicolinealidad (diferentes variables explican lo mismo de la variable dependiente). Por su parte, en el segundo caso, las relaciones deben ser altas (SPSS, 2012).

En la sección siguiente, el programa da a conocer las variables; en este caso, los indicadores que fueron introducidos al modelo y el método por el cual se hizo esta selección. Posteriormente se encuentra una tabla con el resumen del modelo, que contiene el coeficiente de correlación múltiple, el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado, el error típico de estimación y el estadístico Durbin- Watson. Por último, se presentan los gráficos de histograma y el gráfico P-P normal de regresión, que permiten ver la normalidad o anormalidad de los residuos.

Hecha la observación anterior, se inicia la presentación de resultados. De las 29 ciudades analizadas, se mostrarán los datos arrojados por el programa, de cinco de ellas: Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali y Bucaramanga (las principales ciudades de Colombia), como se muestra a continuación:

Bogotá

La respuesta del análisis de correlación múltiple con el programa SPSS no fue muy positiva en cuanto a la creación de un modelo que explicara la variable de precipitación, ya que el programa solo escogía de a una variable independiente; en el caso de Bogotá, solo un indicador resultó significativo, con posible relación con la precipitación. Estos resultados sirven para el análisis final de los indicadores, pero no es el punto determinante de respuesta del estudio.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos de Bogotá

	Media	Desviación típica	N
Pt	144,9133	74,37507	24
TSM.N	,6204	,40192	24
TSM.S	,3350	,18833	24
IOS	1,2958	2,21996	24
ONI	-,0750	1,12453	24
NIÑO.UNO.MAS.DOS	-,1754	,86832	24
NIÑO.3	-,1087	1,04202	24
NIÑO.4	-,1500	1,05294	24
NIÑO.3.4	-,2196	1,15528	24
VIENTOS.850MB	,7958	2,06492	24
VIENTOS.200MB	2,0296	6,10833	24
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMA CO	,0083	,05799	24
PROMEDIO.TEMPERATUR A	,3379	,39917	24
TNI	-,2338	1,46612	24
WHWP	2,4883	2,39118	24
PDO	-,3908	,79726	24
MEI	-,2163	1,31206	24
HUMEDAD.RELATIVA	,5862	6,79780	24
QBO	-5,5025	13,61785	24

*Esta tabla indica la medida en que los datos se agrupan o se dispersan. La media es la suma de todos los valores de una variable, dividida entre el número total de datos, lo que significa que expresa el centro donde se ubican los datos; para este caso no se presentan valores muy grandes, lo que indica que los datos de cada indicador tienden a estar agrupados, excepto la variable de precipitación, que sí presenta un gran cambio. La desviación típica expresa la dispersión de la distribución de los datos; entre más pequeño es el valor, menos es la dispersión; la precipitación sigue siendo la variable con mayor dispersión.

Tabla 6. Correlación de Pearson para indicadores océano-atmosféricos de Bogotá

CORRELACIÓN DE PEARSON																			
	Pt	TSM.N	TSM.S	IOS	ONI	NIÑO 1+2	NIÑO.3	NIÑO.4	NIÑO.3.4	VIENTOS .850MB	VIENTOS. 200MB	NIVEL.MEDIO. MAR.TUMACO	PROMEDIO. TEMPERATURA	TNI	WHWP	PDO	MEI	HUMEDAD .RELATIVA	QBO
Pt	1	0,318	0	0,65	-0,621	-0,39	-0,618	-0,579	-0,64	0,519	0,472	-0,288	-0,474	0,62	0,015	-0,545	-0,598	0,295	0,391
TSM.N	0,318	1	0,429	0,216	-0,197	-0,507	-0,401	-0,183	-0,466	0,245	-0,028	-0,731	0,41	-0,06	0,32	0,105	-0,189	0,014	-0,235
TSM.S	0	0,429	1	-0,185	0,302	0,167	0,193	0,335	0,138	-0,225	-0,237	-0,068	0,263	-0,229	-0,158	0,453	0,272	0,211	-0,391
IOS	0,65	0,216	-0,185	1	-0,908	-0,539	-0,84	-0,882	-0,857	0,837	0,773	-0,411	-0,586	0,847	-0,163	-0,712	-0,89	0,401	0,69
ONI	-0,621	-0,197	0,302	-0,908	1	0,681	0,958	0,991	0,945	-0,841	-0,778	0,522	0,628	-0,897	0,103	0,815	0,964	-0,303	-0,794
NIÑO1+2	-0,39	-0,507	0,167	-0,539	0,681	1	0,824	0,711	0,765	-0,615	-0,269	0,641	0,082	-0,403	-0,122	0,494	0,72	-0,081	-0,441
NIÑO.3	-0,618	-0,401	0,193	-0,84	0,958	0,824	1	0,959	0,97	-0,832	-0,681	0,655	0,473	-0,788	0,038	0,71	0,934	-0,268	-0,693
NIÑO.4	-0,579	-0,183	0,335	-0,882	0,991	0,711	0,959	1	0,933	-0,832	-0,77	0,525	0,624	-0,891	0,151	0,821	0,964	-0,296	-0,817
NIÑO.3.4	-0,64	-0,466	0,138	-0,857	0,945	0,765	0,97	0,933	1	-0,8	-0,629	0,725	0,399	-0,754	-0,078	0,681	0,903	-0,247	-0,595
VIENTOS. 850MB	0,519	0,245	-0,225	0,837	-0,841	-0,615	-0,832	-0,832	-0,8	1	0,792	-0,435	-0,424	0,757	-0,136	-0,67	-0,809	0,266	0,661
VIENTOS. 200MB	0,472	-0,028	-0,237	0,773	-0,778	-0,269	-0,681	-0,77	-0,629	0,792	1	-0,263	-0,703	0,87	-0,393	-0,611	-0,73	0,459	0,76
NIVEL.MEDIO. MAR. TUMACO	-0,288	-0,731	-0,068	-0,411	0,522	0,641	0,655	0,525	0,725	-0,435	-0,263	1	-0,167	-0,22	-0,379	0,094	0,435	-0,03	-0,058
PROMEDIO. TEMPERATURA	-0,474	0,41	0,263	-0,586	0,628	0,082	0,473	0,624	0,399	-0,424	-0,703	-0,167	1	-0,863	0,58	0,685	0,615	-0,493	-0,842
TNI	0,62	-0,06	-0,229	0,847	-0,897	-0,403	-0,788	-0,891	-0,754	0,757	0,87	-0,22	-0,863	1	-0,44	-0,813	-0,866	0,471	0,899
WHWP	0,015	0,32	-0,158	-0,163	0,103	-0,122	0,038	0,151	-0,078	-0,136	-0,393	-0,379	0,58	-0,44	1	0,209	0,161	-0,544	-0,574
PDO	-0,545	0,105	0,453	-0,712	0,815	0,494	0,71	0,821	0,681	-0,67	-0,611	0,094	0,685	-0,813	0,209	1	0,845	-0,224	-0,828
MEI	-0,598	-0,189	0,272	-0,89	0,964	0,72	0,934	0,964	0,903	-0,809	-0,73	0,435	0,615	-0,866	0,161	0,845	1	-0,353	-0,811
HUMEDAD .RELATIVA	0,295	0,014	0,211	0,401	-0,303	-0,081	-0,268	-0,296	-0,247	0,266	0,459	-0,03	-0,493	0,471	-0,544	-0,224	-0,353	1	0,45
QBO	0,391	-0,235	-0,391	0,69	-0,794	-0,441	-0,693	-0,817	-0,595	0,661	0,76	-0,058	-0,842	0,899	-0,574	-0,828	-0,811	0,45	1

*La matriz de correlaciones parciales muestra una buena relación entre la precipitación y los indicadores IOS, ONI, Niño 3, Niño 4, Niño 3,4, Vientos a 850mb, TNI, PDO y MEI, ya que con éstos presenta un coeficiente de correlación mayor a 0,5. Pero puede suceder que estos no sean escogidos para el modelo final, ya que presentan altas relaciones entre variables independientes que pueden tender a multicolinealidad.

Tabla 7. Variables introducidas al modelo para Bogotá

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	IOS	.	Por pasos (criterio: Prob de F para entrar <= .050. Prob de F para salir >= .100).

* La variable introducida al modelo fue IOS y el método por el cual fue escogida es “paso a paso”. Este es el indicador que según el programa estadístico SPSS explica el comportamiento de la precipitación.

Tabla 8. Resumen del modelo para Bogotá

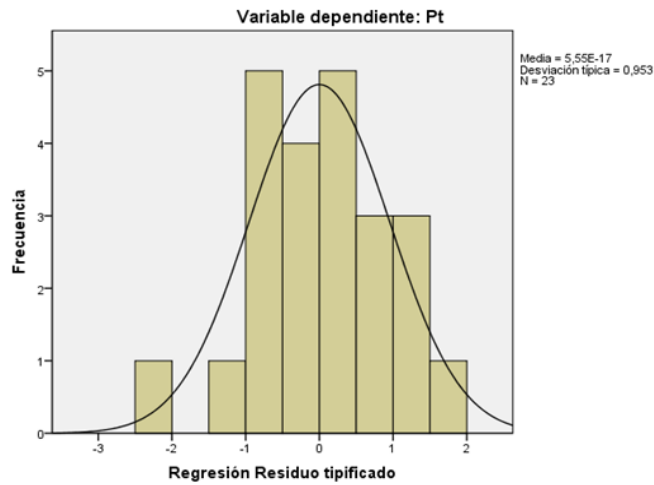
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,650*	,423	,397	57,77403	1,719

El modelo seleccionado, donde incluyen el indicador IOS, tiene un coeficiente de correlación múltiple “r” de 0,650, lo que revela que este indicador tiene una relación fuerte con la precipitación. El valor de “R²” mide la proporción (%) de la variabilidad de la precipitación, que en este caso representa el 42%. Entre más variables se introduzcan en el modelo, mayor será el valor de R². El coeficiente de determinación corregido mide lo mismo que R², con la diferencia de que este valor no está influenciado por el número de variables que se introduzcan en el modelo.

El error típico de la estimación indica que 57,77403 fue el valor o parte de la variable dependiente (precipitación) que se dejó o faltó por explicar. Para finalizar el resumen, se encuentra el estadístico Durbin-Watson, que mide el grado de autocorrelación de los residuos; mientras que el valor esté cercano a dos, los residuos son independientes; para este modelo los residuos muestran comportamiento normal con un valor Durbin-Watson=1,719.

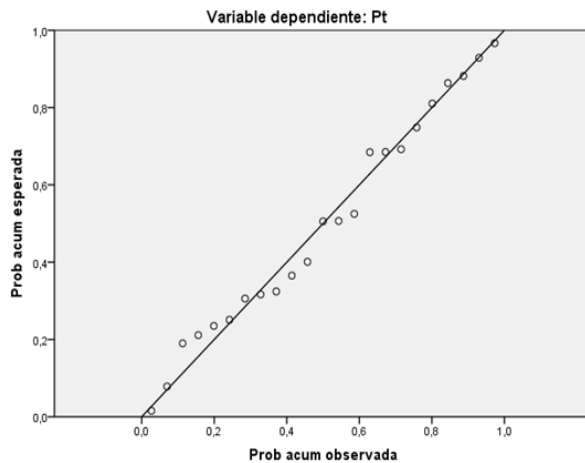
Para terminar el análisis de resultados de correlación múltiple con SPSS para la ciudad de Bogotá, se presentan los gráficos de residuos tipificados, para comprobar que estos cumplen los supuestos de normalidad; para identificar que tienen un comportamiento normal, el histograma debe ser simétrico y en el gráfico de probabilidad los puntos tienen que estar cerca a la recta o sobre ella. Los residuos tipificados de este modelo se presentan a continuación:

Figura 82. Histograma de residuos tipificados de Bogotá



*Visualmente este gráfico presenta que los residuos tienen un comportamiento normal.

Figura 83. Gráfico P-P normal de regresión residuo tipificado de Bogotá



*Como los puntos de dispersión están sobre la línea o cerca de ella, se puede inferir que los residuos tienen un comportamiento normal.

Medellín

Los resultados para esta ciudad no fueron muy satisfactorios; solo un indicador fue incluido en el modelo que explica el comportamiento de la precipitación. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 9. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos de Medellín

	Media	Desviación típica	N
Pt	120,9667	65,02630	24
TSM.N	,6204	,40192	24
TSM.S	,3350	,18833	24
IOS	1,2958	2,21996	24
ONI	-,0750	1,12453	24
NIÑO.UNO.MAS.DOS	-,1754	,86832	24
NIÑO.3	-,1087	1,04202	24
NIÑO.4	-,1500	1,05294	24
NIÑO.3.4	-,2196	1,15528	24
VIENTOS.850MB	,7958	2,06492	24
VIENTOS.200MB	2,0292	6,10847	24
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	,0083	,05799	24
PROMEDIO.TEMPERATURA	,3379	,39917	24
TNI	-,2337	1,46625	24
WHWP	2,4883	2,39118	24
PDO	-,3908	,79726	24
MEI	-,2163	1,31206	24
HUMEDAD.RELATIVA	,5862	6,79780	24
QBO	-5,5025	13,61785	24

*Los indicadores océano-atmosféricos, según la media y la desviación estándar, tienen una tendencia a estar más concentrados que dispersos. La variable de precipitación presenta mayor dispersión en sus datos, por sus valores altos en la media y la desviación típica.

Tabla 10. Correlación de Pearson de indicadores para Medellín

CORRELACIÓN DE PEARSON																			
	Pt	TSM.N	TSM.S	IOS	ONI	NIÑO 1+2	NIÑO.3	NIÑO.4	NIÑO.3.4	VIENTOS.850MB	VIENTOS.200MB	NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	PROMEDIO.TEMPERATURA	TNI	WHWP	PDO	MEI	HUMEDAD.RELATIVA	QBO
Pt	1	0,209	-0,037	0,727	-0,696	-0,484	-0,668	-0,668	-0,666	0,549	0,446	-0,222	-0,533	0,651	-0,064	-0,672	-0,72	0,228	0,513
TSM.N	0,209	1	0,429	0,216	-0,197	-0,507	-0,401	-0,183	-0,466	0,245	-0,028	-0,731	0,41	-0,06	0,32	0,105	-0,189	0,014	-0,235
TSM.S	-0,037	0,429	1	-0,185	0,302	0,167	0,193	0,335	0,138	-0,225	-0,237	-0,068	0,263	-0,229	-0,158	0,453	0,272	0,211	-0,391
IOS	0,727	0,216	-0,185	1	-0,908	-0,539	-0,84	-0,882	-0,857	0,837	0,772	-0,411	-0,586	0,847	-0,163	-0,712	-0,89	0,401	0,69
ONI	-0,696	-0,197	0,302	-0,908	1	0,681	0,958	0,991	0,945	-0,841	-0,778	0,522	0,628	-0,897	0,103	0,815	0,964	-0,303	-0,794
NIÑO 1+2	-0,484	-0,507	0,167	-0,539	0,681	1	0,824	0,711	0,765	-0,615	-0,269	0,641	0,082	-0,403	-0,122	0,494	0,72	-0,081	-0,441
NIÑO.3	-0,668	-0,401	0,193	-0,84	0,958	0,824	1	0,959	0,97	-0,832	-0,681	0,655	0,473	-0,788	0,038	0,71	0,934	-0,268	-0,693
NIÑO.4	-0,668	-0,183	0,335	-0,882	0,991	0,711	0,959	1	0,933	-0,832	-0,77	0,525	0,624	-0,891	0,151	0,821	0,964	-0,296	-0,817
NIÑO.3.4	-0,666	-0,466	0,138	-0,857	0,945	0,765	0,97	0,933	1	-0,8	-0,629	0,725	0,399	-0,754	-0,078	0,681	0,903	-0,247	-0,595
VIENTOS.850MB	0,549	0,245	-0,225	0,837	-0,841	-0,615	-0,832	-0,832	-0,8	1	0,792	-0,435	-0,424	0,757	-0,136	-0,67	-0,809	0,266	0,661
VIENTOS.200MB	0,446	-0,028	-0,237	0,772	-0,778	-0,269	-0,681	-0,77	-0,629	0,792	1	-0,263	-0,703	0,87	-0,393	-0,611	-0,73	0,459	0,76
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	-0,222	-0,731	-0,068	-0,411	0,522	0,641	0,655	0,525	0,725	-0,435	-0,263	1	-0,167	-0,22	-0,379	0,094	0,435	-0,03	-0,058
PROMEDIO.TEMPERATURA	-0,533	0,41	0,263	-0,586	0,628	0,082	0,473	0,624	0,399	-0,424	-0,703	-0,167	1	-0,863	0,58	0,685	0,615	-0,493	-0,842
TNI	0,651	-0,06	-0,229	0,847	-0,897	-0,403	-0,788	-0,891	-0,754	0,757	0,87	-0,22	-0,863	1	-0,44	-0,813	-0,866	0,471	0,899
WHWP	-0,064	0,32	-0,158	-0,163	0,103	-0,122	0,038	0,151	-0,078	-0,136	-0,393	-0,379	0,58	-0,44	1	0,209	0,161	-0,544	-0,574
PDO	-0,672	0,105	0,453	-0,712	0,815	0,494	0,71	0,821	0,681	-0,67	-0,611	0,094	0,685	-0,813	0,209	1	0,845	-0,224	-0,828
MEI	-0,72	-0,189	0,272	-0,89	0,964	0,72	0,934	0,964	0,903	-0,809	-0,73	0,435	0,615	-0,866	0,161	0,845	1	-0,353	-0,811
HUMEDAD.RELATIVA	0,228	0,014	0,211	0,401	-0,303	-0,081	-0,268	-0,296	-0,247	0,266	0,459	-0,03	-0,493	0,471	-0,544	-0,224	-0,353	1	0,45
QBO	0,513	-0,235	-0,391	0,69	-0,794	-0,441	-0,693	-0,817	-0,595	0,661	0,76	-0,058	-0,842	0,899	-0,574	-0,828	-0,811	0,45	1

*La matriz de correlación de Pearson muestra una correlación fuerte entre la precipitación y el conjunto de indicadores comprendidos por el ONI, Niño 3, Niño 4, Niño 3,4, TNI, Promedio de T° y PDO, pero como se vio en la ciudad anterior, los indicadores que presentan relación fuerte con otros pueden generar multicolinealidad y afectar el resultado final del modelo.

Tabla 11. Variables introducidas al modelo para Medellín

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	IOS	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar \leq , 050, Prob. de F para salir \geq , 100).

a. Variable dependiente: Pt

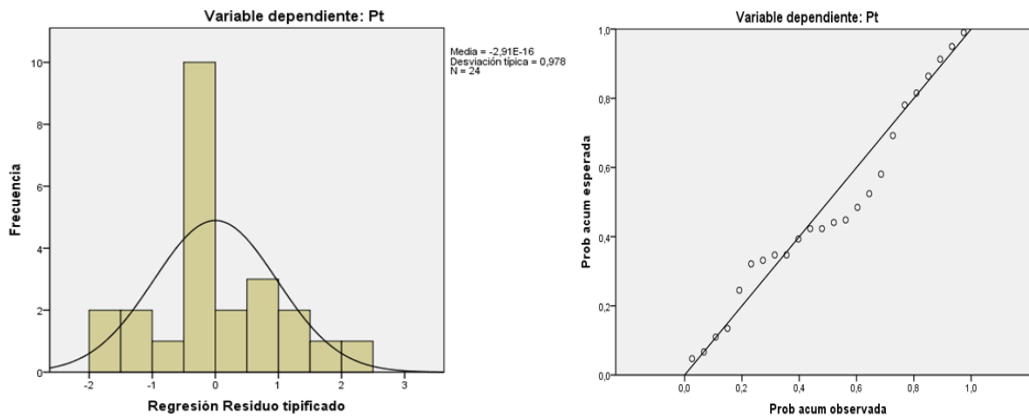
*El IOS fue el indicador introducido al modelo que intenta explicar la variable de precipitación por el método “paso a paso”.

Tabla 12. Resumen del modelo para Medellín

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,727 ^a	,529	,507	45,65301	2,569

El modelo seleccionado incluye el indicador IOS, que tiene un coeficiente de correlación múltiple “r” de 0,754, lo que muestra que este indicador tiene una relación fuerte con la precipitación. La proporción (%) de la variabilidad de la precipitación “R²” es del 52%. El coeficiente de determinación corregido se encuentra en un valor de 0,507 y el error típico de la estimación indica que el 45,65301 fue el valor o parte de la variable dependiente (precipitación) que se dejó de explicar. Finalmente, el estadístico Durbin-Watson presenta un valor de 2,5, lo que indica que está en el rango máximo de normalidad de los residuos.

Figura 84. Histograma y gráfico P-P normal de regresión de residuos tipificados de Medellín



*Los gráficos de residuos tipificados muestran un comportamiento normalizado, con una pequeña dispersión, pero sin salirse del comportamiento normal.

Barranquilla

Como factor común de este análisis de correlación múltiple, con el programa estadístico SPSS solo se presentó un indicador, como la variable explicativa de la precipitación. Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 13. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos de Barranquilla

	Media	Desviación típica	N
Pt	166,1917	222,69971	24
TSM.N	,6204	,40192	24
TSM.S	,3350	,18833	24
IOS	1,2958	2,21996	24
ONI	-,0750	1,12453	24
NIÑO.UNO.MAS.DOS	-,1754	,86832	24
NIÑO.3	-,1087	1,04202	24
NIÑO.4	-,1500	1,05294	24
NIÑO.3.4	-,2196	1,15528	24
VIENTOS.850MB	,7958	2,06492	24
VIENTOS.200MB	2,0292	6,10847	24
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	,0083	,05799	24
PROMEDIO.TEMPERATURA	,3379	,39917	24
TNI	-,2337	1,46625	24
WHWP	2,4883	2,39118	24
PDO	-,3908	,79726	24
MEI	-,2163	1,31206	24
HUMEDAD.RELATIVA	,5862	6,79780	24
QBO	-5,5025	13,61785	24

*Los indicadores océano-atmosféricos para todas las ciudades siempre son los mismos, por esta razón tienen el mismo comportamiento, con tendencia a estar más agrupados que dispersos. Los datos de precipitación son tan variables, que su tendencia es a estar dispersos.

Tabla 14. Correlación de Pearson de indicadores para Barranquilla

CORRELACIÓN DE PEARSON																			
	Pt	TSM.N	TSM.S	IOS	ONI	NIÑO 1+2	NIÑO.3	NIÑO.4	NIÑO.3.4	VIENTOS.850MB	VIENTOS.200MB	NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	PROMEDIO.TEMPERATURA	TNI	WHWP	PDO	MEI	HUMEDAD.RELATIVA	QBO
Pt	1	0,56	0,356	0,027	-0,024	-0,327	-0,137	0,007	-0,182	0,172	-0,184	-0,317	0,297	-0,1	0,196	0,052	0,042	-0,148	-0,181
TSM.N	0,56	1	0,429	0,216	-0,197	-0,507	-0,401	-0,183	-0,466	0,245	-0,028	-0,731	0,41	-0,06	0,32	0,105	-0,189	0,014	-0,235
TSM.S	0,356	0,429	1	-0,185	0,302	0,167	0,193	0,335	0,138	-0,225	-0,237	-0,068	0,263	-0,229	-0,158	0,453	0,272	0,211	-0,391
IOS	0,027	0,216	-0,185	1	-0,908	-0,539	-0,84	-0,882	-0,857	0,837	0,772	-0,411	-0,586	0,847	-0,163	-0,712	-0,89	0,401	0,69
ONI	-0,024	-0,197	0,302	-0,908	1	0,681	0,958	0,991	0,945	-0,841	-0,778	0,522	0,628	-0,897	0,103	0,815	0,964	-0,303	-0,794
NIÑO 1+2	-0,327	-0,507	0,167	-0,539	0,681	1	0,824	0,711	0,765	-0,615	-0,269	0,641	0,082	-0,403	-0,122	0,494	0,72	-0,081	-0,441
NIÑO.3	-0,137	-0,401	0,193	-0,84	0,958	0,824	1	0,959	0,97	-0,832	-0,681	0,655	0,473	-0,788	0,038	0,71	0,934	-0,268	-0,693
NIÑO.4	0,007	-0,183	0,335	-0,882	0,991	0,711	0,959	1	0,933	-0,832	-0,77	0,525	0,624	-0,891	0,151	0,821	0,964	-0,296	-0,817
NIÑO.3.4	-0,182	-0,466	0,138	-0,857	0,945	0,765	0,97	0,933	1	-0,8	-0,629	0,725	0,399	-0,754	-0,078	0,681	0,903	-0,247	-0,595
VIENTOS.850MB	0,172	0,245	-0,225	0,837	-0,841	-0,615	-0,832	-0,832	-0,8	1	0,792	-0,435	-0,424	0,757	-0,136	-0,67	-0,809	0,266	0,661
VIENTOS.200MB	-0,184	-0,028	-0,237	0,772	-0,778	-0,269	-0,681	-0,77	-0,629	0,792	1	-0,263	-0,703	0,87	-0,393	-0,611	-0,73	0,459	0,76
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMACO	-0,317	-0,731	-0,068	-0,411	0,522	0,641	0,655	0,525	0,725	-0,435	-0,263	1	-0,167	-0,22	-0,379	0,094	0,435	-0,03	-0,058
PROMEDIO.TEMPERATURA	0,297	0,41	0,263	-0,586	0,628	0,082	0,473	0,624	0,399	-0,424	-0,703	-0,167	1	-0,863	0,58	0,685	0,615	-0,493	-0,842
TNI	-0,1	-0,06	-0,229	0,847	-0,897	-0,403	-0,788	-0,891	-0,754	0,757	0,87	-0,22	-0,863	1	-0,44	-0,813	-0,866	0,471	0,899
WHWP	0,196	0,32	-0,158	-0,163	0,103	-0,122	0,038	0,151	-0,078	-0,136	-0,393	-0,379	0,58	-0,44	1	0,209	0,161	-0,544	-0,574
PDO	0,052	0,105	0,453	-0,712	0,815	0,494	0,71	0,821	0,681	-0,67	-0,611	0,094	0,685	-0,813	0,209	1	0,845	-0,224	-0,828
MEI	0,042	-0,189	0,272	-0,89	0,964	0,72	0,934	0,964	0,903	-0,809	-0,73	0,435	0,615	-0,866	0,161	0,845	1	-0,353	-0,811
HUMEDAD.RELATIVA	-0,148	0,014	0,211	0,401	-0,303	-0,081	-0,268	-0,296	-0,247	0,266	0,459	-0,03	-0,493	0,471	-0,544	-0,224	-0,353	1	0,45
QBO	-0,181	-0,235	-0,391	0,69	-0,794	-0,441	-0,693	-0,817	-0,595	0,661	0,76	-0,058	-0,842	0,899	-0,574	-0,828	-0,811	0,45	1

*La matriz muestra una correlación parcial entre la precipitación y la TSM en el Atlántico Norte, con un coeficiente de correlación de 0,56.

Tabla 15. Variables introducidas al modelo para Barranquilla

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	TSM.N	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050. Prob. de F para salir >= .100).

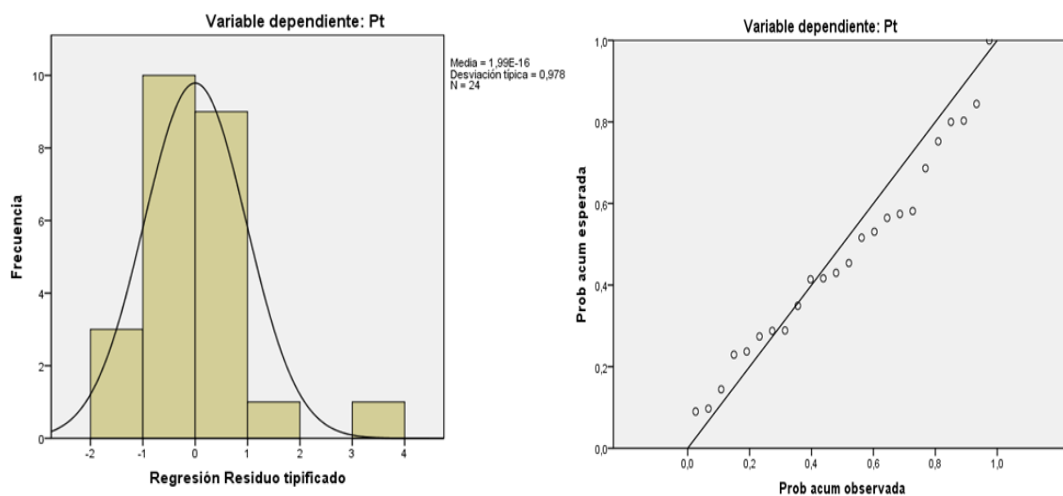
*Por el método de “paso a paso” se incluyó al modelo explicativo de la variable de precipitación el indicador de la TSM (Atlántico Norte).

Tabla 16. Resumen del modelo para Barranquilla

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,560 ^a	,313	,282	188,68114	2,192

La TSM en el Atlántico Norte forma parte del modelo seleccionado por el programa para ser la variable explicativa de la precipitación; el coeficiente de correlación múltiple “r” es de 0,560, lo que muestra que este indicador tiene una relación parcial con la variable dependiente. La proporción (%) de la variabilidad de la precipitación “R²” es del 31%. El coeficiente de determinación corregido se encuentra en un valor de 0,282, muy bajo para un resultado confiable. El error típico de la estimación indica que el 188,68114 fue la parte de la variable dependiente (precipitación) que se dejó de explicar. En el último lugar se encuentra el estadístico Durbin-Watson, que presenta un valor de 2,1, un buen indicio de que el comportamiento de los residuos es normal.

Figura 85. Histograma y gráfico P-P normal de regresión de residuos tipificados en Barranquilla



*Visualmente, los gráficos de residuos tipificados muestran un comportamiento normalizado, ya que el histograma presenta asimetría y los puntos están sobre la recta y cerca de ella.

Cali

Solo un indicador fue incluido en el modelo, que explica el comportamiento de la precipitación. Esto indica que el modelo generado no tiene mucha confiabilidad en sus resultados, como se puede observar a continuación:

Tabla 17. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos de Cali

	Media	Desviación típica	N
Pt	114,2667	93,67333	24
TSM.N	,6204	,40192	24
TSM.S	,3350	,18833	24
IOS	1,2958	2,21996	24
ONI	-,0750	1,12453	24
NIÑO.UNO.MAS.DOS	-,1754	,86832	24
NIÑO.3	-,1087	1,04202	24
NIÑO.4	-,1500	1,05294	24
NIÑO.3.4	-,2196	1,15528	24
VIENTOS.850MB	,7958	2,06492	24
VIENTOS.200MB	2,0292	6,10847	24
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMA CO	,0083	,05799	24
PROMEDIO.TEMPERATUR A	,3379	,39917	24
TNI	-,2337	1,46625	24
WHWP	2,4883	2,39118	24
PDO	-,3908	,79726	24
MEI	-,2163	1,31206	24
HUMEDAD.RELATIVA	,5862	6,79780	24
QBO	-5,5025	13,61785	24

*Los datos de precipitación son muy variables, lo que hace que su tendencia sea a estar dispersos, aunque en este caso el valor de desviación típica es mucho más bajo, en comparación con las ciudades ya presentadas.

Tabla 18. Correlación de Pearson de indicadores para Cali

CORRELACIÓN DE PEARSON																			
	Pt	TSM.N	TSM.S	IOS	ONI	NIÑO 1+2	NIÑO.3	NIÑO.4	NIÑO.3.4	VIENTOS.850MB	VIENTOS.200MB	NIVEL.MEDIO.MAR.TU MACO	PROMEDIO.TEMPERATURA	TNI	WHWP	PDO	MEI	HUMEDAD.RELATIVA	QBO
Pt	1	0,198	0,018	0,471	-0,515	-0,444	-0,525	-0,503	-0,547	0,368	0,285	-0,397	-0,349	0,475	0,016	-0,319	-0,471	0,193	0,33
TSM.N	0,198	1	0,429	0,216	-0,197	-0,507	-0,401	-0,183	-0,466	0,245	-0,028	-0,731	0,41	-0,06	0,32	0,105	-0,189	0,014	-0,235
TSM.S	0,018	0,429	1	-0,185	0,302	0,167	0,193	0,335	0,138	-0,225	-0,237	-0,068	0,263	-0,229	-0,158	0,453	0,272	0,211	-0,391
IOS	0,471	0,216	-0,185	1	-0,908	-0,539	-0,84	-0,882	-0,857	0,837	0,772	-0,411	-0,586	0,847	-0,163	-0,712	-0,89	0,401	0,69
ONI	-0,515	-0,197	0,302	-0,908	1	0,681	0,958	0,991	0,945	-0,841	-0,778	0,522	0,628	-0,897	0,103	0,815	0,964	-0,303	-0,794
NIÑO 1+2	-0,444	-0,507	0,167	-0,539	0,681	1	0,824	0,711	0,765	-0,615	-0,269	0,641	0,082	-0,403	-0,122	0,494	0,72	-0,081	-0,441
NIÑO.3	-0,525	-0,401	0,193	-0,84	0,958	0,824	1	0,959	0,97	-0,832	-0,681	0,655	0,473	-0,788	0,038	0,71	0,934	-0,268	-0,693
NIÑO.4	-0,503	-0,183	0,335	-0,882	0,991	0,711	0,959	1	0,933	-0,832	-0,77	0,525	0,624	-0,891	0,151	0,821	0,964	-0,296	-0,817
NIÑO.3.4	-0,547	-0,466	0,138	-0,857	0,945	0,765	0,97	0,933	1	-0,8	-0,629	0,725	0,399	-0,754	-0,078	0,681	0,903	-0,247	-0,595
VIENTOS.850MB	0,368	0,245	-0,225	0,837	-0,841	-0,615	-0,832	-0,832	-0,8	1	0,792	-0,435	-0,424	0,757	-0,136	-0,67	-0,809	0,266	0,661
VIENTOS.200MB	0,285	-0,028	-0,237	0,772	-0,778	-0,269	-0,681	-0,77	-0,629	0,792	1	-0,263	-0,703	0,87	-0,393	-0,611	-0,73	0,459	0,76
NIVEL.MEDIO.MAR.TU MACO	-0,397	-0,731	-0,068	-0,411	0,522	0,641	0,655	0,525	0,725	-0,435	-0,263	1	-0,167	-0,22	-0,379	0,094	0,435	-0,03	-0,058
PROMEDIO.TEMPERATURA	-0,349	0,41	0,263	-0,586	0,628	0,082	0,473	0,624	0,399	-0,424	-0,703	-0,167	1	-0,863	0,58	0,685	0,615	-0,493	-0,842
TNI	0,475	-0,06	-0,229	0,847	-0,897	-0,403	-0,788	-0,891	-0,754	0,757	0,87	-0,22	-0,863	1	-0,44	-0,813	-0,866	0,471	0,899
WHWP	0,016	0,32	-0,158	-0,163	0,103	-0,122	0,038	0,151	-0,078	-0,136	-0,393	-0,379	0,58	-0,44	1	0,209	0,161	-0,544	-0,574
PDO	-0,319	0,105	0,453	-0,712	0,815	0,494	0,71	0,821	0,681	-0,67	-0,611	0,094	0,685	-0,813	0,209	1	0,845	-0,224	-0,828
MEI	-0,471	-0,189	0,272	-0,89	0,964	0,72	0,934	0,964	0,903	-0,809	-0,73	0,435	0,615	-0,866	0,161	0,845	1	-0,353	-0,811
HUMEDAD.RELATIVA	0,193	0,014	0,211	0,401	-0,303	-0,081	-0,268	-0,296	-0,247	0,266	0,459	-0,03	-0,493	0,471	-0,544	-0,224	-0,353	1	0,45
QBO	0,33	-0,235	-0,391	0,69	-0,794	-0,441	-0,693	-0,817	-0,595	0,661	0,76	-0,058	-0,842	0,899	-0,574	-0,828	-0,811	0,45	1

*La matriz de correlación de Pearson muestra una correlación parcial entre la precipitación y el conjunto de indicadores comprendidos por el ONI, Niño 3, Niño 4 y Niño 3,4, aunque como se ha podido apreciar en las ciudades anteriores, los indicadores que presentan relación fuerte con otros pueden generar multicolinealidad y afectar el resultado final del modelo.

Tabla 19. Variables introducidas en el modelo para Cali

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	NIÑO3.4	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <=, 050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: Pt

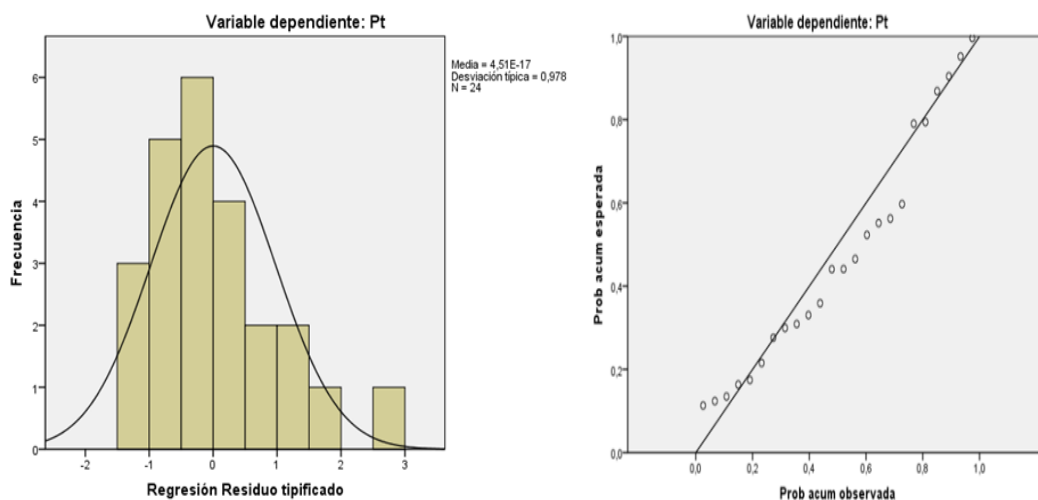
*La región Niño 3,4 fue el indicador más representativo y el que mejor intenta explicar la variable de precipitación; fue seleccionado por el método “paso a paso”.

Tabla 20. Resumen del modelo para Cali

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,547 ^a	,300	,268	80,16113	2,659

El Niño 3,4 forma parte del modelo seleccionado por SPSS para ser la variable explicativa de la precipitación; el coeficiente de correlación múltiple “r” es de 0,547, lo que revela que este indicador tiene una relación parcial con la variable dependiente. La proporción (%) de la variabilidad de la precipitación “R²” es del 30%. El coeficiente de determinación corregido se encuentra en un valor de 0,268 y el error típico de la estimación indica que el 80,16113 fue la parte de la variable dependiente (precipitación) que se dejó de explicar. En último lugar se encuentra el estadístico Durbin-Watson, que presenta un valor de 2,6, un poco más alto al correspondiente a un comportamiento normal de los residuos.

Figura 86. Histograma y gráfico P-P normal de regresión de residuos tipificados en Cali



*Los gráficos de residuos tipificados muestran un comportamiento algo atípico, ya que el histograma presenta una variación en su asimetría y la mayoría de los puntos están considerablemente alejados de la recta.

Bucaramanga

Los resultados para Bucaramanga se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 21. Estadísticos descriptivos para indicadores océano-atmosféricos de Cali

	Media	Desviación típica	N
Pt	129,4833	105,69606	24
TSM.N	,6204	,40192	24
TSM.S	,3350	,18833	24
IOS	1,2958	2,21996	24
ONI	-,0750	1,12453	24
NIÑO.UNO.MAS.DOS	-,1754	,86832	24
NIÑO.3	-,1087	1,04202	24
NIÑO.4	-,1500	1,05294	24
NIÑO.3.4	-,2196	1,15528	24
VIENTOS.850MB	,7958	2,06492	24
VIENTOS.200MB	2,0292	6,10847	24
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMAC	,0083	,05799	24
PROMEDIO.TEMPERATURA	,3379	,39917	24
TNI	-,2337	1,46625	24
WHWP	2,4883	2,39118	24
PDO	-,3908	,79726	24
MEI	-,2163	1,31206	24
HUMEDAD.RELATIVA	,5862	6,79780	24
QBO	-5,5025	13,61785	24

*Los datos de precipitación son muy variables, por esto tienden a estar dispersos, con un valor de desviación típica de 105,69.

Tabla 22. Correlación de Pearson de indicadores para Bucaramanga

CORRELACIÓN DE PEARSON																			
	Pt	TSM.N	TSM.S	IOS	ONI	NIÑO 1+2	NIÑO.3	NIÑO.4	NIÑO.3.4	VIENTOS.850MB	VIENTOS.200MB	NIVEL.MEDIO.MAR.TUMAC	PROMEDIO.TEMPERATURA	TNI	WHWP	PDO	MEI	HUMEDAD.RELATIVA	QBO
Pt	1	0,012	-0,416	0,357	-0,404	-0,379	-0,412	-0,418	-0,392	0,418	0,175	-0,174	-0,309	0,378	-0,002	-0,436	-0,354	0,005	0,344
TSM.N	0,012	1	0,429	0,216	-0,197	-0,507	-0,401	-0,183	-0,466	0,245	-0,028	-0,731	0,41	-0,06	0,32	0,105	-0,189	0,014	-0,235
TSM.S	-0,416	0,429	1	-0,185	0,302	0,167	0,193	0,335	0,138	-0,225	-0,237	-0,068	0,263	-0,229	-0,158	0,453	0,272	0,211	-0,391
IOS	0,357	0,216	-0,185	1	-0,908	-0,539	-0,84	-0,882	-0,857	0,837	0,772	-0,411	-0,586	0,847	-0,163	-0,712	-0,89	0,401	0,69
ONI	-0,404	-0,197	0,302	-0,908	1	0,681	0,958	0,991	0,945	-0,841	-0,778	0,522	0,628	-0,897	0,103	0,815	0,964	-0,303	-0,794
NIÑO 1+2	-0,379	-0,507	0,167	-0,539	0,681	1	0,824	0,711	0,765	-0,615	-0,269	0,641	0,082	-0,403	-0,122	0,494	0,72	-0,081	-0,441
NIÑO.3	-0,412	-0,401	0,193	-0,84	0,958	0,824	1	0,959	0,97	-0,832	-0,681	0,655	0,473	-0,788	0,038	0,71	0,934	-0,268	-0,693
NIÑO.4	-0,418	-0,183	0,335	-0,882	0,991	0,711	0,959	1	0,933	-0,832	-0,77	0,525	0,624	-0,891	0,151	0,821	0,964	-0,296	-0,817
NIÑO.3.4	-0,392	-0,466	0,138	-0,857	0,945	0,765	0,97	0,933	1	-0,8	-0,629	0,725	0,399	-0,754	-0,078	0,681	0,903	-0,247	-0,595
VIENTOS.850MB	0,418	0,245	-0,225	0,837	-0,841	-0,615	-0,832	-0,832	-0,8	1	0,792	-0,435	-0,424	0,757	-0,136	-0,67	-0,809	0,266	0,661
VIENTOS.200MB	0,175	-0,028	-0,237	0,772	-0,778	-0,269	-0,681	-0,77	-0,629	0,792	1	-0,263	-0,703	0,87	-0,393	-0,611	-0,73	0,459	0,76
NIVEL.MEDIO.MAR.TUMAC	-0,174	-0,731	-0,068	-0,411	0,522	0,641	0,655	0,525	0,725	-0,435	-0,263	1	-0,167	-0,22	-0,379	0,094	0,435	-0,03	-0,058
PROMEDIO.TEMPERATURA	-0,309	0,41	0,263	-0,586	0,628	0,082	0,473	0,624	0,399	-0,424	-0,703	-0,167	1	-0,863	0,58	0,685	0,615	-0,493	-0,842
TNI	0,378	-0,06	-0,229	0,847	-0,897	-0,403	-0,788	-0,891	-0,754	0,757	0,87	-0,22	-0,863	1	-0,44	-0,813	-0,866	0,471	0,899
WHWP	-0,002	0,32	-0,158	-0,163	0,103	-0,122	0,038	0,151	-0,078	-0,136	-0,393	-0,379	0,58	-0,44	1	0,209	0,161	-0,544	-0,574
PDO	-0,436	0,105	0,453	-0,712	0,815	0,494	0,71	0,821	0,681	-0,67	-0,611	0,094	0,685	-0,813	0,209	1	0,845	-0,224	-0,828
MEI	-0,354	-0,189	0,272	-0,89	0,964	0,72	0,934	0,964	0,903	-0,809	-0,73	0,435	0,615	-0,866	0,161	0,845	1	-0,353	-0,811
HUMEDAD.RELATIVA	0,005	0,014	0,211	0,401	-0,303	-0,081	-0,268	-0,296	-0,247	0,266	0,459	-0,03	-0,493	0,471	-0,544	-0,224	-0,353	1	0,45
QBO	0,344	-0,235	-0,391	0,69	-0,794	-0,441	-0,693	-0,817	-0,595	0,661	0,76	-0,058	-0,842	0,899	-0,574	-0,828	-0,811	0,45	1

*La matriz de correlación muestra una leve correlación entre la precipitación y el PDO.

Tabla 23. Variables introducidas en el modelo para Bucaramanga

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PDO	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <=, 050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: Pt

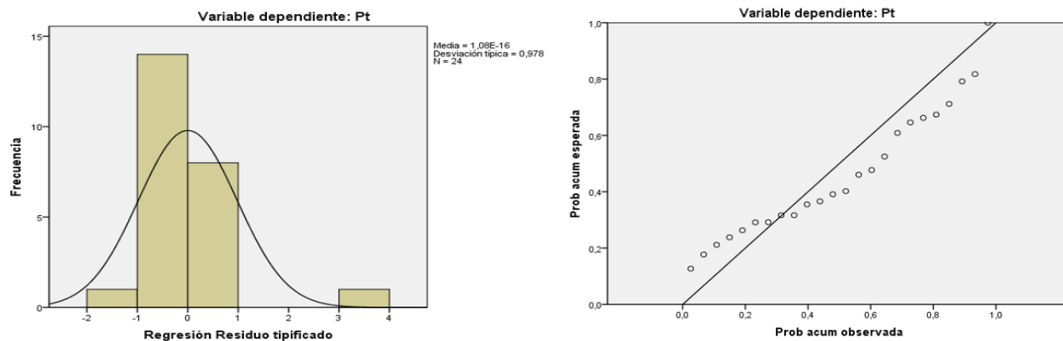
*El PDO fue el indicador escogido para explicar la variable de precipitación, seleccionado por el método “paso a paso”.

Tabla 24. Resumen del modelo para Bucaramanga

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,436 ^a	,190	,154	97,24369	2,174

Solo un indicador forma parte del modelo seleccionado por SPSS para ser la variable explicativa de la precipitación; el coeficiente de correlación múltiple “r” es de 0,436, lo que muestra que este indicador tiene una relación muy baja con la variable dependiente. El valor de “R²” es del 19%. El coeficiente de determinación corregido se encuentra en un valor de 0,154 y el error típico de la estimación indica que el 97,24369 fue la parte de la variable dependiente (precipitación) que se dejó de explicar. Por último, se encuentra el estadístico Durbin-Watson, que presenta un valor de 2,1, lo que indica que tiene una distribución normal de los residuos.

Figura 87. Histograma y gráfico P-P normal de regresión de residuos tipificados en Bucaramanga



*Visualmente, los gráficos de residuos tipificados muestran un comportamiento fuera de lo normal, ya que el histograma no presenta mucha asimetría y la mayoría de los puntos no están encima de la recta.

Los indicadores seleccionados, para cada una de estas cinco ciudades, presentaron una correlación parcial con la variable de precipitación; a pesar de que cuatro de ellas solo presentaron un indicador como representativo, se obtuvo un valor de R^2 importante. Otras ciudades como Leticia, Cartagena, Quibdó y Mocoa no corrieron con la misma suerte y ningún indicador fue señalado como posible respuesta a la variable de precipitación.

Los resultados de este análisis son importantes para la creación de la base de datos de los indicadores más representativos en la variabilidad de la precipitación para cada ciudad de Colombia. Pero no manifiesta la respuesta final a este proyecto.

3.3 Resultado de los análisis de correlación múltiple con *Statgraphics*

La construcción del modelo de regresión múltiple de precipitación en función de los indicadores océano-atmosféricos, se presenta en resultados “paso a paso” que se van desarrollando en el siguiente orden:

Primero, se presenta una tabla con los indicadores seleccionados que serán parte del modelo explicativo de la variabilidad de la precipitación, con su respectivo valor-p de ingreso (debe ser $\leq 0,05$); más adelante, paso a paso “hacia atrás”, explica la salida de cada uno de los indicadores que no cumple el requisito de

entrada, y así consecutivamente hasta llegar al modelo final seleccionado; además, se realiza un análisis de sus respectivos valores de “R²”, de coeficiente de determinación ajustado, de estadístico Durbin-Watson y de las gráficas correspondientes al modelo y a los residuos.

Dadas las condiciones que anteceden, se presentaran los resultados de las cinco ciudades principales de Colombia en un tiempo t y/o $t-1$, dependiendo de la calidad del resultado, comenzando por:

Bogotá

En el modelo seleccionado para Bogotá participan cinco indicadores océano-atmosféricos y una constante que aporta mayor consistencia. Las variables seleccionadas en un tiempo t se presentan a continuación, con su respectivo p-valor:

Tabla 25. Indicadores seleccionados en el modelo para Bogotá

Parámetro	Valor-P
CONSTANTE	0,0011
IOS	0,0208
ONI	0,0006
NIÑO 3	0,0014
TNI	0,0003
WHWP	0,0005

*Puesto que el valor-P es menor que 0,05, en los cinco indicadores y en la constante, se puede inferir que los términos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95,0%.

Para poder entender mejor la selección de indicadores, se describe paso a paso el método de clasificación (paso a paso, selección hacia atrás).

Paso 0: se encuentran 18 variables en el modelo, todas serán comparadas con el valor-P para definir su permanencia o eliminación del mismo.

Paso 1: el valor de “P” más alto corresponde al Nivel medio del mar en Tumaco (0,976). Por ser mayor a 0,05 no es estadísticamente significativo y se elimina del modelo. El valor del coeficiente de correlación múltiple al cuadrado-ajustado es de 46,74%.

Paso 2: se eliminó el Nivel medio del mar en Tumaco y se corre nuevamente el modelo. Se encontró que la variable Humedad relativa proveniente de la Amazonia tiene un valor-P = 0,664, mayor de 0,05, por lo que se elimina del modelo.

Paso 3: se elimina la variable Niño 4, su valor “P” es igual a 0,674 y no cumple los rangos de entrada.

Paso 4: se elimina la variable TSM (Atl. N) (0,705), ya que tiene un valor mayor a 0,05.

Paso 5: se descarta del modelo la variable Vientos zonales a 200mb. El valor-P superó el valor de tolerancia.

Paso 6: se elimina el indicador de la región Niño 3,4, con un valor “P” = 0,5888.

Paso 7: se elimina la variable TSM (Atl. S) (0,6274), que supera el valor de rango de entrada.

Paso 8: se descarta la variable Índice del Pacífico Occidental; el valor de “P” es mayor a 0,05.

Paso 9: el Valor-P del Promedio de Temperatura a 500mb es igual a 0,5366, mayor que 0,05, por tanto es eliminada del modelo.

Paso 10: se descarta la región Niño 1+2, porque no cumple con el valor del rango de entrada. Ahora solo quedan nueve variables en el modelo y el valor de R²-ajustado es 74,97%. Se puede observar que a medida que en el modelo va quedando con las variables más representativas, el valor de R²-ajustado aumenta.

Paso 11: la variable QBO es eliminada con un valor de “P” = 0,4093.

Paso 12: es descartada la variable MEI por no cumplir el rango de entrada.

Paso 13: el indicador de Vientos a 850mb es eliminado por superar el valor de “P”.

Paso 14: PDO es el último indicador eliminado. Solo quedan cinco indicadores océano-atmosféricos para el modelo final.

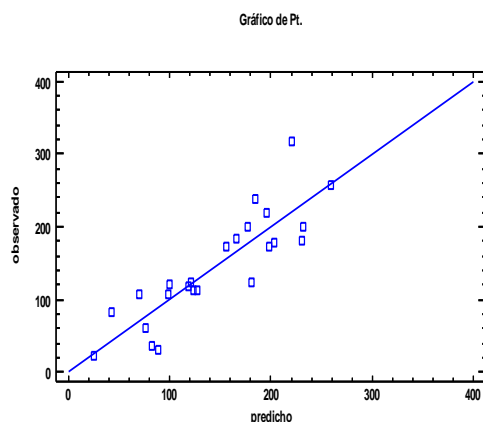
Después de ver paso a paso la eliminación de cada variable, queda el modelo final seleccionado, el cual muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la precipitación y 18 indicadores océano-atmosféricos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Pt. = 76,239 + 25,2295*IOS + 298,006*ONI - 157,9*NIÑO 3 + 136,845*TNI + 29,3962*WHWP$$

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo así ajustado explica 74,6074% de la variabilidad en Pt. El estadístico R-Cuadrado ajustado es el más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes y es 67,5345%. El error absoluto medio (MAE) de 28,7884 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

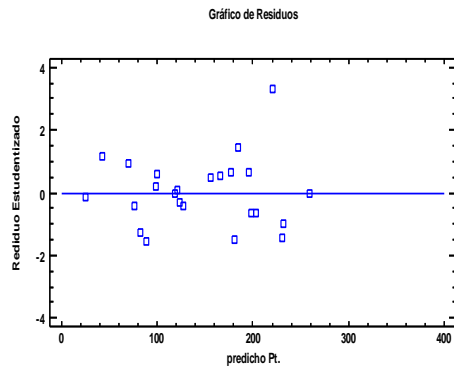
Para ilustrar lo anteriormente expuesto, se presentan las gráficas del modelo resultante y sus residuos:

Figura 88. Gráfico del modelo resultante para Bogotá



*Cada vez que los puntos de dispersión estén más cercanos a la recta, indica que el modelo explica mejor la variable dependiente. En este caso, están agrupados cerca a la recta, lo que muestra buena correlación.

Figura 89. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Bogotá



*Los puntos muestran una tendencia normal, ya que presentan fluctuaciones aleatorias alrededor de un valor cero.

Medellín

El modelo seleccionado para Medellín se realizó en un tiempo t-1, es decir, con -1 rezago. Está compuesto por una constante y cinco indicadores, por lo cual presenta un valor de “R²” significativo.

Tabla 26. Indicadores seleccionados en el modelo para Medellín

Parámetro	Valor-P
CONSTANTE	0
IOS	0,0117
NIÑO 3.4	0,0013
VIENTOS 200MB	0,0278
NIVEL MEDIO DEL MAR EN TUMACO	0,0325
PDO	0,0422

*Puesto que el valor-P en la tabla es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

La regresión lineal múltiple se llevó a cabo en 13 pasos; en el paso 0 se encuentran las 18 variables dentro del modelo; en los pasos siguientes se empiezan a eliminar una por una. Primero se eliminó la variable Humedad relativa

a 700mb con un valor de “P” igual a 0,8502; el valor de R²-ajustado en este primer paso está en 41,95%.

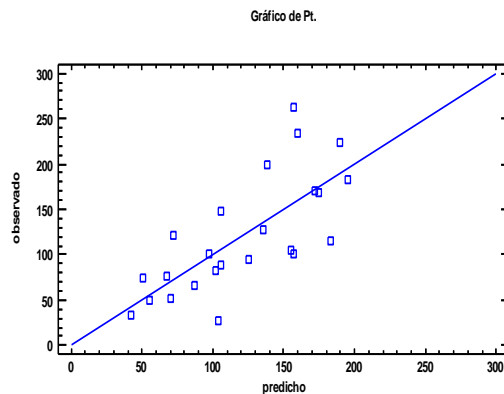
En los pasos del dos al 10 se eliminaron en orden secuencial, las variables WHWP, ONI, QBO, MEI, Niño 4, Vientos a 850mb, TSM(S), Niño 1+2 y Niño 3; diez indicadores han sido eliminados y el valor de R²-ajustado en este punto del modelo es de 67,95%. En los ocho pasos restantes se eliminaron las variables TNI, Promedio de T° 500mb y por último se descartó el índice de TSM(N) con un valor-P igual a 0,1801.

Finalmente, se obtiene el modelo determinante que describe la variabilidad de la precipitación. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Pt. = 139,07 - 33,7244*IOS - 135,528*Niño\ 3,4 + 5,85143*Vientos\ 200mb + 947,312*Nivel\ medio\ del\ mar\ en\ Tumaco + 52,7428*PDO$$

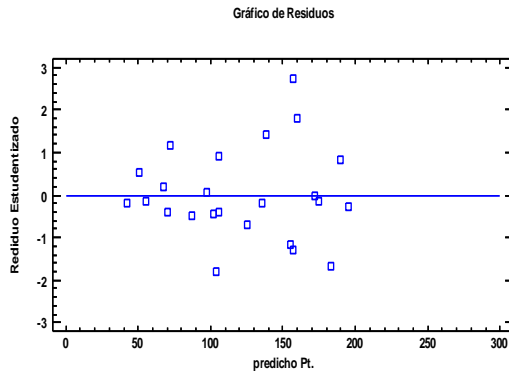
El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo así ajustado explica 70,3075% de la variabilidad en la precipitación. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 62,0596%. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 90. Gráfico del modelo resultante para Medellín



*Algunos puntos se encuentran alejados de la recta; esta situación corrobora el resultado numérico del modelo, donde presentan una relación del 70% entre la Pt y los indicadores.

Figura 91. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Medellín



*Los residuos tienden a un comportamiento normal, aunque visualmente se vea un poco afectada esa normalidad, por la propensión de los datos a tener un valor de varianza heterogénea.

Barranquilla

Ocho indicadores y una constante son las variables que forman parte del modelo explicativo de la precipitación para la ciudad de Barranquilla. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 27. Indicadores seleccionados en el modelo para Barranquilla

Parámetro	Valor-P
CONSTANTE	0,0456
TSM(N)	0,0078
TSM(S)	0,0476
ONI	0,0019
NIÑO 1+2	0,0003
NIÑO 3	0,002
VIENTOS 850	0,0345
PROMEDIO T° 500MB	0,0488
MEI	0,0012

*El valor-P en la tabla es menor que 0,05, se puede inferir, entonces, que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

De una manera más específica, se presenta la selección de indicadores paso a paso, selección hacia atrás, es decir, todas las variables están en el modelo y van

a ser eliminadas consecutivamente si no cumplen el rango de entrada, hasta llegar al modelo final.

Paso 0: se encuentran 18 variables en el modelo, todas serán comparadas con el valor-P, para definir su permanencia.

Paso 1: el valor de “P” más alto corresponde a la variable Nivel medio del mar en Tumaco (0,9489). Por ser mayor a 0,05 no es estadísticamente significativo y se elimina del modelo. El valor del coeficiente de correlación múltiple al cuadrado-ajustado es de 44,91%.

Paso 2: se corre nuevamente el modelo. Se encontró que la variable Niño 3,4 tiene un valor-P = 0,8996; es mayor de 0,05, por lo que se elimina del modelo.

Paso 3: se elimina la variable Índice del Pacífico Occidental, su valor “P” es igual a 0,8207 y no cumple los rangos de entrada.

Paso 4: se elimina la Humedad relativa proveniente de la Amazonia (0,7144), ya que tiene un valor mayor a 0,05.

Paso 5: se descarta del modelo la variable Vientos zonales a 200mb; el valor-P superó el valor de tolerancia.

Paso 6: se elimina QBO, con un valor “P” = 0,4909

Paso 7: se elimina la variable WHWP (0,7312), ya que supera el valor de rango de entrada.

Paso 8: se descarta la variable Niño 4, el valor de “P” es mayor a 0,05.

Paso 9: valor-P de PDO = 0,2894, es mayor que 0,05, por tanto es eliminada del modelo.

Paso 10: se descarta la variable TNI, no cumple con el valor del rango de entrada. Ahora solo quedan nueve variables en el modelo y el valor de R²-ajustado es 68,28%.

Paso 11: último paso para acabar con la eliminación de variables. El IOS es el último indicador en salir del modelo, registrando en este punto un valor de R²-ajustado de 64,78%, un valor significativo para esta regresión múltiple.

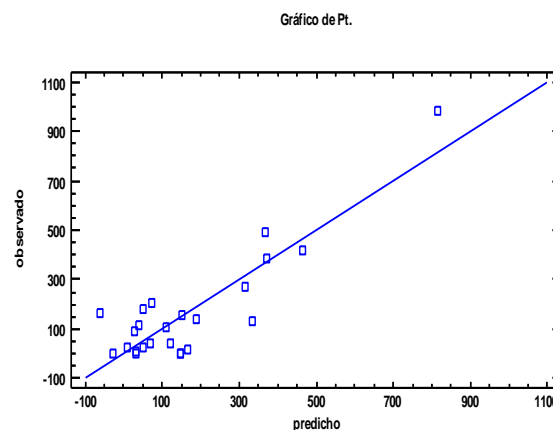
Después de la eliminación de cada variable, queda el modelo final seleccionado, el cual muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para

describir la relación entre la precipitación y 18 indicadores océano-atmosféricos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Pt.} = -183,988 + 485,086 \cdot \text{TSM(N)} + 450,916 \cdot \text{TSM(S)} - 787,504 \cdot \text{ONI} - 492,958 \cdot \text{Niño } 1+2 + 912,864 \cdot \text{Niño } 3 + 60,4751 \cdot \text{Vientos a } 850\text{mb} - 345,515 \cdot \text{Promedio T}^\circ \text{ } 500\text{mb} + 367,479 \cdot \text{MEI}$$

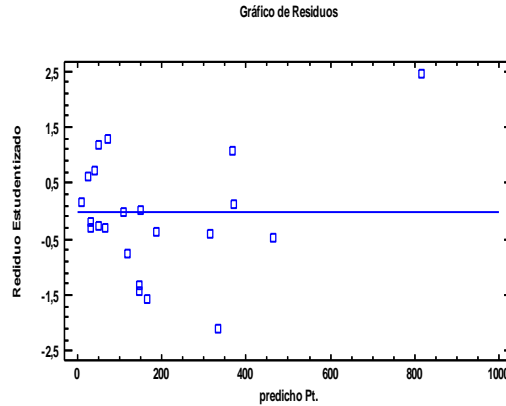
El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo así ajustado explica 77,0314% de la variabilidad en la precipitación. El estadístico R-Cuadrado ajustado, el valor más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 64,7814%. Es un porcentaje alto, lo que conlleva a inferir que es un modelo confiable. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 92. Gráfico del modelo resultante para Barranquilla



*Los datos tienden a estar más agrupados que dispersos, lo que da a entender que el modelo seleccionado tiene buena correlación con la variable a explicar.

Figura 93. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Barranquilla



*Los residuos presentan algunos puntos con comportamiento atípico, el resto está entre los rangos de normalidad, es decir, no existe autocorrelación.

Cali

El modelo final para Cali está compuesto por una constante y un indicador; no es un modelo robusto y presenta un valor de “R²” poco significativo. Esta fue una de las ciudades que no tuvo resultados positivos en cuanto a la ecuación ajustada del modelo, como se puede ver a continuación:

Tabla 28. Indicadores seleccionados en el modelo para Cali

Parámetro	Valor-P
CONSTANTE	0
TNI	0,019

*El valor-P en la tabla es menor que 0,05, se puede inferir, entonces, que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

La eliminación de variables se llevó a cabo en 17 pasos; en el paso 0 se encuentran las 18 variables dentro del modelo. En el paso 1 se eliminó la variable Niño 3 con un valor de "P" igual a 0,984; el valor de R²-ajustado en este primer paso está en -89,74%.

En los pasos del dos al 10 se eliminaron, en orden secuencial, las variables QBO, MEI, TSM(N), Promedio de T° 500mb, ONI, Niño 4, TSM(S), IOS, Niño 1+2; diez indicadores han sido eliminados y el valor de R²-ajustado en este punto del modelo es de 24,55%. En los ocho pasos restantes se eliminaron las variables Humedad relativa, Niño 3,4, Nivel medio del mar en Tumaco, Vientos a 850mb, Índice del Pacífico Occidental, PDO, WHWP y por último se descartó el índice Vientos zonales 200mb con un valor-P igual a 0,1704.

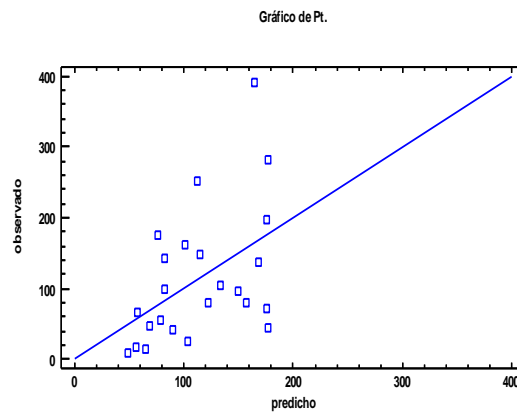
Después de eliminar 18 variables, queda el modelo final seleccionado. Ejemplo de esto se enseña la ecuación del modelo ajustado:

$$\text{Pt.} = 121,357 + 30,3445 \cdot \text{TNI}$$

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo así ajustado explica 22,5601% de la variabilidad en Pt. El estadístico R-Cuadrado ajustado, el valor más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 19,0401%. Es un valor muy bajo, lo que indica que este modelo no explica de manera certera la variabilidad de la precipitación. El error absoluto medio (MAE) de 64,233 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

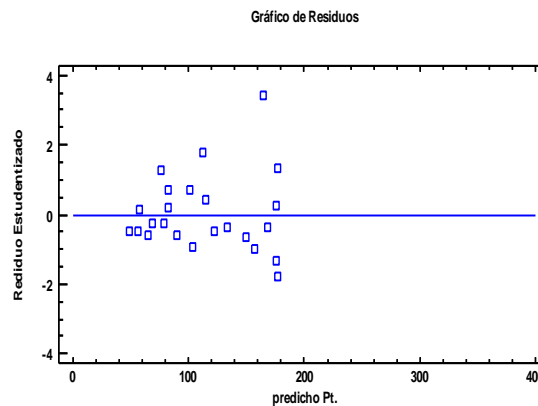
La parte gráfica de los resultados del modelo se presenta a continuación:

Figura 94. Gráfico del modelo resultante para Cali



*Al igual que los resultados numéricos anteriormente presentados, no se logra ver una correlación fuerte entre la variable dependiente y los 18 indicadores océano-atmosféricos. El modelo explicativo es débil.

Figura 95. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Cali



*Se puede decir que la varianza de los puntos no es homogénea y a pesar de que se presente así gráficamente, se sigue considerando que no hay autocorrelación en los residuos.

Bucaramanga

El modelo explicativo para esta ciudad consta de una variable y once indicadores océano-atmosféricos; es una buena cantidad de variables, la cual permite inferir que los resultados del modelo pueden ser confiables.

Tabla 29. Indicadores seleccionados en el modelo para Bucaramanga

Parámetro	Valor-P
CONSTANTE	0
TSM(N)	0,0097
TSM(S)	0
NIÑO 3	0,0008
NIÑO 4	0,0002
VIENTOS 850	0,0055
VIENTOS 200	0,0001
NIVEL MEDIO DEL MAR EN TUMACO	0,0009
TNI	0
WHWP	0,0005
PDO	0,0129
QBO	0,0011

*El valor-P en la tabla es menor que 0,05, se puede inferir, entonces, que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

La corrida total del modelo se llevó a cabo en ocho pasos; en el paso 0 se encuentran las 18 variables dentro del modelo. En el paso 1 se eliminó la variable Promedio de T° 500mb con un valor de “P” igual a 0,7003; el valor de R²-ajustado en este primer paso está en 87,91%.

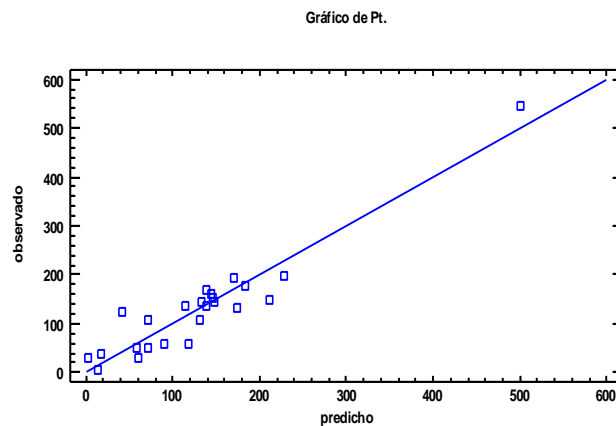
En los pasos dos al ocho se eliminaron, en orden secuencial, las variables IOS, Niño 1+2, Índice del Pacífico Occidental, Humedad relativa proveniente de la Amazonia, Niño 3,4, ONI y MEI; ocho indicadores más fueron eliminados y el valor de R²-ajustado en este punto del modelo es de 79,65%.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Pt. y 18 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned}
 \text{Pt.} = & 668,498 - 218,742 \cdot \text{TSM(N)} - 791,912 \cdot \text{TSM(S)} - 364,816 \cdot \text{Niño 3} + \\
 & 544,553 \cdot \text{Niño 4} + 39,1018 \cdot \text{Vientos a 850mb} - 25,8221 \cdot \text{Vientos a 200mb} - \\
 & 2397,34 \cdot \text{Nivel medio del mar en Tumaco} + 222,028 \cdot \text{TNI} - 60,553 \cdot \text{WHWP} - \\
 & 129,69 \cdot \text{PDO} - 17,6506 \cdot \text{QBO}
 \end{aligned}$$

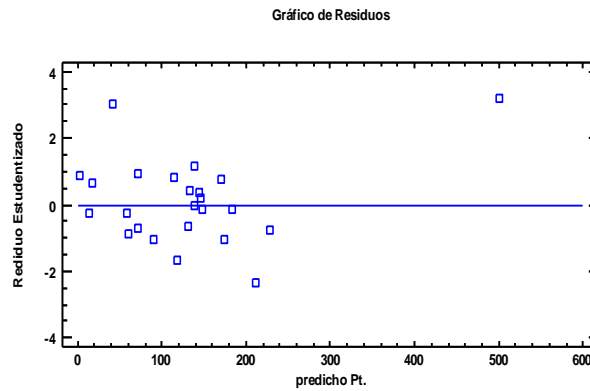
El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 89,3849% de la variabilidad en la precipitación. Es un valor realmente significativo y permite percibir la fiabilidad del modelo. El estadístico R-Cuadrado ajustado es 79,6544%. El error absoluto medio (MAE) de 27,3417 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) es de 2,6 y el valor-P es mayor que 0,05, es decir, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 96. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Bucaramanga



*Esta grafica muestra una buena relación de los indicadores con la precipitación y se comprueba la veracidad del modelo.

Figura 97. Gráfico del comportamiento de los residuos en el modelo para Cali



*La varianza de los residuos es homogénea, excepto por la presencia de un punto extremo que puede afectar el comportamiento de los residuos.

La observación general sobre el análisis de correlación múltiple con *Statgraphics* es muy positiva, ya que los modelos seleccionados para las 29 ciudades describen muy bien el comportamiento de la precipitación entre junio de 2009 y mayo de 2011, de acuerdo con los indicadores seleccionados. Solo cinco ciudades presentaron dificultades al momento de escoger los indicadores que más incidieron en la precipitación de estas zonas en los periodos comprendidos entre 2009 y 2011, ellas son: Manizales, Pereira, Cali, Popayán y Riohacha.

3.4 Tabla resumen

Esta tabla, como su nombre lo indica, presenta el resumen de resultados obtenidos por los tres métodos analizados (Correlación simple, SPSS y *Statgraphics*), el coeficiente de determinación del modelo final seleccionado (Por *Statgraphics*, ya sea en tiempo t o $t-1$) y el número de variables que fueron escogidas para cada ciudad. Para poder identificar de mejor manera las variables seleccionadas, la tabla resumen se divide por regiones así:

Tabla 30. Tabla resumen de la Región Caribe e Insular

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
CIUDADES	CORRELACIÓN SIMPLE	SPSS	STATGRAPHICS	R* (coef. correl. múltiple)	Nº INDICADORES UTILIZADOS
REGIÓN CARIBE					
BARRANQUILLA	TSM(atl.N) - HUMEDAD RELATIVA	TSM(atl.N)	TSM(N) - TSM(S) - ONI - NIÑO 1+2 - NIÑO 3 - VIENTOS 850MB - PROMEDIO T-500MB - MEI	77,03%	8/18
TALLEDUPAR	(-2 REZ. TSM(atl.S)) - (-2 REZ. NIÑO 1+2) - (-1 REZ. VIENTOS 200MB)	VIENTOS 850 MB	TSM(atl.S) - NIÑO 1+2 - NIÑO 4 - NIÑO 3.4 - TNI - WHWP - HUMEDAD RELATIVA	68,30%	7/18
SANTA MARTA	TSM(atl.S) - IOS - HUMEDAD RELATIVA - (-1 REZ. HUMEDAD RELATIVA)	IOS	NIÑO 3.4 - NIVEL MEDIO TUMACO - PDO	61,75%	3/18
MONTERIA	IOS - VIENTOS 850MB	VIENTOS 850 MB - MEI	TSM(N) - TSM(S) - ONI - NIÑO 1+2 - NIÑO 4 - NIVEL MEDIO TUMACO - TNI - WHWP - PDO - HUMEDAD RELATIVA	82,07%	11/18
CARTAGENA	IOS - TSM(atl.N) - VIENTOS 850 - NIÑO 1+2 - NIÑO 3 - NIÑO 3.4	SE ELIMINARON TODAS LAS VARIABLES	ONI - NIÑO 4 - NIÑO 3.4 - VIENTOS 850 - VIENTOS 200 - NIVEL MEDIO TUMACO - WHWP - QBO	68,78%	8/18
SINCELEJO	(-2 REZ. VIENTOS 850 Y 200MB)	TNI	TSM(S) - IOS - ONI - NIÑO 1+2 - NIÑO 4 - WHWP - QBO	66,56%	7/18
RIOHACHA	ONI - NIÑO 3 - NIÑO 3.4 - MEI	NIÑO 1+2	ONI - NIÑO 3	55,14%	2/18
REGIÓN INSULAR					
SAN ANDRES	NIÑO 3	MEI	TSM(N) - IOS - NIÑO 3 - NIÑO 3.4 - VIENTOS 200MB - NIVEL MEDIO TUMACO - TNI - PDO - MEI - QBO	86,94%	10/18

Elaboración: Propia

Cabe aclarar que el modelo final seleccionado corresponde al resultado dado por el programa estadístico *Statgraphics*, ya que es más robusto y los indicadores seleccionados se ven “claramente” influyentes en la variabilidad climática de nuestro país.

La región Caribe e Insular tiene presente los indicadores IOS y ONI en el modelo final de siete ciudades, es decir, influye en la variabilidad climática del 87,5% de la región; le sigue la variable de TSM en la región Niño 4 y la TSM en el Atlántico Sur, con una influencia del 75% en la zona. En general, siete ciudades de ocho, presentan un modelo confiable, con coeficientes de correlación por encima del 60%.

Tabla 31. Tabla resumen de la Región Andina

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
CIUDADES	CORRELACIÓN SIMPLE	SPSS	STATGRAPHICS	R ² (coef. correl.m. múltiple)	Nº. INDICADORES UTILIZADOS EN EL
REGIÓN ANDINA					
BOGOTÁ	IOS - TNI - INDICE PACIFICO OCCIDENTAL	IOS - INDICE DE PACIFICO OCCIDENTAL	IOS - ONI - NIÑO 3 - TNI - WHWP	74,60%	5 / 18
MEDELLÍN	IOS, ONI - NIÑO 3 - NIÑO 3,4 - PROMEDIO T - TNI - MEI	IOS	IOS - NIÑO 3,4 - VIENTOS 200MB - NIVEL MEDIO TUMACO - PDO	70,30%	5 / 18
TUNJA	TNI - HUMEDAD RELATIVA (-2 Rez. IOS) - (-2 Rez. Vientar 850)	IOS	TSM(N) - IOS - NIÑO 3,4 - VIENTOS 200MB - NIVEL MEDIO DEL MAR - PROMEDIO T - PDO	71,78%	7 / 18
MANIZALES	NIÑO 3 - NIVEL MEDIO TUMACO - PROMEDIO T 500MB - QBO	Promedio Temperatura 500mb - TSM(N)	TNI	34,80%	1 / 18
ARMENIA	ONI - NIÑO 3,4 - (-2 REZ. TSM(atl.N)) - (-1 REZ. WHWP) - (-1 REZ. HUMEDAD RELATIVA)	NIÑO 3,4	TSM(N) - TSM(S) - IOS - ONI - NIVEL MEDIO DEL MAR - QBO	84,20%	6 / 18
PEREIRA	IOS - (-1 REZ. HUMEDAD RELATIVA)	IOS	TNI	33,25%	1 / 18
BUCARAMANGA	ONI - TNI - PDO - (-2 REZ. ONI) - (-2 REZ. IOS) - (-2 REZ. NIÑO 1+2/NIÑO 3/NIÑO 3,4) - (-2 REZ. MEI)	PDO	TSM(atl.N) - TSM(atl.S) - NIÑO 3 - NIÑO 4 - VIENTOS 850MB - VIENTOS 200MB - NIVEL MEDIO TUMACO - TNI - WHWP - PDO - QBO	89,38%	11 / 18
MEIVÁ	PROMEDIO T 500MB - QBO - (-1 REZ (TSM(atl.S)/IOS/VIENTOS 850 Y 200))	INDICE PACIFICO OCCIDENTAL	TSM(N) - NIÑO 3 - NIÑO 3,4 - VIENTOS 200MB	60,90%	4 / 18
IBAGUÉ	IOS - TNI - (-2 REZ. NIÑO 1+2) - (-2 REZ. NIÑO 3)	IOS	TSM(N) - IOS - ONI - NIÑO 3 - VIENTOS 850MB - PROMEDIO DET - PDO - MEI - QBO	75,42%	9 / 18
CUCUTÁ	ONI - IOS - NIÑO 3 - NIÑO 3,4 - TNI - PDO - MEI - (-1 REZ. VIENTOS 850 Y 200MB) - (-2 REZ. NIÑO	NIÑO 4	TSM(N) - IOS - ONI - NIÑO 4 - PROMEDIO T 500MB - MEI - HUMEDAD RELATIVA	87,97%	7 / 18

Elaboración: Propia

Para la región Andina, Bucaramanga es la ciudad con mejor modelo de regresión, exponiendo como resultado del coeficiente de determinación un porcentaje de 89,38. El indicador con mayor presencia en las 10 ciudades es el IOS con 50% de representación. Le sigue la región Niño 3,4 con una influencia del 40% en la zona. Claramente, se puede observar que entre más variables tenga el modelo, mejor es el coeficiente de determinación. Ocho de las diez ciudades presentan modelos confiables, con coeficientes mayores al 60%.

Tabla 32. Tabla resumen de la Región Pacífica

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
CIUDADES	CORRELACIÓN SIMPLE	SPSS	STATGRAPHICS	R ² (coef.correl.múltiple)	No. INDICADORES UTILIZADOS
REGIÓN PACÍFICA					
CALI	NIÑO 1+2 - NIÑO 3 - NIÑO 3.4 - (-1 REZ. VIENTOS 850)	NIÑO 3.4	TNI	22,56%	1/18
QUIBDO	VIENTOS 850MB - VIENTOS 200MB	SE ELIMINARON TODAS LAS VARIABLES	PROMEDIO DE T - 500MB - TNI - WHWP - MEI - QBO	47,10%	5/18
POPAYAN	TSM(atl.S)	MEI	PROMEDIO DE T - MEI - QBO	55,39%	3/18
PASTO	PROMEDIO T - (-2 REZ. TSM(atl.N))	INDICE PACIFICO OCCIDENTAL - NIÑO 3.4	IOS	21,33%	1/18

Elaboración: Propia

El TNI, el QBO y MEI son los indicadores que más influyen en la variabilidad climática de la región Pacífica. De las cuatro ciudades, una presentó un modelo significativo, es decir, tuvo un valor de correlación por encima del 50%.

Tabla 33. Tabla resumen de la Región Amazónica

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
CIUDADES	CORRELACIÓN SIMPLE	SPSS	STATGRAPHICS	R ² (coef.correl.múltiple)	No. INDICADORES UTILIZADOS
REGIÓN AMAZONICA					
LETICIA	(-2 REZ. TSM(atl.N)) - (-2 REZ. INDICE PACIFICO OCCIDENTAL)	SE ELIMINARON TODAS LAS VARIABLES	NIÑO 3 - NIVEL MEDIO TUMACO - TNI - HUMEDAD RELATIVA	53,27%	5/18
FLORENCIA	(-2 REZ. TNI) - (-2 REZ. WHWP)	TSM(atl.N)	IOS - NIÑO 4 - NIÑO 3.4 - VIENTOS 850MB - VIENTOS 200MB - NIVEL MEDIO TUMACO - PROMEDIO DE T - WHWP - MEI - HUMEDAD RELATIVA - QBO	92,41%	11/18
MOCOA	TSM(atl.N) - (-2 REZ. TSM(atl.S))	SE ELIMINARON TODAS LAS	NIÑO 1+2 - NIÑO 3 - PDO - MEI	48,70%	4/18

Elaboración: Propia

El 33% de la región presenta un modelo de regresión confiable. Florencia es la única ciudad que tiene un coeficiente de determinación mayor del 80%, lo que indica una relación fuerte entre la precipitación y los indicadores seleccionados. La humedad relativa proveniente de la Amazonia, el Promedio de Temperatura a 500mb, el TNI y MEI son los indicadores con mayor influencia en la variabilidad climática de la región amazónica.

Tabla 34. Tabla resumen de la Región de la Orinoquía

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
CIUDADES	CORRELACIÓN SIMPLE	SPSS	STATGRAPHICS	R ² (coef. correl. múltiple)	No. INDICADORES UTILIZADOS
REGIÓN ORONOQUIA					
ARAUCA	PROMEDIO T - WHWP - HUMEDAD RELATIVA - (-1 REZ. VIENTOS 200MB) - (-2 REZ. TNI) - (-1 REZ. WHWP) - (-1 REZ. HUMEDAD RELATIVA)	NIVEL MEDIO DEL MAR EN TUMACO	TSM(atl.S) - ONI - NIÑO 4 - WHWP - QBO	73,73%	5/18
YOPAL	PROMEDIO T - WHWP - HUMEDAD RELATIVA	SE ELIMINARON TODAS LAS VARIABLES	TSM(N) - ONI - NIÑO 4 - PROMEDIO DE T	42%	4/18
PTO. CARREÑO	(-2 REZ. TSM(atl.S))	TSM(atl.N)	TSM(S) - NIÑO 3 - VIENTOS 850MB - NIVEL MEDIO TUMACO - PROMEDIO DE T 500MB - TNI - WHWP - PDO - MEI - QBO	79,23%	10/18
VILLAVICENCIO	TSM(atl.S)	NIVEL MEDIO DEL MAR EN TUMACO	ONI - MEI	43,45%	2/18

Elaboración: Propia

Puerto Carreño y Arauca son las ciudades con mejor coeficiente de determinación; su valor supera el 70%; Villavicencio y Yopal presentan una relación leve entre la precipitación y los indicadores seleccionados, cada una de ellas tiene un R-cuadrado mayor al 40%.

El Niño 4, ONI, IOS, Nivel medio del Mar en Tumaco y el Promedio de T° a 500mb son los indicadores que más presencia tienen en la explicación de la variabilidad climática en esta región.

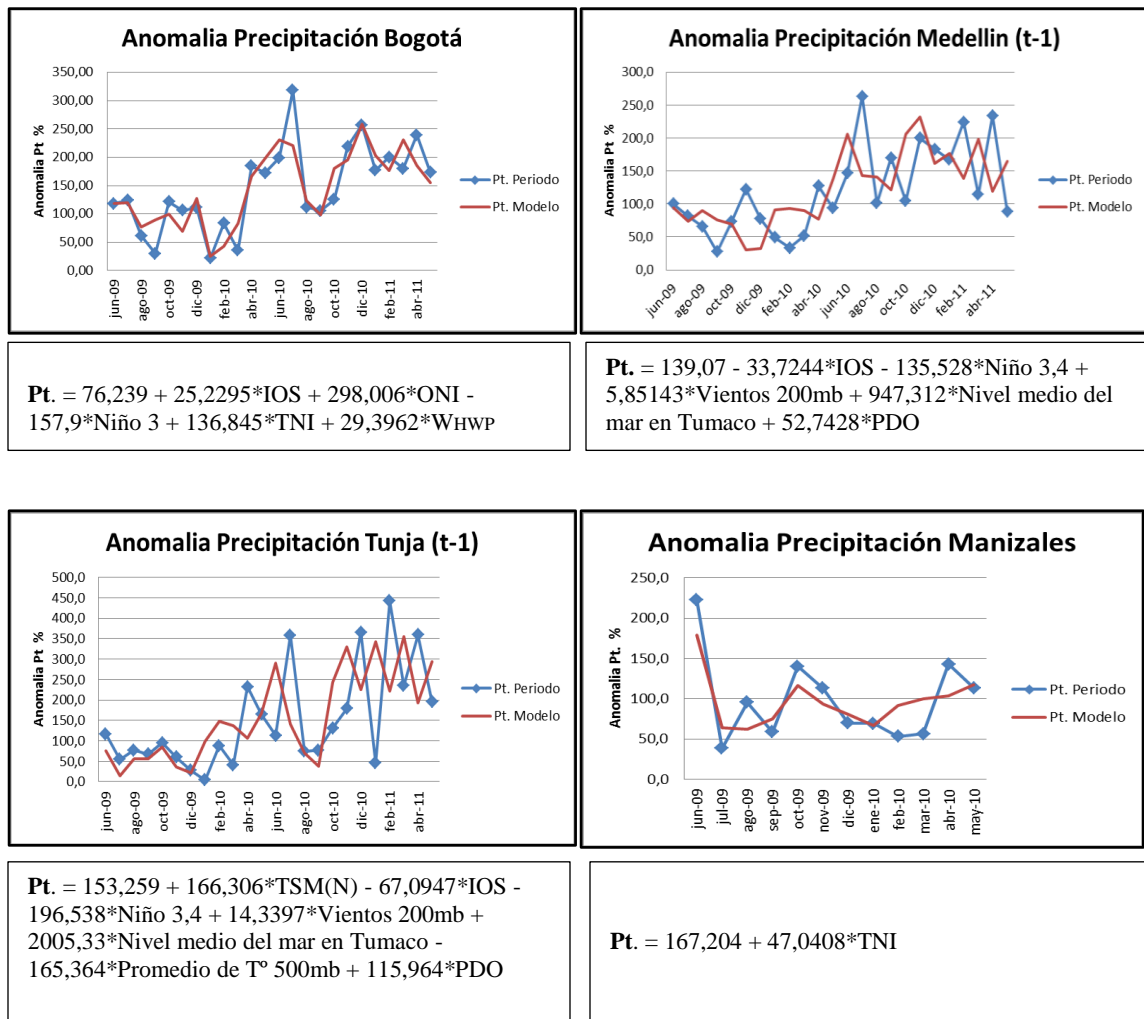
3.5 Validación del modelo

La validación del modelo permite comprobar la fiabilidad del mismo; es decir, verificar la diferencia entre los resultados arrojados por el modelo (ecuación ajustada) y los datos de salida reales (precipitación registrada por periodo). Esta validación se puede observar fácilmente en graficas de líneas de comparación; de

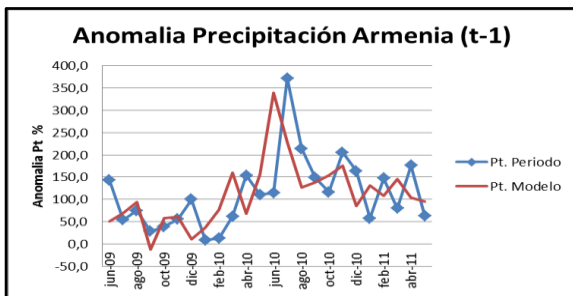
esta forma se puede verificar si el comportamiento es similar o no, y si realmente los indicadores seleccionados son los correctos y explican la variable de precipitación. Solo así se puede identificar finalmente si los indicadores seleccionados son los más representativos en la ocurrencia del evento de La Niña ocurrido entre 2010 y 2011 en Colombia.

A continuación se presentan las gráficas de validación del modelo para cada una de las 29 ciudades analizadas. La línea azul representa la precipitación real registrada para cada periodo (mes a mes) y la línea roja representa los datos del modelo final seleccionado (ecuación):

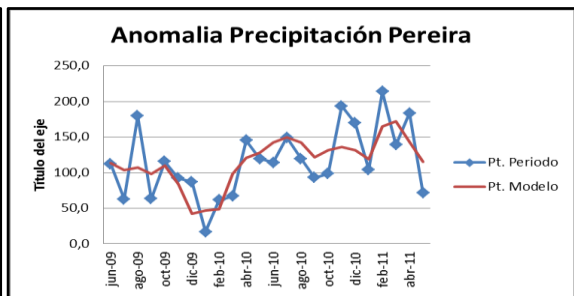
Figura 98. Validación del modelo para la Región Andina



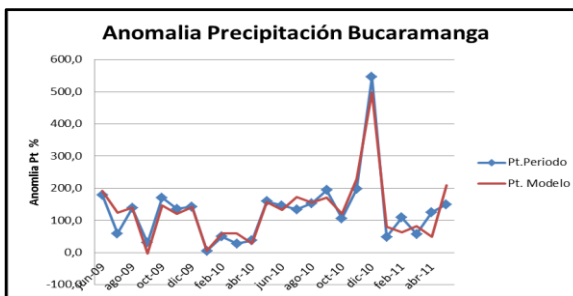
Elaboración: Propia



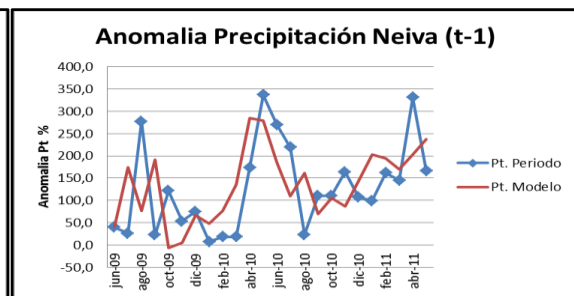
$$Pt. = 12,6205 + 84,5322 * TSM(N) + 124,569 * TSM(S) - 47,5827 * IOS - 219,47 * ONI + 1142,95 * \text{Nivel medio del mar en Tumaco} - 7,35029 * QBO$$



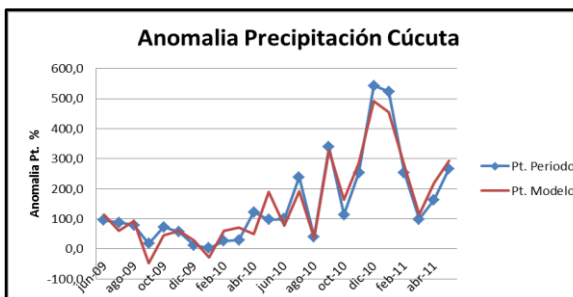
$$Pt. = 120,034 + 19,188 * TNI$$



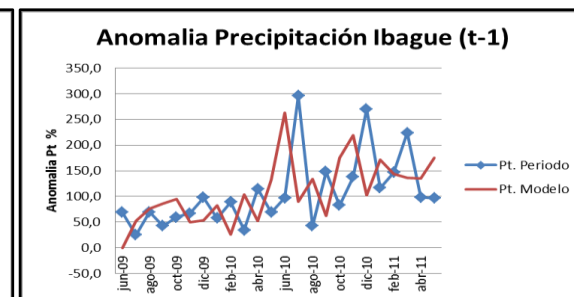
$$Pt. = 668,498 - 218,742 * TSM(N) - 791,912 * TSM(S) - 364,816 * \text{Niño 3} + 544,553 * \text{Niño 4} + 39,1018 * \text{Vientos 850mb} - 25,8221 * \text{Vientos 200mb} - 2397,34 * \text{Nivel medio del mar EN Tumaco} + 222,028 * TNI - 60,553 * WHWP - 129,69 * PDO - 17,6506 * QBO$$



$$Pt. = 14,904 + 130,815 * TSM(N) + 212,671 * \text{Niño 3} - 142,088 * \text{Niño 3,4} + 15,2194 * \text{Vientos 200mb}$$



$$Pt. = 65,6833 + 206,907 * TSM(N) + 47,8201 * IOS + 392,425 * ONI - 471,319 * \text{Niño 4} - 353,119 * \text{Promedio de T° 500mb} + 103,739 * MEI - 7,37237 * \text{Humedad relativa de la Amazonia 700mb}$$

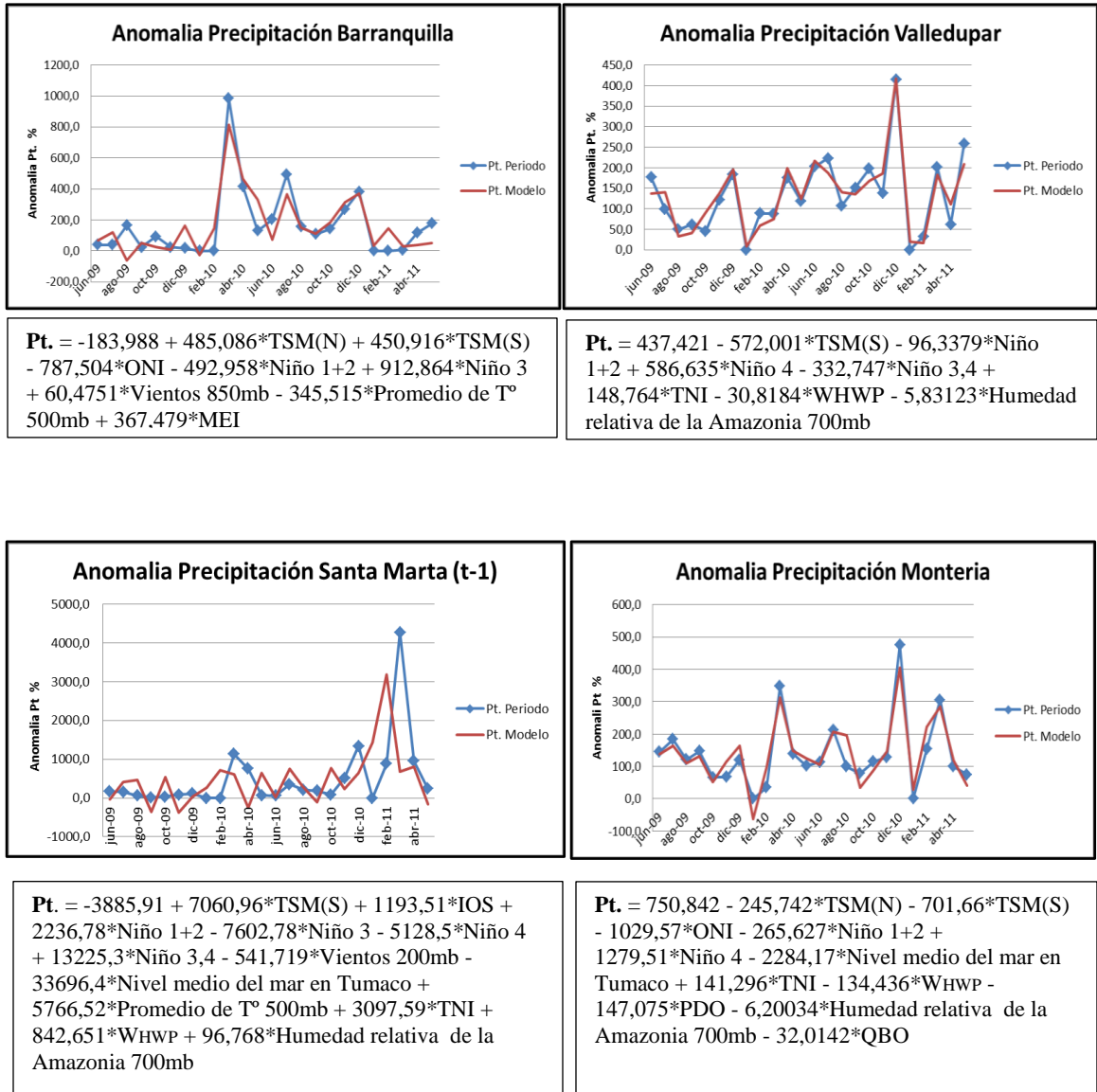


$$Pt. = 133,727 + 134,307 * TSM(N) - 75,1141 * IOS - 168,755 * ONI + 176,149 * \text{Niño 3} + 37,5306 * \text{Vientos 850mb} - 177,88 * \text{Promedio de T° 500mb} + 69,9118 * PDO - 120,619 * MEI - 4,93617 * QBO$$

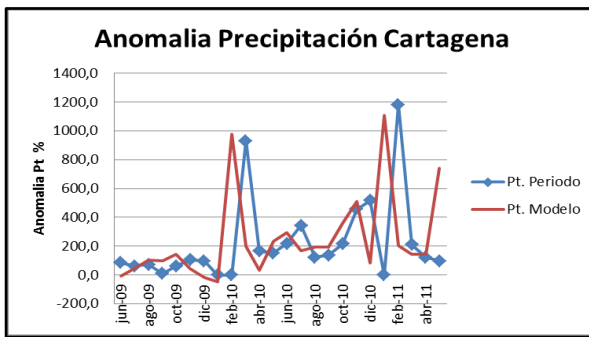
Elaboración: Propia

*Para la región Andina, todas las ciudades comprueban que los indicadores seleccionados sí podrían explicar la variable de precipitación entre 2009 y 2011.

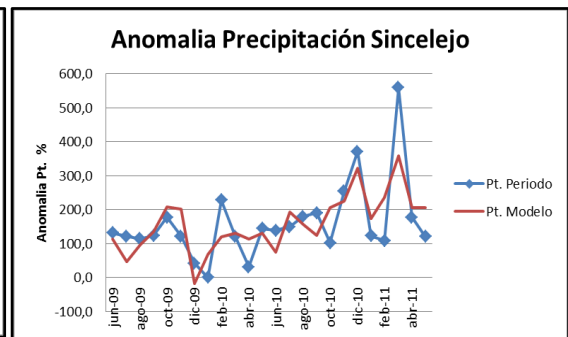
Figura 99. Validación del modelo para la Región Caribe e Insular



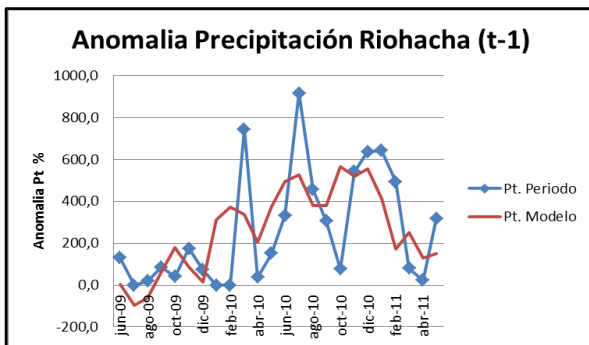
Elaboración: Propia



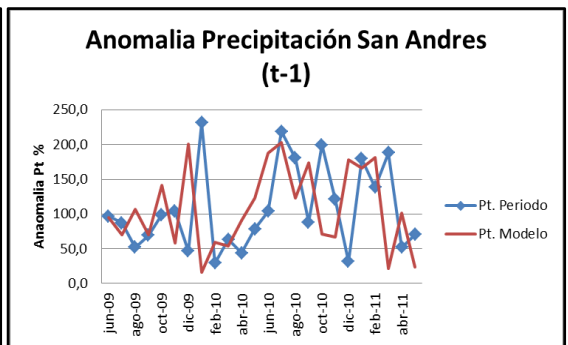
$$Pt. = -273,6 + 839,079 * TSM(N) - 134,156 * IOS - 1167,69 * Niño\ 4 - 196,069 * Vientos\ 850mb + 69,372 * Vientos\ 200mb + 5375,89 * Nivel\ medio\ del\ mar\ en\ Tumaco - 220,465 * TNI + 384,869 * MEI + 8,56145 * Humedad\ relativa\ de\ la\ Amazonia\ 700mb$$



$$Pt. = 693,729 - 742,732 * TSM(S) - 55,9082 * IOS - 1149,8 * ONI - 124,876 * Niño\ 1+2 + 1005,54 * Niño\ 4 - 114,382 * WHWP - 20,7813 * QBO$$



$$Pt. = 232,545 + 403,314 * ONI - 564,434 * Niño\ 3$$

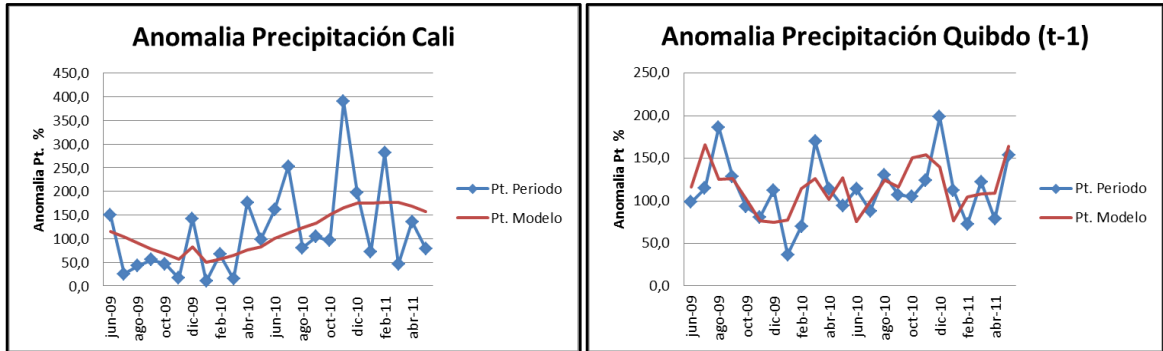


$$Pt. = 143,586 - 107,883 * TSM(N) + 57,9517 * IOS - 248,168 * Niño\ 3 + 477,042 * Niño\ 3,4 - 24,0695 * Vientos\ 200mb - 2863,88 * Nivel\ medio\ del\ mar\ en\ Tumaco + 156,184 * TNI - 71,1598 * PDO - 99,7365 * MEI - 15,5677 * OBO$$

Elaboración: Propia

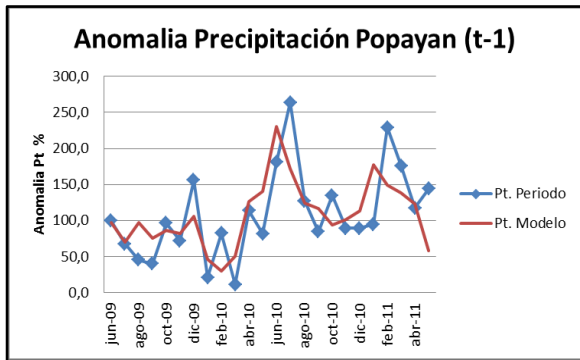
*Visualmente, la única ciudad que demuestra que los indicadores seleccionados no se relacionan fuertemente con la variable precipitación, es Riohacha. Para las demás ciudades se ve un modelo confiable.

Figura 100. Validación del modelo para la Región Pacífica

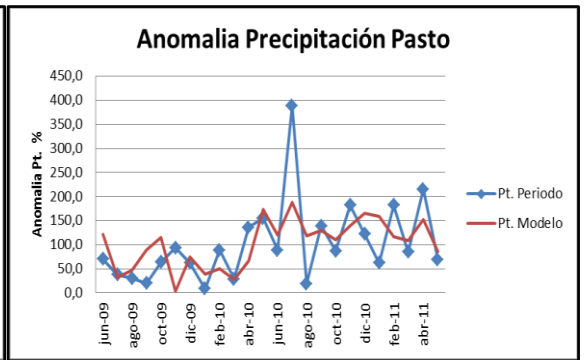


$$Pt. = 121,357 + 30,3445 * TNI$$

$$Pt. = 91,9087 + 134,914 * \text{Promedio de } T^{\circ} 500\text{mb} + 48,0152 * TNI + 9,97349 * W_{HWP} + 53,0293 * MEI + 4,51865 * QBO$$



$$Pt. = 100,361 - 128,724 * \text{Promedio de } T^{\circ} 500\text{mb} - 55,6191 * MEI - 7,23161 * QBO$$

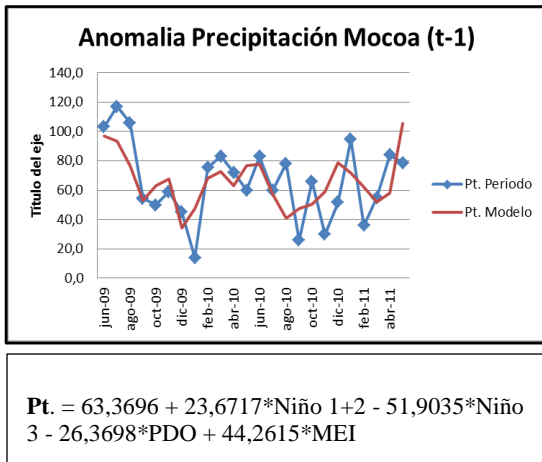
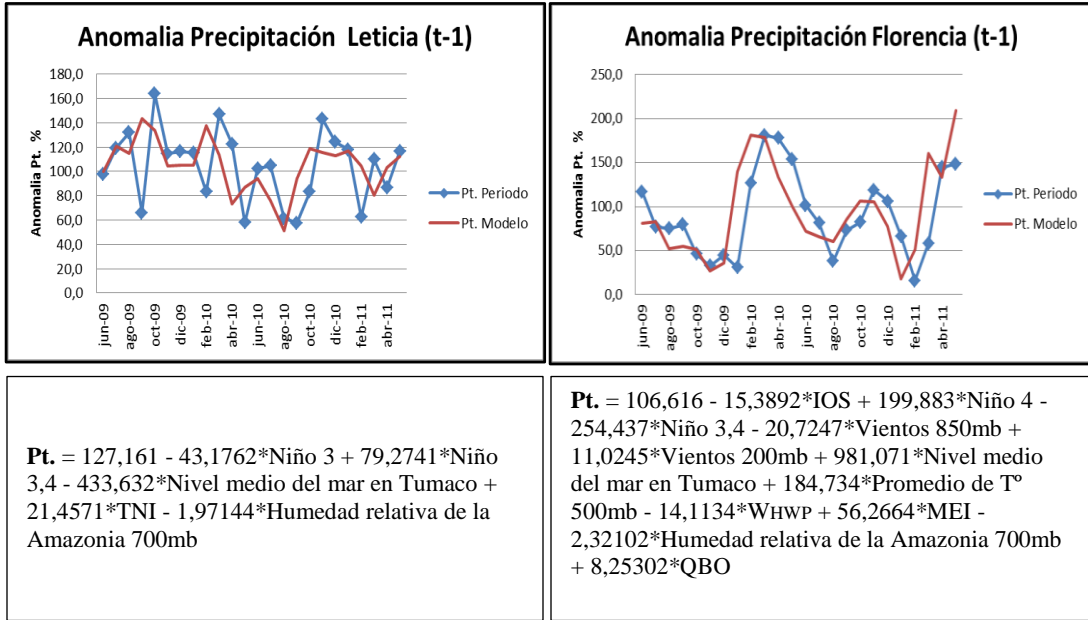


$$Pt. = 79,0857 + 17,2876 * IOS$$

Elaboración: Propia

*Los indicadores océano-atmosféricos seleccionados para la ciudad de Cali no explican fuertemente la variable de precipitación, entonces el modelo no es significativo. La ciudad de Pasto, según la gráfica de líneas, se relaciona de manera parcial con la precipitación.

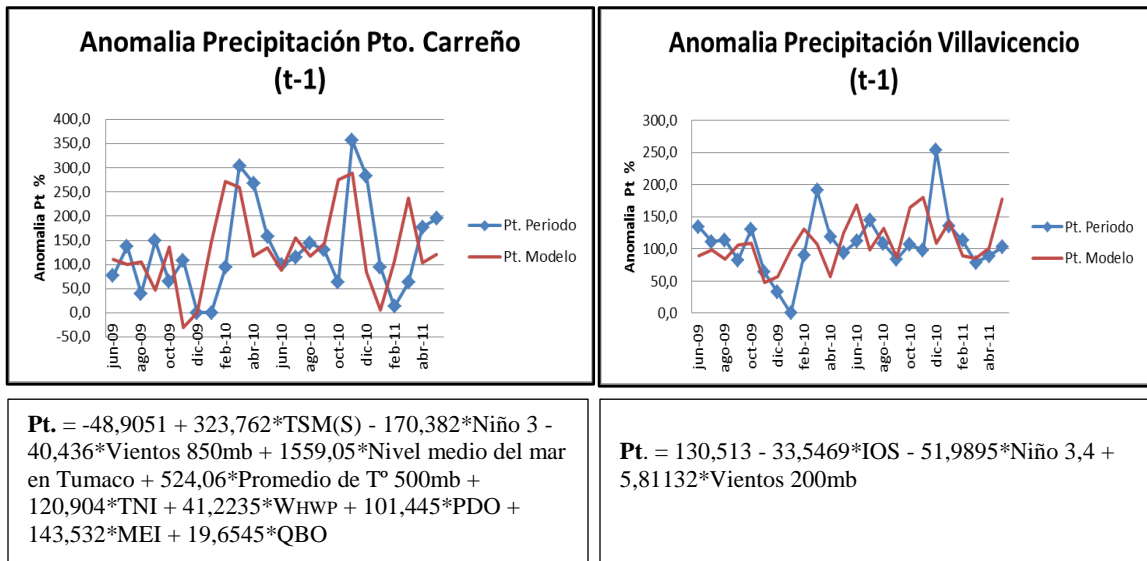
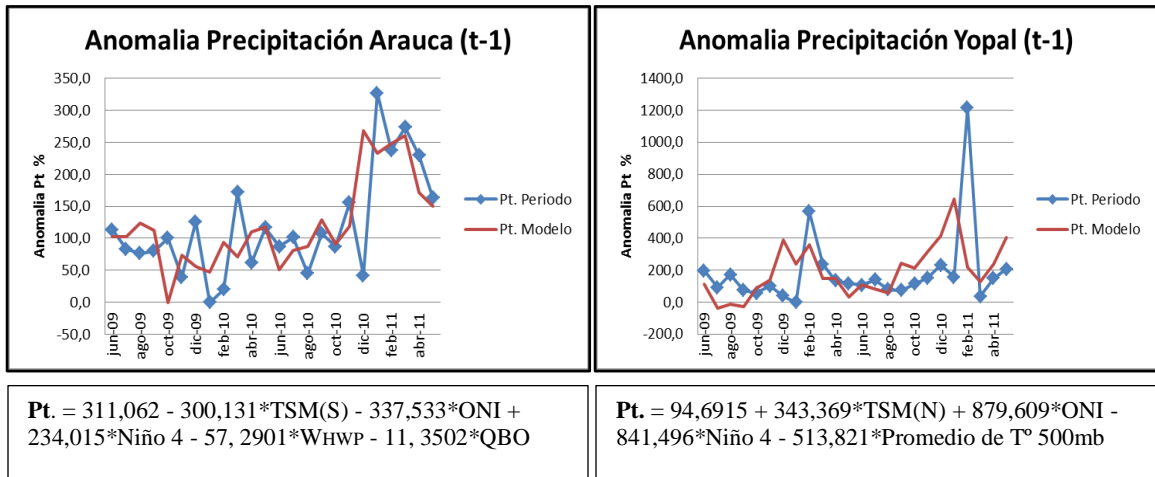
Figura 101. Validación del modelo para la Región Amazónica



*Elaboración: Propia

* Florencia, Leticia y Mocoa demuestran que el modelo seleccionado cumple los parámetros de verificación.

Figura 102. Validación del modelo para la Región de la Orinoquía

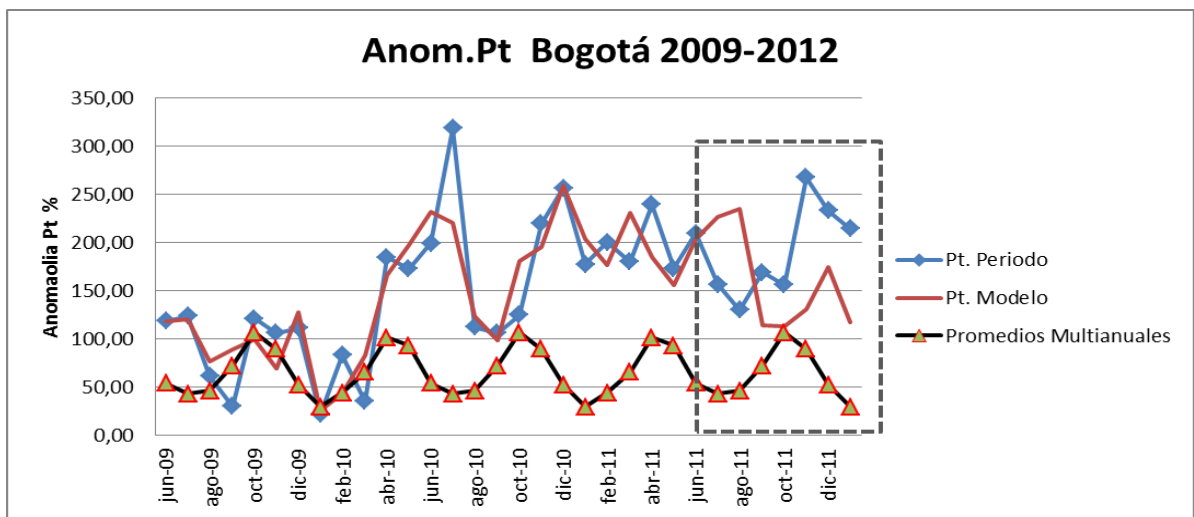


Elaboración: Propia

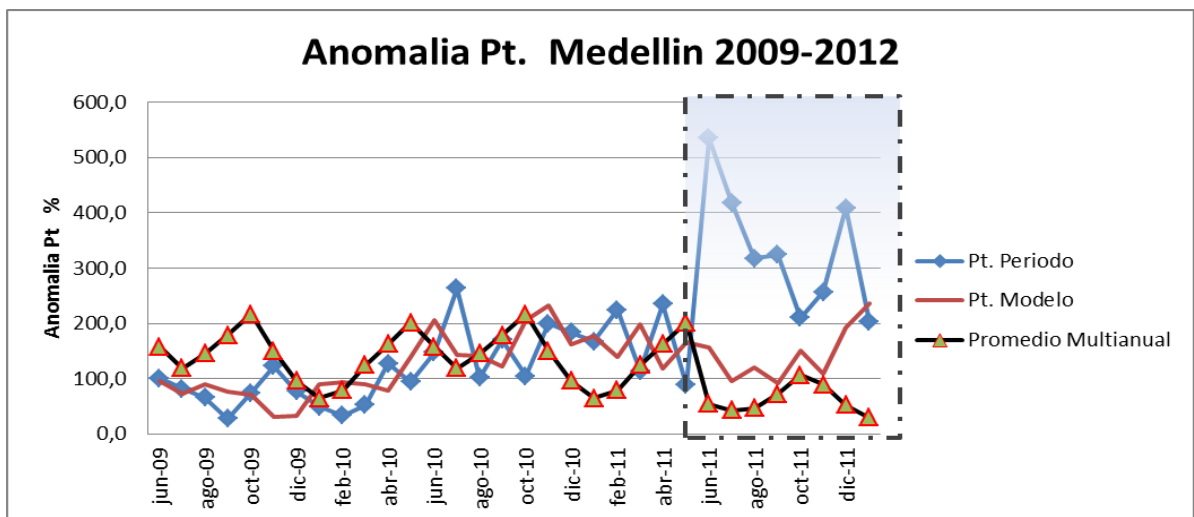
*Para las cuatro ciudades se puede observar un comportamiento parecido entre la línea de precipitación real y la línea dada por la ecuación ajustada del modelo, lo que puede indicar que los indicadores seleccionados para estas ciudades pueden haber incidido en la precipitación y la ocurrencia del evento de La Niña entre el 2010-2011.

Para verificar que los indicadores seleccionados son realmente influyentes en la precipitación de Colombia, y no solo representan de forma *clara* el evento de La Niña ocurrido entre enero de 2010 y mayo de 2011, se presenta la comprobación del modelo para las ciudades de Bogotá, Medellín, San Andrés y Cúcuta entre junio de 2009 y enero de 2012.

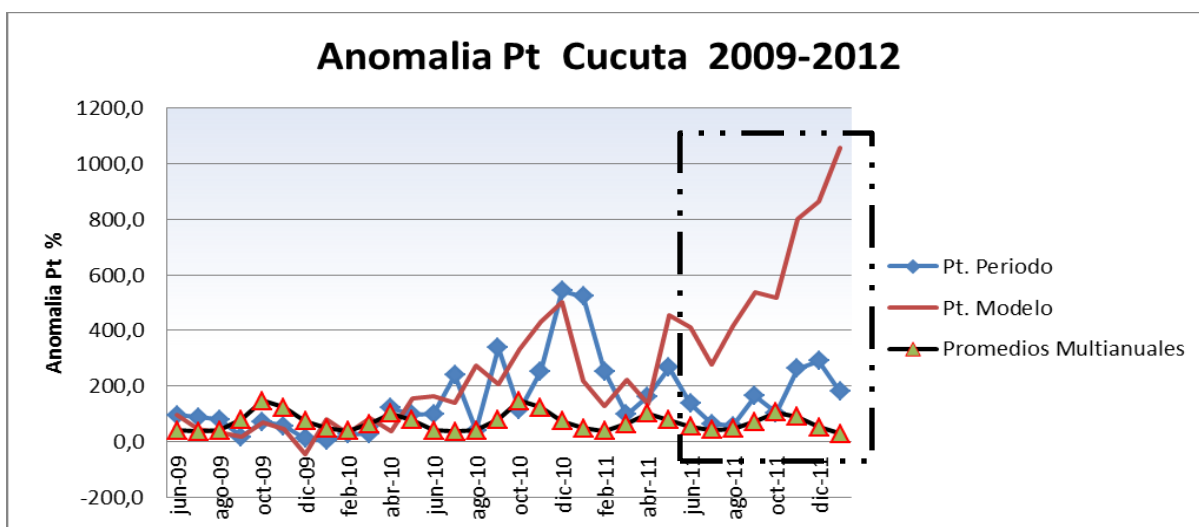
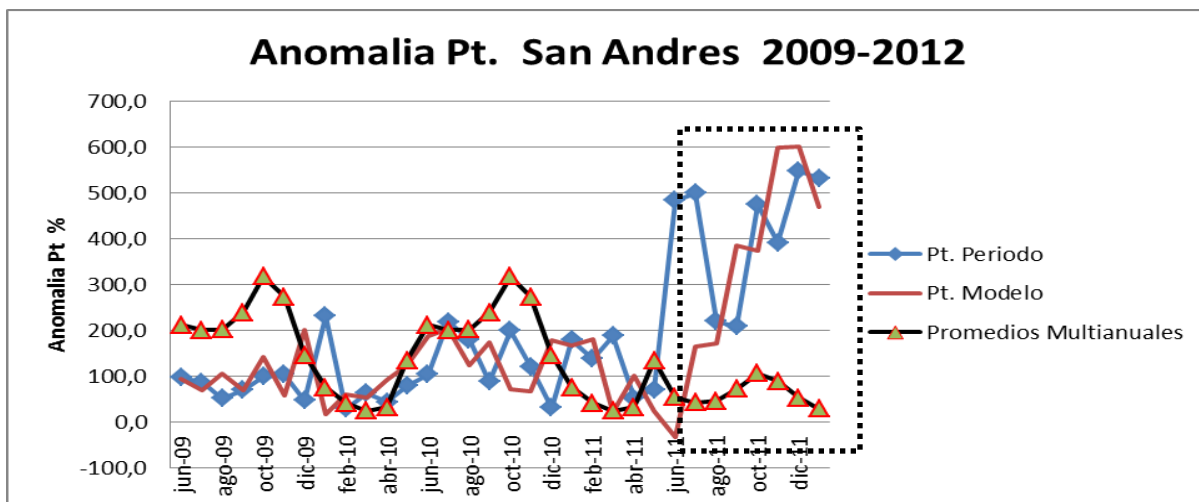
Figura 103. Comprobación del modelo para Bogotá, Medellín, San Andrés y Cúcuta meses después de la ocurrencia de La Niña



Elaboración: Propia



Elaboración: Propia



Elaboración: Propia

*La comprobación del modelo para estas ciudades, en un periodo comprendido entre junio de 2009 y enero de 2012, corrobora la relación fuerte que tienen los indicadores océano-atmosféricos seleccionados y la precipitación en estas zonas, no solo en la ocurrencia del fenómeno de La Niña entre 2010 y mayo de 2011, sino también en los últimos meses del presente año. Comparado con la gráfica de promedios multianuales, se puede inferir que el modelo siempre mostró una tendencia a estar por encima, como sucedió realmente, lo que quiere decir que este modelo podría ser utilizado como modelo de predicción climática. Es importante resaltar que la serie de indicadores utilizados para cada una de las ciudades es susceptible de variaciones futuras, en la medida que se continúe con la implementación del modelo.

4. COMPLEMENTARIOS

4.1 Listado de indicadores océano-atmosféricos

En la siguiente tabla se presentan los indicadores océano-atmosféricos analizados, con su respectivo link, donde se puede actualizar cada uno de sus datos de anomalías a medida que pase el tiempo:

Indicadores	Página web de actualización de datos
TSM (Atlántico Norte y Sur)	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices
IOS	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/soi.data
ONI	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/en_sostuff/ensoyears.shtml
Regiones de El Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, Niño 3,4)	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
Vientos 850mb	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/cpac850
Vientos 200mb	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/zwnd200
Nivel medio del mar en Tumaco	Base de datos proporcionada por la Subdirección de Meteorología del IDEAM
Promedio de T° 500mb	http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/z500t
TNI	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/tni.data
WHWP	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/whwp.data
PDO	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/pdo.data
MEI	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei.data
Humedad relativa (0, -15) (-45, -65)	http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries.pl?ntype=1&var=Relative+Humidity+%28up+to+300mb+only%29&level=700&lat1=0&lat2=-15&lon1=-45&lon2=-65&iseas=0&mon1=0&mon2=11&iarea=0&typeout=1&Submit=Create+Timeseries
QBO	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/qbo.data

*Elaboración: Propia

4.2 Información adicional

Los archivos operacionales (documentos adicionales) se encuentran en archivos Excel (Validación de todas las ciudades, tablas de indicadores, etc.) y sus nombres son: Validación del modelo, Tabla resumen final y Tabla de indicadores.

5. CONCLUSIONES

En síntesis, se presentan las conclusiones de mayor trascendencia obtenidas del análisis de la influencia de los indicadores océano-atmosféricos en la variabilidad de la precipitación y la ocurrencia de un evento de La Niña en Colombia durante junio de 2010 y mayo de 2011.

- Mediante análisis estadísticos de tipo exploratorio y multivariado, se confirman los planteamientos teóricos sobre la relación de los procesos de interacción océano-atmosférica y la variabilidad climática.
- Los análisis de correlación simple no exponen directamente la relación entre la precipitación y cada uno de los indicadores océano-atmosféricos; se necesita un análisis compuesto o múltiple para que se puedan apreciar estas relaciones; esto, indica que la variabilidad climática se ve afectada por muchos factores de interacción océano-atmósfera y no solo por una variable.
- El análisis de correlación múltiple por el programa *Statgraphics* puede constituir una buena metodología para el análisis de la variabilidad de la precipitación en Colombia, en un periodo determinado, ya que escoge variables que se acercan o que pueden llegar a explicar el evento ocurrido.
- En la fase de asociación entre las variables explicativas (indicadores) y la variable explicada (precipitación), quedó clara la no-linealidad en las relaciones existentes entre estas variables.
- Los indicadores seleccionados como representativos para cada una de las 29 ciudades, pueden ayudar al estudio de la precipitación en eventos futuros de La Niña y de El Niño, cuando presentan un coeficiente de determinación mayor al 60%.
- La metodología establecida para el presente proyecto, identifica los indicadores océano-atmosféricos que tuvieron mayor incidencia en la ocurrencia del evento La Niña 2010-2011; teniendo en cuenta el resultado de la parametrización estadística en los diferentes modelos establecidos para la estimación de la precipitación, dicha metodología, puede ser extrapolada o servir de base para la investigación de otros eventos (El Niño/La Niña) en el país. Sin embargo, es importante mencionar que la metodología debe estar terminada para que pueda ser utilizada en la prevención del riesgo.

- Las series de indicadores seleccionadas para cada una de las 29 ciudades capitales, deben ser evaluadas con los valores de los indicadores más recientes, para verificar si son susceptibles de variaciones, en la medida que se continúe con la implementación del modelo estadístico.
- El modelo seleccionado por Statgraphics representa un modelo de estimación, por lo que siempre habrá diferencias entre lo real y lo estimado.
- El comportamiento de la precipitación en la región Caribe está muy influenciado por la variabilidad interanual de los procesos de interacción entre el océano y la atmósfera del océano Pacífico Tropical, como lo son: el Índice Oceánico de El Niño (ONI), TSM en las regiones Niño 4 y Niño 3,4, Nivel medio del mar en Tumaco y la Temperatura Superficial del Mar en el Atlántico Sur.
- El comportamiento mensual de la precipitación en la Orinoquía y la Amazonia aparece muy bien asociado con la variabilidad del ONI, con la Humedad relativa proveniente de la Amazonia a 700mb y con la región Niño 3.
- Las lluvias de la región Andina presentan un buen grado de asociación con los indicadores correspondientes al IOS, TNI y la región Niño 3,4.
- El comportamiento de la precipitación en la región Pacífica presentó asociaciones fuertes con la variabilidad interanual del TNI, QBO y MEI.
- El comportamiento del patrón pluviométrico de Colombia está muy influenciado por la variabilidad interanual de los indicadores océano-atmosféricos del océano Pacífico Tropical, y, en menor grado, por los del océano Atlántico Sur y Atlántico Norte.
- La Oscilación Decadal del Pacífico y la Oscilación Cuasi-bienal solo insinúan algún tipo de asociación con el comportamiento de las lluvias en el país; las más notorias corresponden a las observadas en las precipitaciones de Valledupar, Montería, Manizales, Bucaramanga, Villavicencio y San Andrés.
- En promedio, 10 de las 29 ciudades analizadas presentan como indicadores más representativos en la ocurrencia de un evento de La Niña en el país, al ONI, Promedio de Temperatura a 500mb, TNI, TSM(S), TSM(N), IOS, Niño 3, Niño 3,4, WHWP, Niño 4, MEI, Vientos 850mb, Niño 1+2 y QBO. Es decir, el 60% de las ciudades analizadas se ven relacionadas fuertemente con estos indicadores y se presentan “claramente” influyentes en la variabilidad climática de Colombia.

- Para estudios y proyectos relacionados con la prevención del riesgo, la metodología planteada para proyectar la variabilidad climática en determinada zona del país, podrá ser un insumo básico a fin de mitigar y/prevenir posibles efectos catastróficos relacionados con amenazas hidrometeorológicas. Es importante señalar que la variabilidad climática es cambiante a través del tiempo y del espacio, por lo cual, es importante realizar este ejercicio, previo a la ocurrencia de un evento ENSO (lógicamente teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia), tomando los indicadores océano-atmosféricos de mayor representatividad en el comportamiento reciente de las lluvias al momento de su aplicación. Por lo anterior, el trabajo desarrollado, es una buena herramienta con fines de predicción.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AYLON TORRES, T. Elementos de meteorología y climatología. Ed Trillas. México, 2003. ISBN 968246725X.
- AMADOR, J.A; ALFARO, E. La oscilación cuasi-bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y estratosféricos sobre Costa Rica. San José, Costa Rica, 1996. [en línea]. EN: Centro de investigaciones geográficas y escuela de física, Universidad de Costa Rica. Disponible en: <desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc8710/doc8710-contenido.pdf>
- BERNAL, G; POVEDA, G; ROLDÁN, P; ANDRADE, C. Ciencias de la Tierra. Patrones de Variabilidad de las Temperaturas Superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana. Rev.acad.Colomb. Cienc.30 (115):195-208. 2006, ISSN 0370-3908.
- BIBLIOTECA VIRTUAL PARA ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE DESASTRES. Por Encima de la Tierra. El Niño y La Niña. Perú. Pag.151. [en línea]. [citado 4 diciembre 2011]. Disponible en: <bvpad.indeci.gob.pe/html/home>
- CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL CARIBE. CIOH- ESCUELA NAVAL “ALMIRANTE PADILLA”. Circulación General de la Atmosfera en Colombia. BICENTENARIO de la independencia de Colombia 1810-2010. [Boletín informativo en línea]. [citado 4 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.Cioh.org.co/meteorología/climatología/01-infoGeneralClimatCaribeCol.pdf>
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA. CICESE. El Niño. Glosario de Términos, 1999. [en línea]. [citado 2 enero de 2012]. Disponible en: <elniño.cicese.mx/golsario.htm.>

- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDUIS CLIMATICOS. Brasil. El Niño e La Niña. [Animaciones]. Recuperado de: <enos.cptec.inpe.br>
- COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO. Generalidades sobre el Fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación Sur). [Documento consecutivo en línea]. [citado 15 diciembre de 2011]. Disponible en: www.occ.gov.co/fnino.htm#ocho
- CLIMATE PREDICTION CENTER TEAM. National Weather Service. West Pacific. Estados Unidos, 2012 last modified. [en línea]. [citado 16 enero 2012]. Disponible en: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>
- CUANDO CALIENTA EL SOL. En: Especiales Revista Semana, 1992. Bogotá DC. Ed 530 [En Línea]. [citado 20 noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.semana.com/especiales/cuando-calienta-sol/50176-3.aspx>.
- DEFENSA CIVIL COLOMBIANA. Junta portal las mercedes. Bogotá DC, 2011. [en línea]. [citado 4 diciembre de 2011]. Disponible en: <jcdportalmercedes.blogspot.com> www.defensacivil.gov.co.
- DONN WILLIAM, L. Meteorología. Ed. Reverté. Publicación, 1983. Pp. 610. ISBN 8429140549.
- EL PEOR INVIERNO DE LA HISTORIA. En: Revista Semana, 2010. [en línea]. [citado 2 diciembre de 2011]. Disponible en: www.semana.com/clima/elpeorinviernodelahistoria
- ENFIELD, D; CHUNZAI, W. Studies of the western hemisphere warm pool. Physical oceanography division. [Documento consecutivo en línea]. Estados Unidos. [citado 15 enero 2012]. Disponible en: <http://www.aoml.noaa.gov/phod/taos/WHWP.html>
- ERFEN (Estudio Regional del Fenómeno de “El Niño). Boletín alerta Climático. Ecuador, 2011. [Documento en línea]. Comisión Permanente del

Pacífico. No. 245. [citado 16 enero 2012]. Disponible en: http://www.cpps-int.org/images/BAC/bac_esp/BAC%20Numero246%20-%20VERSION%20TECNICA%20COMPLETA.pdf

- FAJARDO BARRETO, G.D; FRANCO OVALLE, F. Análisis estadístico de la relación del fenómeno ENOS en las variables de caudal y temperatura en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia, 2004. Universidad de La Salle.
- GUEVARA DIAZ, José Manuel, El ABC de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño-Oscilación del Sur- ENSO. Terra, ene.2008, vol.24, no. 35, p. 085-140. ISSN 1012-7889.
- GOTSSHALCK, J; KOUSKY, V; HIGGINS, W. NOAA. [en línea]. Madden and Julian oscillation. Estados Unidos. [citado 16 diciembre de 2011]. Disponible en: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/procip/Cwlink/MJO
- HERNANDEZ, D; VILLEGAS, N. Grupo de investigación CENIT. Universidad Nacional de Colombia. Respuestas de la temperatura superficial del mar y la temperatura del aire de la cuenca del Pacífico Colombiano ante El Niño Oscilación del Sur. [documento en línea]. Disponible en: <www.cco.gov.co/imagenes%20niño/ResTaTSMCPCNiño>
- HERNANDEZ, M; MARZO, O; ACANDO REYES, A. Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del archipiélago cubano. [en línea]. Serie Oceanologica no. 7, 2010. [citado 15 enero 2012]. ISSN 2072-800. Disponible en: <oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo72.pdf>.
- ICOCHEA, Luis Alfredo; OLIVEIRA, Humberto. Universidad Nacional Agraria La Molina. La oscilación decadal del Pacífico. Perú. [en línea]. [citado 16 enero 2012]. Disponible en: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/licochea/enos/tema/2/enos2.html>
- INSTITUTO DE HODROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno frío del pacífico “La Niña” en Colombia en segundo semestre de 1988 y el primer semestre de 1989. Bogotá DC, 1998. 86 p. ISBN 958-8067-00-6.

- IDEAM. Atlas Climatológico Colombiano. [libro virtual]. PARTE I Aspectos Nacionales. p. 13. [citado 16 diciembre de 2011]. Disponible en: <institucional.ideam.goc.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=Publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=815>
- IDEAM. Atlas Climatológico Colombiano. [libro virtual]. PARTE II Distribución espacio temporal de las variables del clima. p. 22. Disponible en: <institucional.ideam.goc.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=Publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=815>
- INGEOMINAS. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Mapa Geológico de Colombia, 1998. En: Memoria Explicativa. [en línea]. [citado 20 diciembre de 2011]. Disponible en www.crc.gov.co
- INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL. Fenómeno ENOS. El índice de la oscilación del sur. [en línea]. San José, Costa Rica. [citado 2 enero de 2012]. Disponible en: www.lmn.ac.cr.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Documentation_Bildographics_Reference_content form and structure. ISO 690:1987. 2 ed. Geneve, Suiza; ISO, 1987. 11p
- JIMÉNEZ, R. El Niño – La Niña. [en línea] Aspectos Biológicos de El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial, En: INOCAR. Instituto Oceanográfico de la Armada, (Ecuador, 2008) pp. 309. [citado 15 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.inocor.mil.ec/modelamiento/elniño/nina-generalidades.php>
- KINDERSLOY, D. Atlas del estudiante, 2008. En: publicación del periódico El espectador. [Fascículos]
- LA VENTAJA DE LLAMARSE ISA. En: Revista Semana/Especiales/Energía. Colombia, 22 Abril de 2006. [en línea]

- LOMBANA, A; ACEVEDO, D. Colombia a su alcance. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1999. Planeta Colombia editorial.
- Manual del usuario del sistema básico del IBM SPSS Statistics 19. [manual en línea con el programa]. [citado 2 febrero de 2012]. Disponible en: software IBM SPSS.
- MONTEALEGRE BOCANEGRA, J.E. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de Meso y gran Escala. Informe Final IDEAM. Bogotá DC, 2009. 54 p.
- Montealegre, J.E. Nota Técnica del IDEAM. Actualización del Componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos “El Niño” y “La Niña” en Colombia, 2007 [Documento Consecutivo].
- NEVADOS DE COLOMBIA. Caminando Cumbres y Paramos de los Andes. Colombia.[en línea]. [citado 17 diciembre de 2011]. Disponible en: <www.nevados.org>
- PABÓN, J.D. El clima de Colombia durante los siglos XVI-XIX a partir de material histórico. Parte I. Inventario de fuentes de información, 2006. V15 pp.75-92.
- SALINAS RAMIREZ, J.M. IMPACTO DEL FENOMENO DE LA NIÑA Y EL PERIODO INVERNAL. Súper Intendencia de servicios públicos Domiciliarios, 2008. [Diapositivas]. [citado 2 diciembre de 2011]. Disponible en: <gemini.udistrital.edu.co>
- SPSS. Casos y ejemplos en el SPSS. Capítulo 4. Análisis de regresión múltiple. [Catalogo en línea]. [citado 2 febrero 2012]. Disponible en: <rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8143/regresión%20MULTIPLE.pdf>

- STATGRAPHICS Centurion XVI. User manual by StatPoint Technologies, Inc. Estados Unidos, 2009. [Software]. [citado 10 octubre 2011]
- TRENBERT, K; STEPANICK, D. Indices of El Niño Evolution. American Meteorological Society. Estados Unidos, 2001. [en línea]. Vol.14. ed.8. EN: AMS.journals online. [citado 15 enero 2012]. Disponible en: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C1697:LIOENO%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442(2001)014%3C1697:LIOENO%3E2.0.CO%3B2)
- TRUJILLO, F; ARAUJO CHAVEZ, R; HALVORSEN, K. Programa Nacional de Cambios Climáticos. Grupo de Climatología. Mancomunidad de Carabuco y Vallegrande. Bolivia, La Paz, 2006. [en línea]
- TUMACO, PERLA DEL PACÍFICO. efecto del fenómeno del niño en los sistemas atmosféricos de gran escala y en el clima global y regional. En: (Biblioteca Luis Ángel Arango, Colombia, 2009). [en línea]. [citado 30 noviembre de 2011]. Disponible en: www.tumaco-galeon.com
- UMPIERREZ, Olga. Análisis de Impactos Hidrológicos de “El Niño”. [Compilación Estudios e Investigación en línea]. [citado 2 diciembre de 2011] Disponible en: < degasatel.mob.cl >
- UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. El Niño Affairs. Clima, Medioambiente y Sociedad. Desarrollo de capacidades para países y comunidades latinoamericanas. [Documento en línea]. Disponible en: <ccb.colorado.edu/enos>
- UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA ESPAÑA. Tema 9: Patrones de variabilidad Climática- índices de circulación. [Documento consecutivo en línea]. [citado 12 Enero 2012] Disponible en: webpages.ull.es.
- VALLEJO, P. Correlación y Regresión simple y múltiple. Universidad Pontificia Comillas. [Documento en línea]. Madrid, 2011. [citado 25 enero 2011]. Disponible en: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigación/regresión.pdf>

- WALPOLE, RONALD E. Probabilidad y estadística para ingenieros.6 ed. México. Prentice-Hall Hispano América, S.A, 1999.752p. ISBN 970-17-0264-6.
- ZEA, J; ESLAVA, J; LEON, G. La Oscilación Cuasibienal y algunas relaciones con los eventos cálidos y fríos del Pacífico. Meteorología Colombiana. Bogotá, Colombia, 2000. No. 1. ISSN 0124-6984.
- ZULUAGA, D; POSADA, J; POVEDA, G. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Medellín. Relación entre las fases de la oscilación Cuasi bienal, la precipitación y la radiación de onda larga emergente en Colombia. Disponible en: www.bdigital.unal.edu.co/44k/1/AA3318.pdf