

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA
HIDROLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**



**JUAN CAMILO JEREZ GOMEZ
MAURICIO ANDRES VELASQUEZ MESA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA
HIDROLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**



**JUAN CAMILO JEREZ GOMEZ
MAURICIO ANDRES VELASQUEZ MESA**

**Tesis de grado modalidad de Investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil**

DIRECTOR:

Ing. Ph.D. LUIS FERNANDO SALAZAR VELASQUEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

A mi madre, que la amo, gracias por estar pendiente de mí en cada momento y brindarme ese inmenso cariño.

A mi padre por su gran esfuerzo para poder sacarme adelante, creer en mí y brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanas que las quiero mucho.

A mis amigos, compañeros, y personas importantes para mí.

Juan Camilo Jerez Gómez

A mi madre, por su paciencia, comprensión y amor incondicional.

A mi padre, por su confianza y apoyo constante durante las etapas de mi formación profesional y personal.

A mis hermanas, quienes son la razón principal de mis logros y metas.

A mi tía Carmenza, por su inmenso cariño.

A mi tío Yoryín, por su apoyo y motivación.

A mis demás familiares y amigos por sus ánimos y compañía.

Andrés Velásquez Mesa

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a nuestro director de proyecto y maestro el Ing. Ph.D Luis Fernando Salazar Velásquez, por su colaboración y apoyo en todo lo que estuvo a su alcance y sus valiosos comentarios y recomendaciones.

Al cuerpo en general de profesores, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias, que contribuyeron con mi proceso de formación tanto integral como intelectual, para mi futuro desarrollo profesional.

A todos nuestros amigos, compañeros y personas que contribuyeron en nuestra formación integral como estudiantes y brindaron su constante apoyo.

Al Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático G.P.H. – UIS, al IDEAM y la CDMB por la colaboración y suministro de los datos que sirvieron para el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES	22
PRECIPITACIÓN	22
FENOMENO DEL NIÑO	23
FENOMENO DE LA NIÑA	23
2. DATOS UTILIZADOS	24
2.1 SOI	24
2.2 MEI	25
2.3 GRADIENTE DE TEMPERATURA DEL ATLANTICO	25
2.4 DATOS DE PRECIPTACIÓN	26
3. ANALISIS LINEAL	31
3.1 PRECIPITACIONES VS MEI	31
3.1.1 ESTACION TONA	32
3.1.2 ESTACION UIS	33
3.1.3 ESTACION MATAJIRA	34
3.1.4 ESTACION VETAS – EL POZO	35
3.1.5 ESTACION LA FLORA	36
3.1.6 ESTACION CDMB	37
3.1.7 ESTACION VIVERO SURATA	38
3.1.8 ESTACION EL PICACHO	39
3.1.9 ESTACION LA ESPERANZA	40
3.1.10 ESTACION LA GALVICIA	41
3.2 PRECIPITACIONES VS GRADIENTE DE TEMPERATURA	42
3.2.1 ESTACION TONA	43
3.2.2 ESTACION UIS	44
3.2.3 ESTACION MATAJIRA	45
3.2.4 ESTACION VETAS – EL POZO	46
3.2.5 ESTACION LA FLORA	47
3.2.6 ESTACION CDMB	48
3.2.7 ESTACION VIVERO SURATA	49

3.2.8 ESTACION EL PICACHO	50
3.2.9 ESTACION LA ESPERANZA	51
3.2.10 ESTACION LA GALVICIA	52
3.3 ANALISIS DE LAS CORRELACIONES	54
3.3.1 CORRELACIONES DIRECTAS	54
3.3.2 CORRELACIONES REZAGADAS UN TRIMESTRE	56
4. ANALISIS NO LINEAL	59
4.1 ESTACION TONA	60
4.2 ESTACION UIS	61
4.3 ESTACION MATAJIRA	62
4.4 ESTACION VETAS – EL POZO	63
4.5 ESTACION LA FLORA	64
4.6 ESTACION CDMB	65
4.7 ESTACION VIVERO SURATA	66
4.8 ESTACION EL PICACHO	67
4.9 ESTACION LA ESPERANZA	68
4.10 ESTACION LA GALVICIA	69
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de las estaciones utilizadas en el análisis.	26
Tabla 2. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y el índice del SOI trimestral.	54
Tabla 3. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y Gradiente de Temperatura del Atlántico trimestral.	55
Tabla 4. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y el índice del MEI trimestral.	55
Tabla 5. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) entre los valores del índice SOI trimestral y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.	56
Tabla 6. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) entre los valores trimestrales del Gradiente de Temperatura del Atlántico y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.	56
Tabla 7. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign.) entre los valores del índice MEI trimestral y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Serie de tiempo del Índice SOI.	24
Figura 2. Serie de tiempo del Índice MEI.	25
Figura 3. Serie de tiempo del Gradiente de Temperatura del Atlántico.	25
Figura 4. Distribución de las estaciones en el departamento de Santander.	27
Figura 5. Promedio mensual precipitación estación Tona.	28
Figura 6. Promedio mensual precipitación estación UIS.	28
Figura 7. Promedio mensual precipitación estación Matajira.	28
Figura 8. Promedio mensual precipitación estación Vetas-El Pozo.	28
Figura 9. Promedio mensual precipitación estación La Flora.	29
Figura 10. Promedio mensual precipitación estación CDMB.	29
Figura 11. Promedio mensual precipitación estación Vivero Suratá.	29
Figura 12. Promedio mensual precipitación estación El Picacho.	29
Figura 13. Promedio mensual precipitación estación La Esperanza.	30
Figura 14. Promedio mensual precipitación estación La Galvicia.	30
Figura 15. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Tona.	32
Figura 16. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación UIS.	33
Figura 17. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Matajira.	34
Figura 18. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Vetas-El Pozo.	35

Figura 19. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Flora.	36
Figura 20. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación CDMB.	37
Figura 21. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Matajira Vivero Suratá.	38
Figura 22. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho.	39
Figura 23. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza.	40
Figura 24. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia.	41
Figura 25. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación Tona.	43
Figura 26. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación UIS	44
Figura 27. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación Matajira.	45
Figura 28. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación Vetas-El Pozo.	46
Figura 29. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación La Flora.	47
Figura 30. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación CDMB.	48
Figura 31. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación Vivero Suratá.	49
Figura 32. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho.	50
Figura 33. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza.	51

Figura 34. Gradiente de Temperatura del Atlántico y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia.	52
Figura 35. Espectro de potencias en onditas para la estación Tona (Precipitación).	60
Figura 36. Espectro de potencias en onditas para la estación UIS (Precipitación).	61
Figura 37. Espectro de potencias en onditas para la estación Matajira (Precipitación).	62
Figura 38. Espectro de potencias en onditas para la estación Vetas-El Pozo (Precipitación).	63
Figura 39. Espectro de potencias en onditas para la estación La Flora (Precipitación).	64
Figura 40. Espectro de potencias en onditas para la estación CDMB (Precipitación).	65
Figura 41. Espectro de potencias en onditas para la estación Vivero Suratá (Precipitación).	66
Figura 42. Espectro de potencias en onditas para la estación El Picacho (Precipitación).	67
Figura 43. Espectro de potencias en onditas para la estación La Esperanza (Precipitación).	68
Figura 44. Espectro de potencias en onditas para la estación La Galvicia (Precipitación).	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Años Niño y Niña: Lista de Consenso	74
Anexo 2. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Tona.	75
Anexo 3. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación UIS.	76
Anexo 4. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Matajira.	77
Anexo 5. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Vetas-El Pozo.	78
Anexo 6. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Flora.	79
Anexo 7. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación CDMB.	80
Anexo 8. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación Vivero Suratá.	81
Anexo 9. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho.	82
Anexo 10. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza.	83
Anexo 11. Índice MEI y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia.	84
Anexo 12. Promedio anuales de la precipitación estación Tona.	85
Anexo 13. Promedio anuales de la precipitación estación UIS.	85
Anexo 14. Promedio anuales de la precipitación estación Matajira.	86
Anexo 15. Promedio anuales de la precipitación estación Vetas-El Pozo.	86
Anexo 16. Promedio anuales de la precipitación estación La Flora.	87

Anexo 17. Promedio anuales de la precipitación estación CDMB.	87
Anexo 18. Promedio anuales de la precipitación estación Vivero Suratá.	88
Anexo 19. Promedio anuales de la precipitación estación El Picacho.	88
Anexo 20. Promedio anuales de la precipitación estación La Esperanza.	89
Anexo 21. Promedio anuales de la precipitación estación La Galvicia.	89

RESUMEN

TITULO: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN LA HIDROLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER*

AUTORES:

JUAN CAMILO JEREZ GOMEZ
MAURICIO ANDRES VELASQUEZ MESA**

PALABRAS CLAVES:

Precipitación, Índice MEI, Índice SOI, Fenómeno del niño, Fenómeno de la Niña

DESCRIPCIÓN:

Se estudia la influencia que tienen las temperaturas superficiales del mar (Atlántico y Pacífico) sobre la variabilidad de la precipitación en algunas estaciones del departamento de Santander para diferentes escalas temporales. Se cuantificó el grado de dependencia lineal que tiene la precipitación con los diferentes índices del fenómeno ENSO (MEI y SOI) y las temperaturas del Atlántico tropical. Para esto se estimaron correlaciones trimestrales (rezagadas y directas) entre la precipitación y los índices analizados. También se realizó un análisis no lineal por medio de la metodología de Onditas. En general se observan correlaciones estadísticamente significativas entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI) de un trimestre determinado y la precipitación del mismo trimestre y el trimestre siguiente (especialmente el SOI de SON y la precipitación de DEF). No se encontraron correlaciones estadísticamente significativas con el índice que representa la temperatura del Atlántico tropical. El análisis no lineal permitió observar periodos significativos de 6 meses en todas las estaciones (ciclo semianual de la precipitación) y el periodo del fenómeno ENSO en la gran mayoría de las estaciones. Estos resultados son importantes para el avance en el entendimiento de los procesos macroclimáticos que afectan la precipitación en la región del departamento de Santander.

* Trabajo de Investigación

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Ing. Luis Fernando Salazar.

ABSTRACT

TITLE: INFLUENCE OF SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER HYDROLOGY*

AUTHORS:

JUAN CAMILO JEREZ GOMEZ
MAURICIO ANDRES VELASQUEZ MESA **

KEYWORDS:

Precipitation, MEI Index, SOI Index, El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

DESCRIPTION:

We study the influence of sea surface temperatures (Atlantic and Pacific) on the variability of rainfall in some stations of the department of Santander to different time scales. The degree of linear dependency of precipitation with different indices of ENSO phenomenon (MEI and SOI) and the tropical Atlantic temperatures, was quantified. We estimated quarterly correlations (lagged and direct) between precipitation and analyzed indices. We also performed a nonlinear analysis using the wavelet methodology. In general, were observed statistically significant correlations between the South Oscillation Index (SOI) of a certain trimester and precipitation for that trimester and the following trimesters (SON SOI and DEF precipitation, especially). Not found statistically significant correlations with the index that represents the tropical Atlantic temperature. Nonlinear analysis allowed observed significant periods of 6 months in all stations (semi-annual cycle of rainfall) and the ENSO phenomenon period in most stations. These results are important for the advance in the processes macroclimatic understanding that affect precipitation in the region of Santander Department.

* Research work

** Faculty of Physical- Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Directress Ing. Luis Fernando Salazar.

INTRODUCCIÓN

El agua es el principal recurso natural para el ser humano, quien la utiliza de forma imprescindible tanto para su consumo directo, como para diversas actividades agrícolas e industriales.

Colombia es uno de los países con mayores recursos hídricos en el mundo y frente a la necesidad de identificar los factores que están influyendo en la disminución de disponibilidad hídrica, precipitación y en el aumento de la temperatura en diferentes zonas del país debido a fenómenos macroclimáticos como El Niño (Montealegre, 1996), se han desarrollado diferentes estudios que pueden establecer y determinar la forma en que este fenómeno afecta el comportamiento de la hidrología y del clima en algunas regiones del país. (Villate, 2004 y Castañeda, 2005).

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, de sus siglas en inglés) es un evento natural que se da como resultado de la interacción entre el océano y la atmosfera en la región del Océano Pacífico oriental (Mesa et al., 1997), está relacionado con incrementos de la temperatura superficial del mar, lo que provoca modificaciones en las circulaciones atmosféricas de gran escala con consecuencias para la hidroclimatología de muchas regiones en el planeta (Philander, 1990), y con aumentos del nivel medio del mar. De igual manera la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, de sus siglas en inglés), definida como la alteración de la masa atmosférica entre las regiones subtropical y subpolar del Océano Atlántico Norte (Mesa et al., 1997), tiene influencias en la hidroclimatología de las regiones tropical, especialmente en América del Sur (Fu et al., 2001).

El Niño es la componente oceánica del ENSO, definida como el aumento anormal en la temperatura de las aguas superficiales del Océano Pacífico tropical. La componente atmosférica del ENSO, llamada la Oscilación del Sur (SO, de sus siglas en inglés) es la variación de la presión atmosférica a nivel del mar entre el oeste y el este del Pacífico ecuatorial. Este gradiente de presiones atmosféricas está representado por el Índice de Oscilación del Sur (SOI, de sus iniciales en inglés).

El ENSO se manifiesta directamente en la costa Pacífica colombiana y como fenómeno tiene un efecto sobre las variables climatológicas de todo el territorio nacional, principalmente, la temperatura del aire y la precipitación en cada una de las regiones colombianas, afectando particularmente el ciclo hidrológico. Aunque los efectos de la NAO se presentan de manera más dispersa en territorio colombiano, no es del todo descartable su influencia en la hidroclimatología colombiana.

Las temperaturas del Atlántico tropical tienen una influencia sobre el clima en algunas regiones de América del Sur (por ejemplo, en Brasil y la Amazonía) como lo evidencian recientes estudios que muestran que un aumento anómalo de las temperaturas del Atlántico Tropical Norte en relación con el Atlántico tropical sur fue el causante de las sequías en la Amazonía en los años 2005 y 2010 (Marengo et al., 2005, Lewis et al., 2010).

La influencia de estos fenómenos macroclimáticos sobre la hidroclimatología de Colombia ha sido estudiada en la gran escala (Mesa et al., 1997, Poveda et al., 2002), señalando una disminución de los caudales y de la precipitación en presencia del fenómeno ENSO, principalmente en la región occidental de Colombia. Estos estudios han mostrado que el efecto de las temperaturas del Atlántico no es homogéneo en todo el país, con importantes diferencias regionales.

Algunos modelos globales de cambio climático proyectan una mayor frecuencia de fenómenos de El Niño y más fuertes, así como un aumento en la temperatura superficial del mar en el atlántico Norte. Bajo estas condiciones el estudio de las relaciones entre la hidroclimatología del departamento de Santander con las temperaturas superficiales del mar, nos ayudaran a proyectar posibles cambios hidroclimatológicos en la región, debido al cambio climático.

La temperatura superficial del mar también se encuentra directamente relacionada con diferentes aspectos tales como el cambio de nivel del mar, intensidad y precipitación de la radiación solar, vientos superficiales, corrientes marinas, factores poblacionales, ciclos de vida y toda la variabilidad biológica. Por esto realizar el análisis de la influencia que tiene la temperatura del mar en la hidrología del departamento de Santander es importante desde cualquier punto de vista.

El proyecto se basa en la necesidad de estudiar la influencia que tienen las temperaturas superficiales del mar con la hidrología del departamento de Santander. Durante el desarrollo de la investigación se analizaron series de tiempo de más de 22 años de duración, con distintos periodos de inicio y finalización, cabe resaltar también que, por falta de disponibilidad de información, la mayoría de los análisis se realizaron hasta el año 2001. Eventos importantes del fenómeno del ENSO y las temperaturas superficiales del Mar en el Atlántico en la última década deben ser analizados en trabajos posteriores y complementados con los resultados obtenidos en esta investigación.

El análisis de la influencia del Fenómeno del Niño, La Niña y la Temperatura superficial del Mar del Atlántico, se estudiará mediante análisis lineales (correlaciones cruzadas directas y rezagadas) y análisis no lineales (transformada en onditas). Estas metodologías se describen en los capítulos 2 y 3, respectivamente.

1. GENERALIDADES

Los cambios globales se generan a partir de procesos naturales y por actividades del hombre que afectan el medio ambiente en forma directa o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales (Villate, 2004). Este cambio consiste en un aumento de la temperatura de la superficie terrestre. Las escalas espaciotemporales de los procesos que conllevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación, son a escala regional y pueden ser medidos en días; otros, como el calentamiento global y el cambio climático, cubren todo el planeta y se manifiestan en etapas que van desde el decenio hasta milenios.

Los procesos de reducción de disponibilidad de las aguas superficiales en los últimos años en el país, ha incrementado la explotación de las aguas subterráneas para diferentes usos (Cortés, 2005). Este aprovechamiento que la mayor parte de las veces se hace sin ninguna evaluación y control, ha generado en algunas áreas una serie de impactos ambientales negativos sobre el recurso (Cortés, 2005).

Algunos de los fenómenos macroclimáticos existentes son: El Niño, la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación Cuasi Bienal y la Oscilación del Sur. Para la investigación, el más representativo es el Fenómeno del Niño también llamado fenómeno del Pacífico, el cual está representado principalmente por un aumento en la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico presentando una duración promedio de un año (Villate, 2004). Este fenómeno produce un aumento considerable en la temperatura del aire, aumento de la precipitación en algunas regiones y disminución en otras, generando bajas en la oferta de disponibilidad hídrica en sectores amplios de Colombia.

Precipitación

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no la neblina ni el rocío que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida en nuestro planeta, tanto de animales como vegetales, que requieren del agua para vivir. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad (fuente: <http://www.wikipedia.org/>)

Fenómeno del Niño

El fenómeno macroclimático Niño es un fenómeno oceánico y atmosférico localizado en el océano Pacífico durante el cual aparecen, de forma inusual, condiciones cálidas a lo largo de la costa occidental de Ecuador, Perú, y Colombia, lo que provoca alteraciones climáticas de distinta magnitud. Se produce cuando los vientos constantes procedentes del Oeste se debilitan e incluso cambian de dirección.

Este cambio permite desplazarse hacia el Este, a lo largo de la línea del ecuador, a una gran masa cálida de agua, generalmente localizada cerca de Australia, hasta que alcanza la costa de Sudamérica. El desplazamiento de tan enormes masas de aguas cálidas afecta a la evaporación, causando la formación de nubes que precipitan, y, consecuentemente, altera los patrones atmosféricos habituales.

Fenómeno de La Niña

La Niña se caracteriza por temperaturas anómalas frías en el pacífico ecuatorial que producen modificaciones en los patrones de precipitación y de circulación atmosférica. Las aguas anormalmente frías en la zona ecuatorial central dan lugar a la supresión de la nubosidad y precipitaciones en la región del Océano Pacífico, especialmente durante el invierno y primavera del Norte hemisferial. Al mismo tiempo, la lluvia es mayor en Indonesia, Malasia y el norte de Australia.

Los episodios del Niño y la Niña forman parte de un ciclo conocido como ENOS (El Niño – Oscilación Sur) formado por anomalías atmosféricas y de temperatura de la superficie del mar. El ciclo tiene un promedio de 4 a 5 años, aunque eventualmente pueden presentar períodos de 2 a 7 años.

2. DATOS UTILIZADOS

En el presente capítulo hace una breve descripción de los índices y series de precipitación utilizadas para el análisis.

2.1 SOI

El Índice de Oscilación del Sur (SOI), el cual consiste en tomar la diferencia estandarizada de la presión atmosférica a nivel del mar entre la ciudad Australiana de Darwin (localizada en el Pacífico Occidental) y la isla de Tahití (Pacífico central), por medio de la expresión mostrada:

$$SOI = \frac{PA(Tahiti) - PA(Darwin)}{Desv. Sta.}$$

Donde

$PA(*)$ = Presión media mensual menos la media histórica para el mismo mes.

$Desv. Sta.$ = Desviación estándar de la diferencia de las presiones.

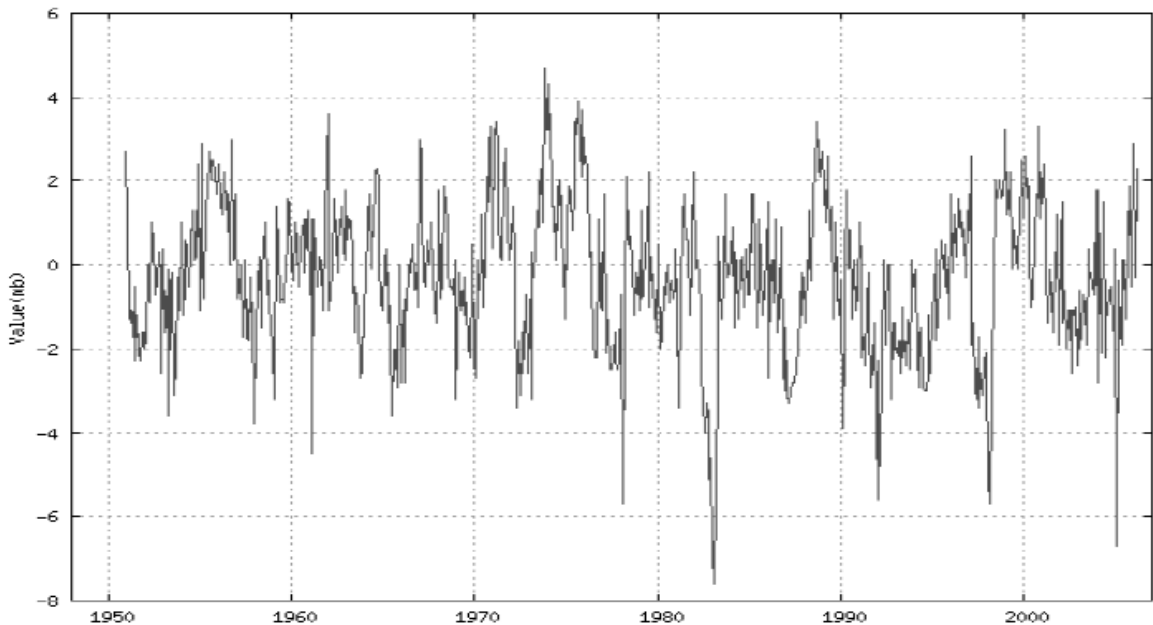


Figura 1. Serie de tiempo del índice SOI.
Fuente <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/index.html>

2.2 MEI

El MEI o Índice multivariable ENSO es un índice que como su nombre lo dice se encarga del estudio del fenómeno ENSO. Promedio entre las principales características del ENSO. Las variables utilizadas en el cálculo son presión atmosférica, viento superficial, temperatura superficial del mar y temperatura del aire, y nubosidad.

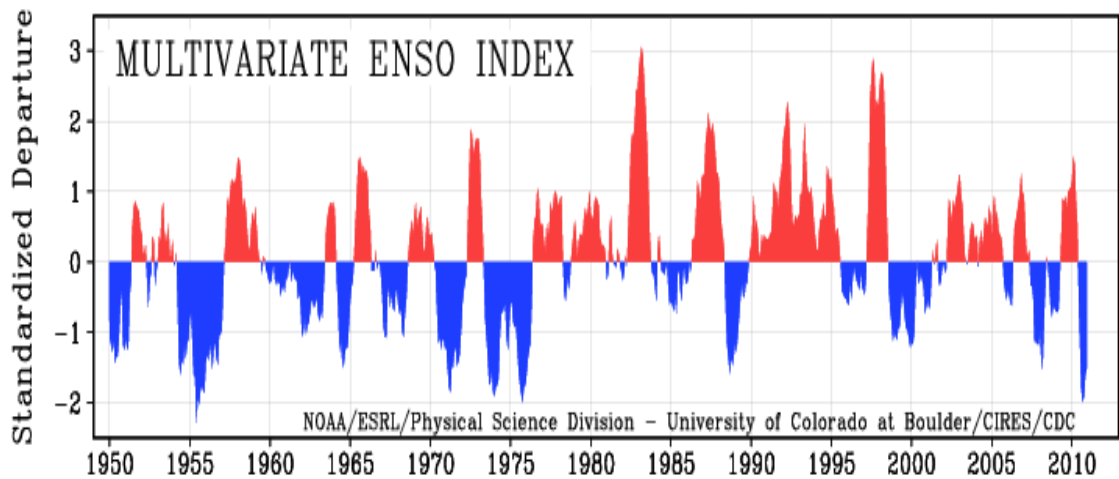


Figura 2. Serie de tiempo del índice MEI.

Fuente <http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>

2.3 Gradiente de Temperatura del Atlántico

El Gradiente de Temperatura del Atlántico es un índice que representa anomalías de temperaturas en la región Atlántica tropical. Se calcula mediante la diferencia de la Temperatura promedio del mar en el Atlántico Norte y la Temperatura promedio del mar en el Atlántico Sur.

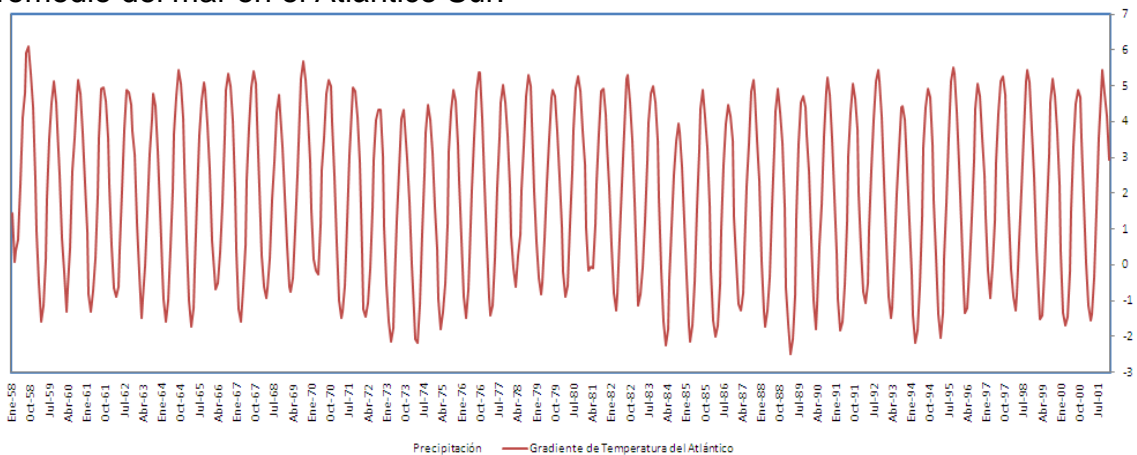


Figura 3. Serie de tiempo del Gradiente de temperatura del Atlántico.

Fuente <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>

2.4 Datos de precipitación

Para el criterio de selección de las estaciones con las cuales se trabajó en este proyecto se tuvo en cuenta la cantidad de datos disponibles por cada estación y la cantidad de datos faltantes, tomando únicamente para dicho análisis las estaciones con menor porcentaje de datos faltantes del total de datos disponibles. La descripción de las estaciones seleccionadas es presentada en la tabla 1 y su distribución geográfica en la figura 4. Debido a las limitaciones en la disponibilidad de la información, la ubicación de las estaciones se limita a una región del departamento.

Tabla 1. Información de las estaciones de estudio del proyecto

Código	Estación	Municipio	Corriente	Coordenadas			Año Inicial	Año Final	Datos Esperados	Datos Existentes	Datos Faltantes	% Datos Faltantes
				Latitud	Longitud	Elevación						
2319013	Tona	Tona	Tona	0712	7258	1910	1958	2001	528	513	15	2,84%
2319504	UIS	Bucaramanga	Tona	0708	7306	1018	1961	2001	492	472	20	4,07%
2319034	Matajira	Matanza	Suratá	0713	7304	0996	1967	2001	420	386	34	8,10%
2319045	Vetas - El Pozo	Vetas	Vetas	0719	7253	3220	1971	2001	372	363	9	2,42%
2319073	La Flora	Bucaramanga	Lebrija	0705	7307	1100	1972	2001	360	356	4	1,11%
2319072	CDMB	Bucaramanga	Lebrija	0708	7308	0950	1972	2001	360	354	6	1,67%
2319509	Vivero Suratá	Suratá	Suratá	0721	7300	1725	1968	2001	408	355	53	12,99%
2319030	El Picacho	Tona	Tona	0707	7258	3310	1967	1991	300	287	13	4,33%
2319521	La Esperanza	Floridablanca	Lebrija	0704	7302	1020	1979	2001	276	260	16	5,80%
2319040	La Galvicia	Floridablanca	Tona	0709	7302	1779	1968	1990	276	260	16	5,80%

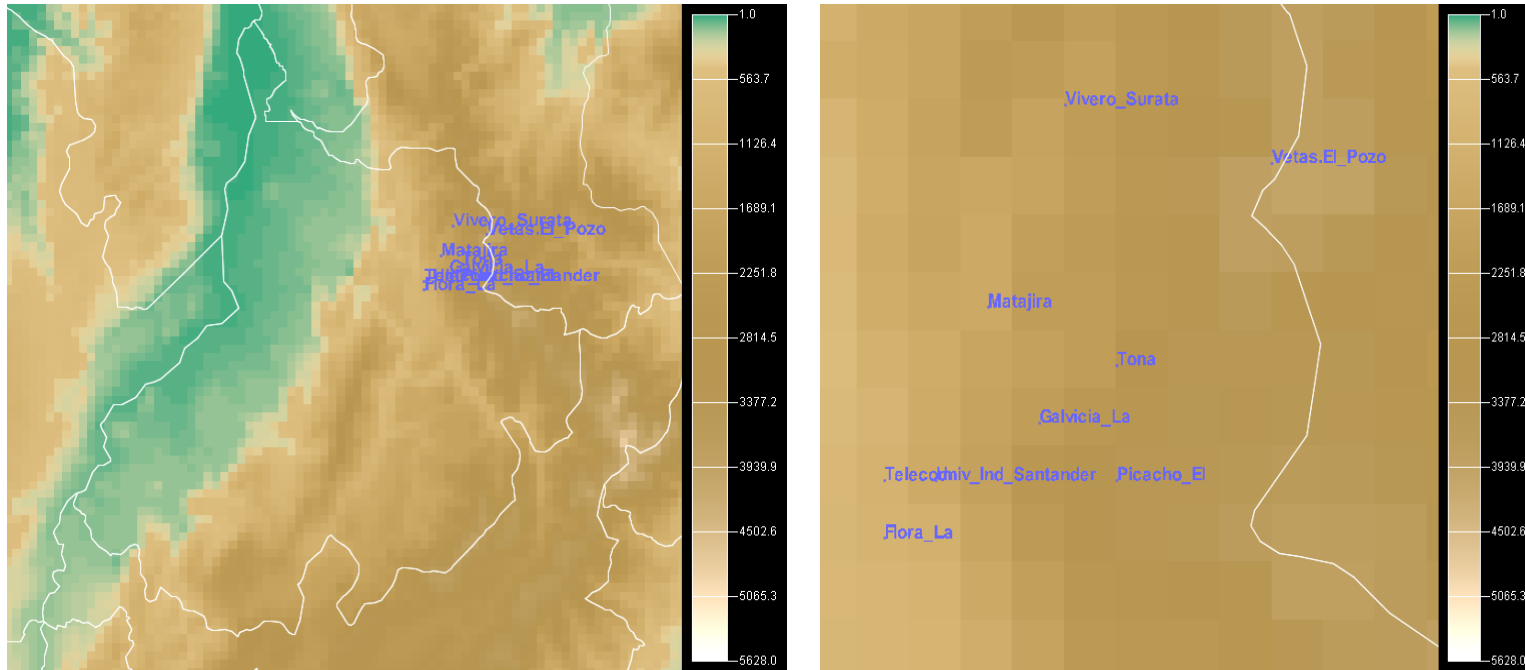


Figura 4. Distribución de las estaciones en el departamento de Santander (Izquierda). La figura de la derecha muestra un detalle de la ubicación de las estaciones.

Las Figuras 5 a la 13 presentan el ciclo anual de la precipitación en las estaciones seleccionadas. Se puede observar la bimodalidad que presentan la gran mayoría de las estaciones en la distribución de los ciclos de la precipitación, observándose que las estaciones en las que más llueve son: Tona, Vivero Suratá, El Picacho, La Esperanza y La Galvicia y las estaciones que presentan poca lluvia son: la Flora y CDMB.

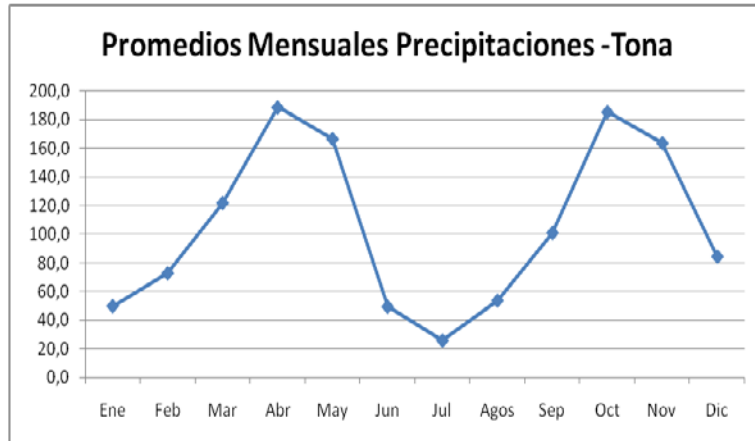


Figura 5. Promedio mensual precipitación estación Tona

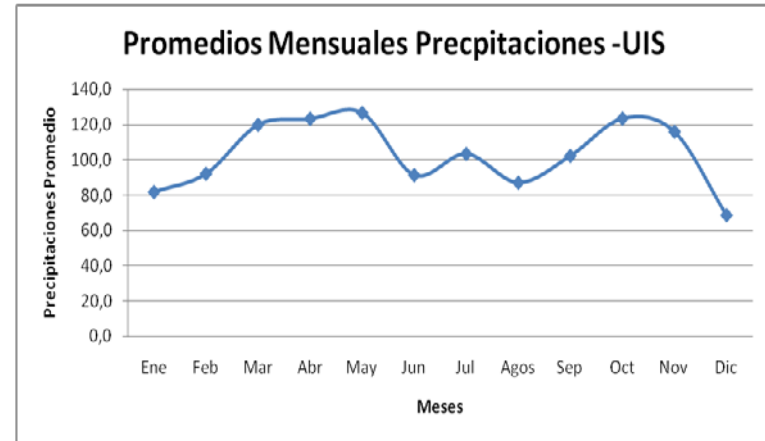


Figura 6. Promedio mensual precipitación estación UIS

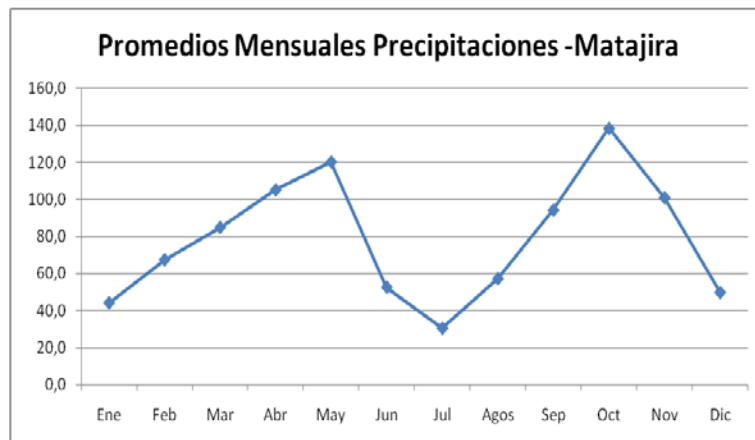


Figura 7. Promedio mensual precipitación estación Matajira

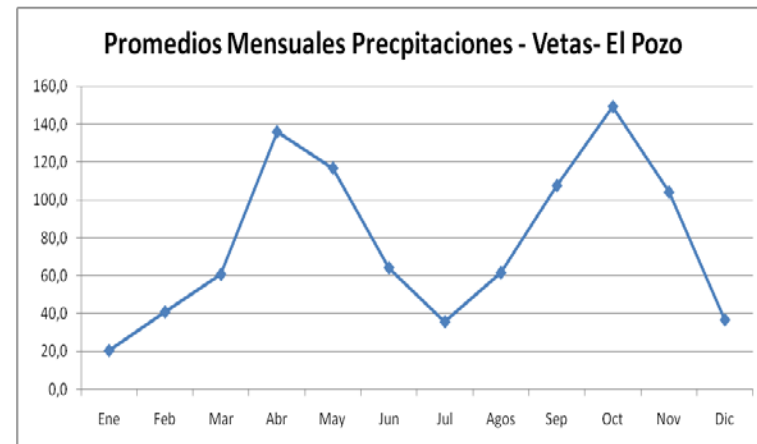


Figura 8. Promedio mensual precipitación estación Vetas-El Pozo

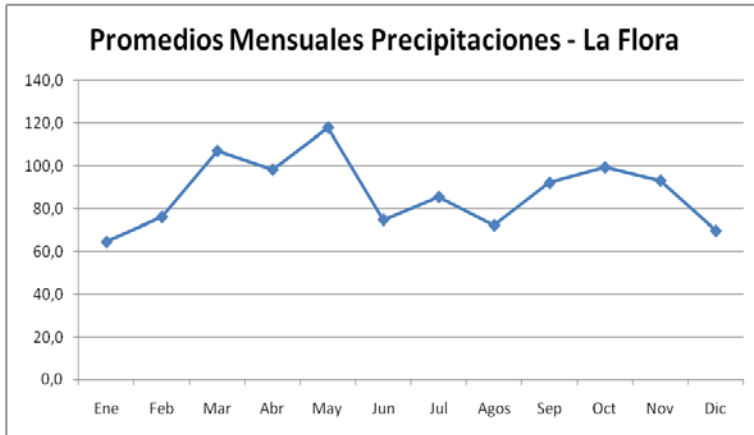


Figura 9. Promedio mensual precipitación estación La Flora

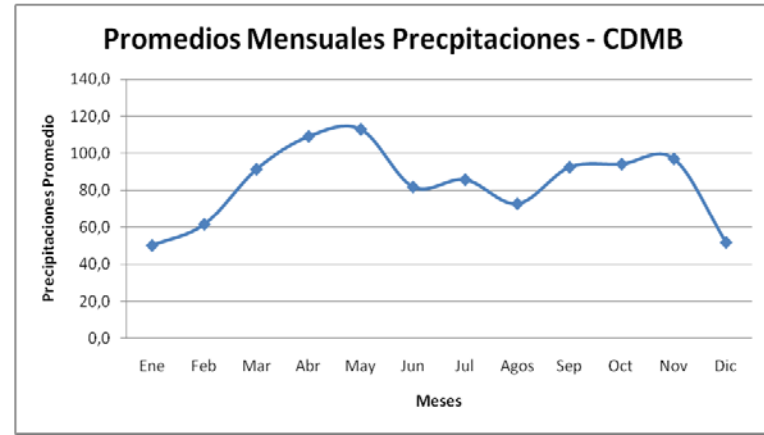


Figura 10. Promedio mensual precipitación estación CDMB

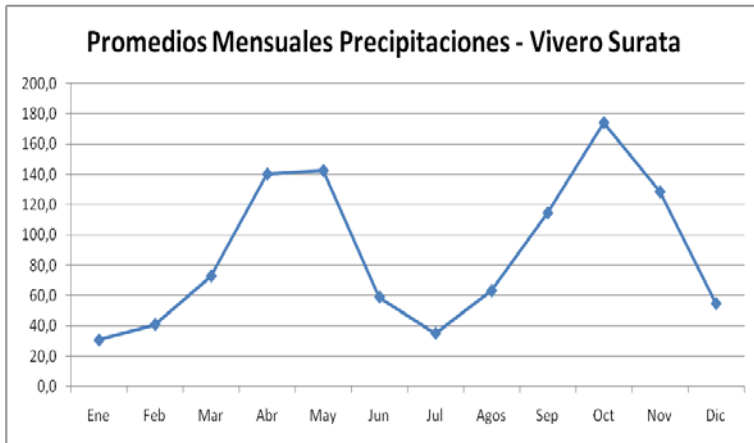


Figura 11. Promedio mensual precipitación estación Vivero Surata.

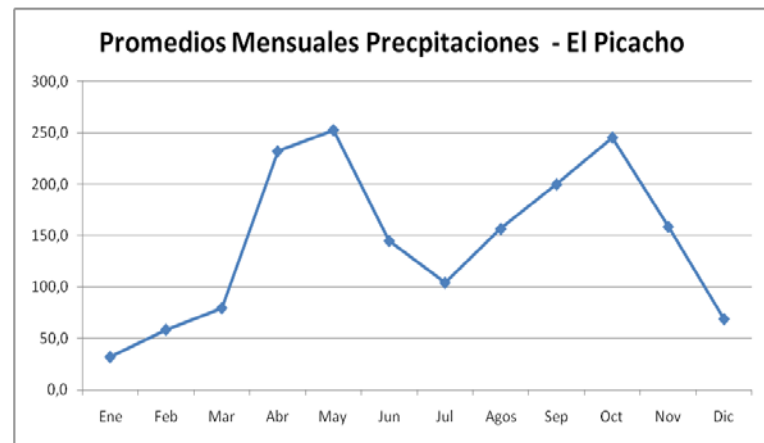


Figura 12. Promedio mensual precipitación estación El Picacho.

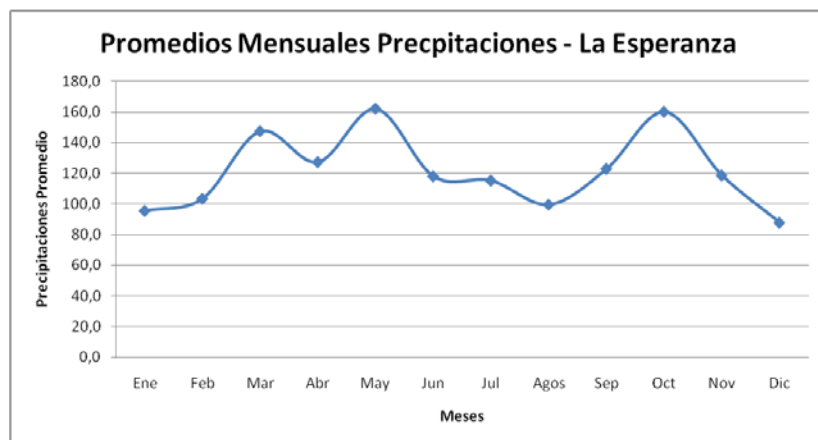


Figura 13. Promedio mensual precipitación estación La Esperanza.

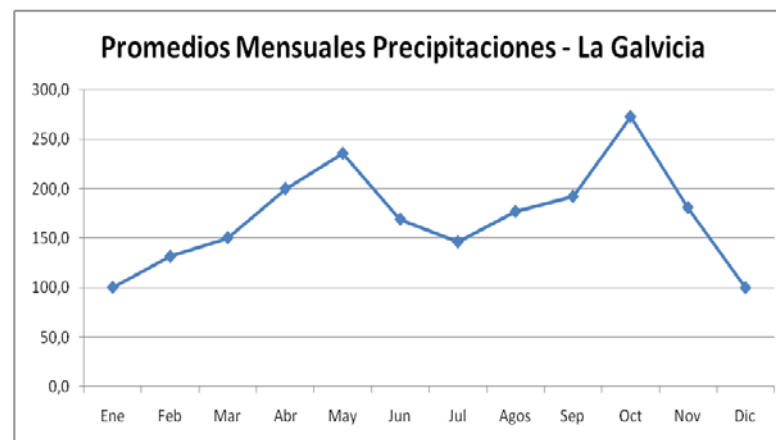


Figura 14. Promedio mensual precipitación estación La Galvicia

3. Análisis Lineal

Una manera de estudiar la influencia de las diferentes variables macroclimáticas sobre el ciclo anual de la hidroclimatología es cuantificar el grado de dependencia lineal que existe entre tales variables y los registros de las estaciones, mediante la estimación de correlaciones cruzadas entre los trimestres de cada variable macroclimática con cada uno de los trimestres de la variable hidrológica, así como también considerando rezagos entre las variables y los índices. Los trimestres que se seleccionaron para la estimación de la correlación son Diciembre–Febrero (DEF), Marzo–Mayo (MAM), Junio–Agosto (JJA), y Septiembre–Noviembre (SON). Para estimar la significancia de la estimación de la correlación (r), se plantea la hipótesis $\rho = 0$, la cual se rechaza cuando

$$|t| = \left| \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)}} \right| \sqrt{(n-2)} \geq t_{\alpha/2; n-2},$$

donde r es el valor estimado para la correlación y $t_{\alpha/2; n-2}$ es el cuantil de la distribución t para una significancia de $\alpha/2$ y $n-2$ grados de libertad (Bower y Lieberman, 1972). Si se rechaza la hipótesis, la correlación es estadísticamente significativa.

3.1 Precipitación vs MEI

A continuación en las gráficas 15 a la 24 se presenta un análisis gráfico para cada una de las estaciones, haciendo un símil entre precipitaciones, el Índice del MEI y los periodos que a lo largo de la historia fueron denotados como épocas Niño y Épocas Niña (listados en el Anexo 1).

En el análisis gráfico podemos observar a gran escala algunos de los efectos que tienen los fenómenos Niño y Niña para nuestra región.

3.1.1 Estación Tona

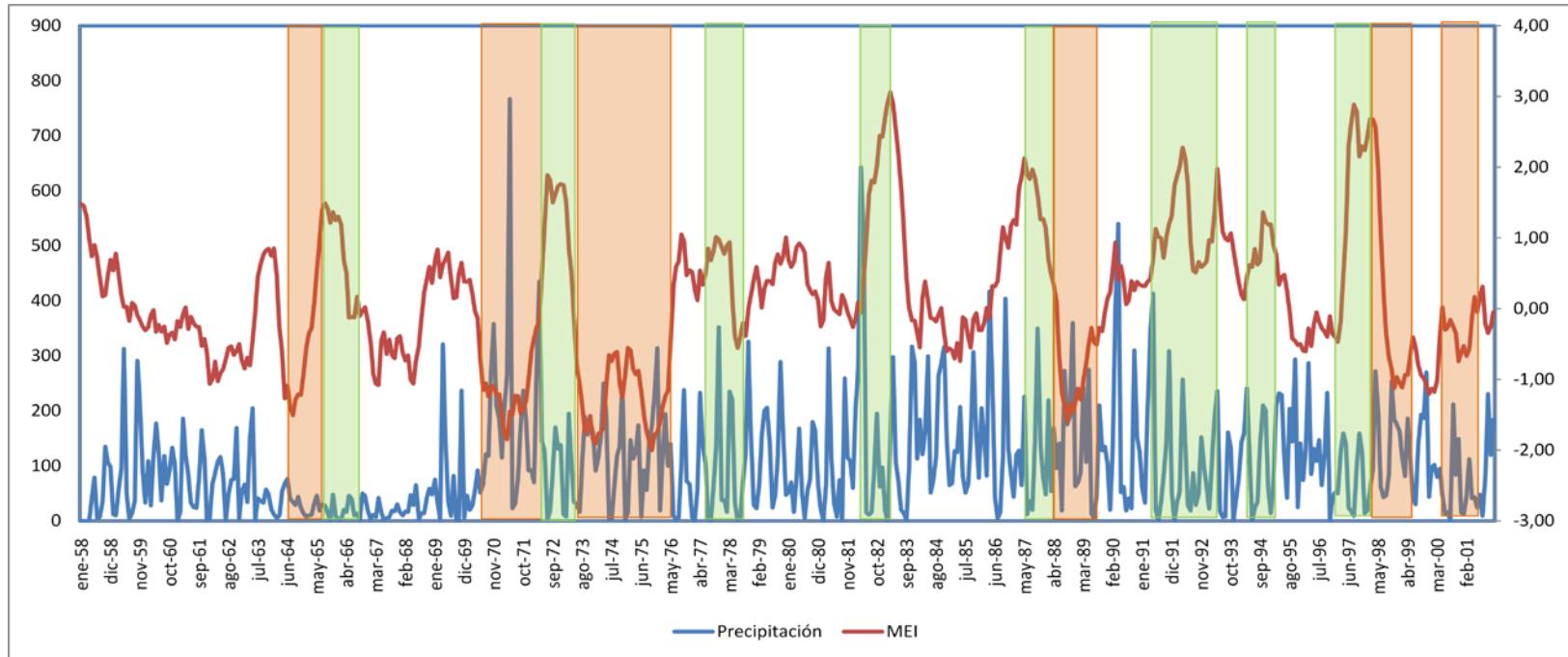


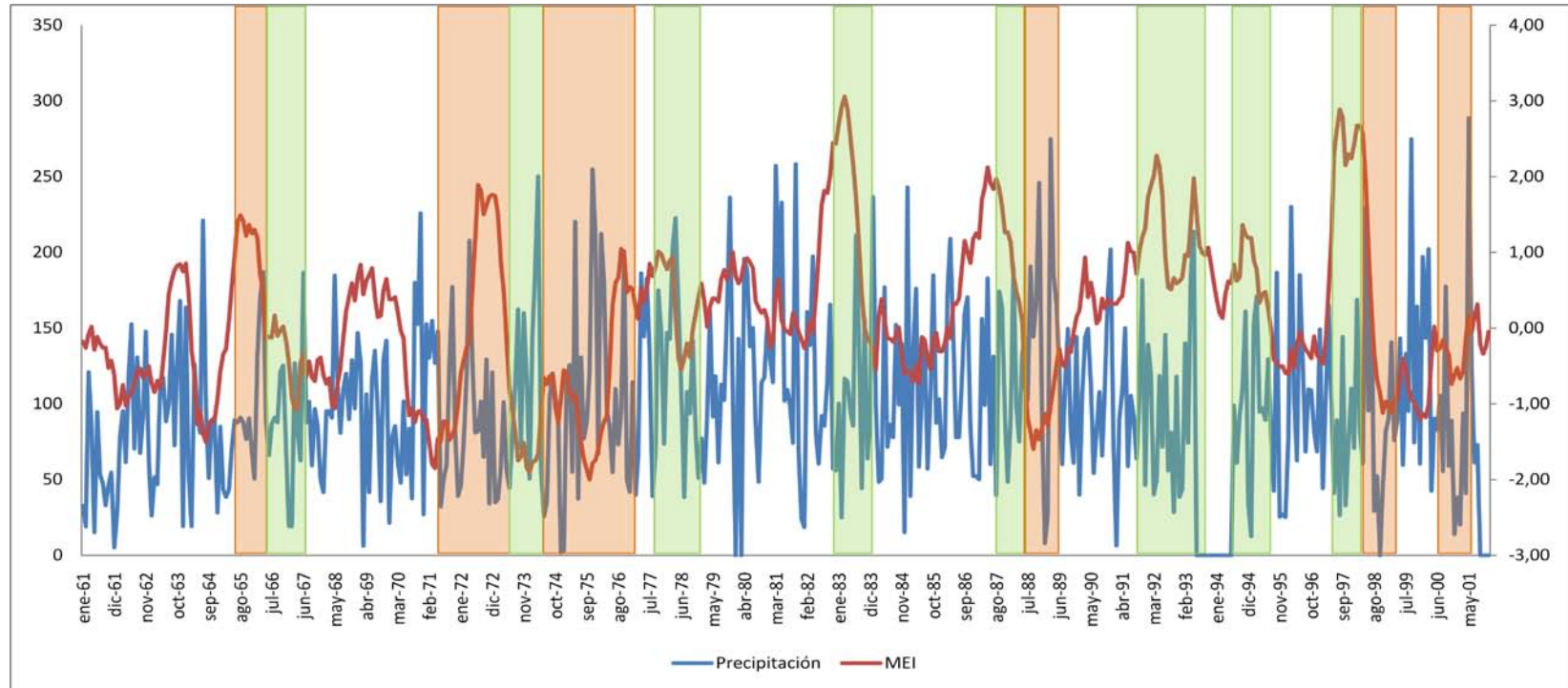
Figura 15. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Tona.

- Periodos Niña
- Periodos Niño

Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de precipitación igual a 767 mm/mes relacionado a un periodo Niña y también a un índice del MEI bajo igual a -1.5 en Mayo de 1971. También se denotan varias épocas con precipitaciones nulas asociados a periodos muy fuertes del Niño, como por ejemplo Enero de 1992 y Febrero de 1983, con valores altos del MEI iguales a 1.878 y 2.917 respectivamente. No siempre los periodos de máxima lluvia están asociados a eventos de la Niña, como se puede observar en el mes de abril de 1982 donde se presenta un valor de precipitación de 643 mm asociados a la fase inicial de un periodo muy fuerte del Niño. Esto indica que la situación del Pacífico en este mes (de fase el Niño) no se ve reflejado en la precipitación del mismo mes para esta estación.

3.1.2 Estación UIS



- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 16. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación UIS. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 288.7 mm relacionado a un periodo Niña y también a un índice del MEI bajo igual a 0.165 en Mayo de 2001. También se denota que la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 no está asociada a un periodo Niño, sino por lo contrario se asocia a una época muy débil de la Niña con un valor de la precipitación de 1.8 mm y de -1.906 para el MEI. Una época precipitación baja en Enero de 1995 con un valor de 12.5 mm y de -0.605 para el MEI, asociado a un periodo Niño.

3.1.3 Estación Matajira

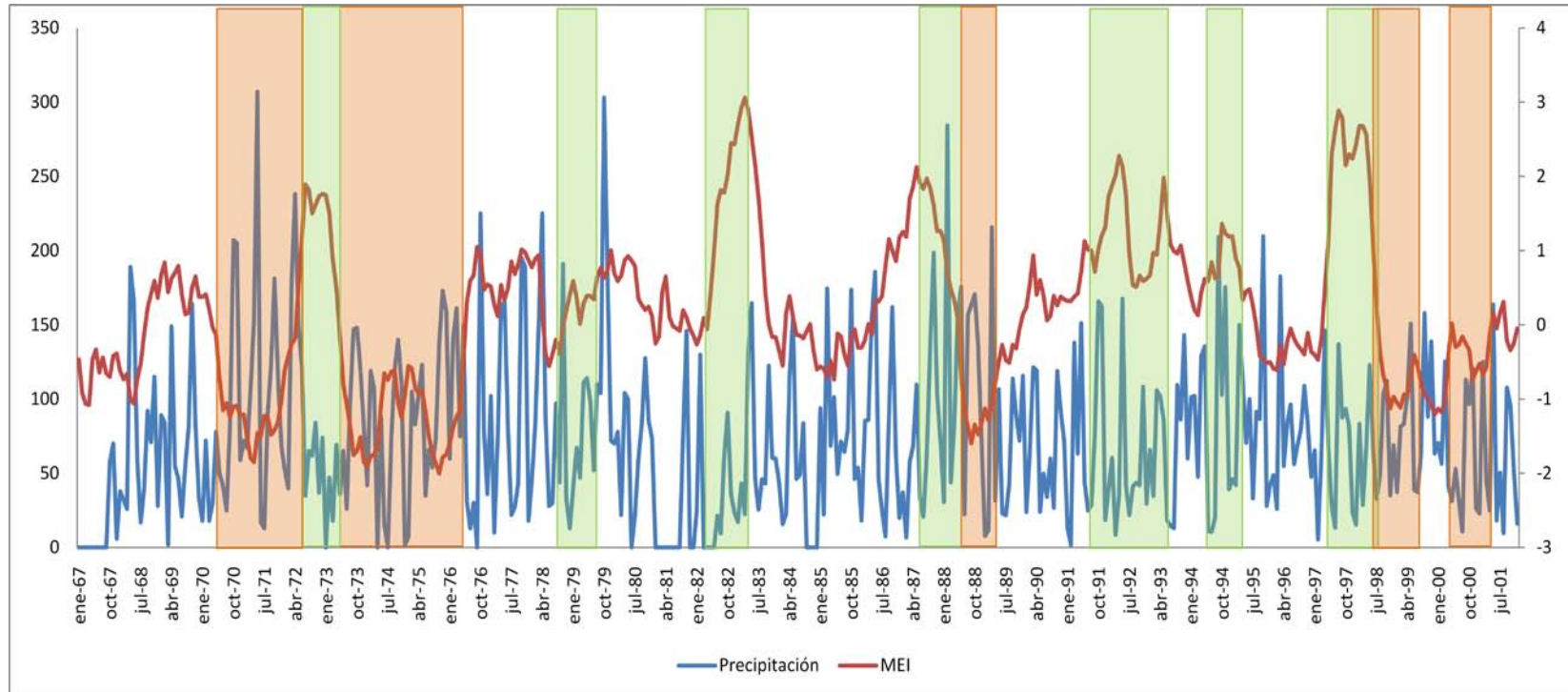
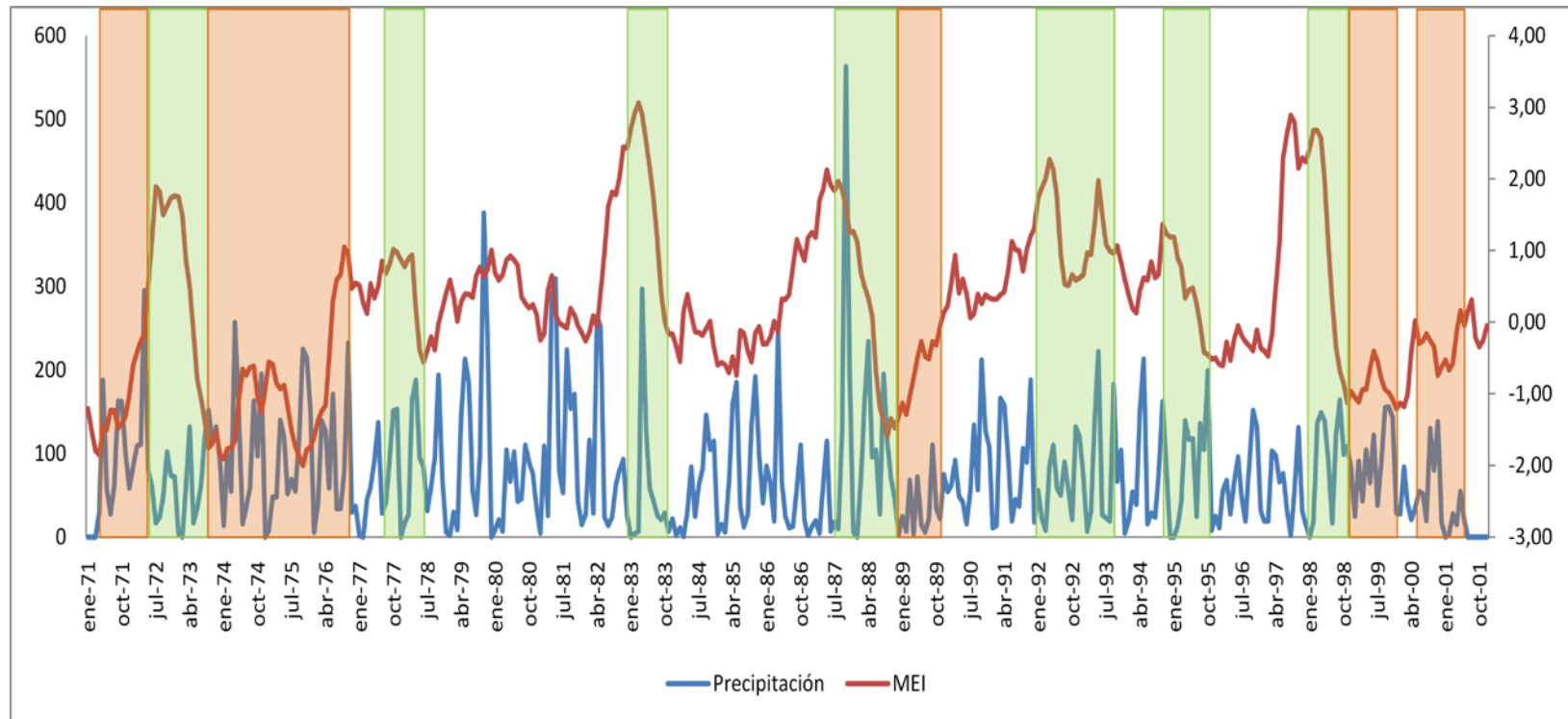


Figura 17. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Matajira. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Periodos Niña
 Periodos Niño

Para esta estación se observa un valor máximo de la precipitación igual a 307 mm relacionado a un periodo Niña y también a un índice del MEI bajo igual a -1.5 en Mayo de 1971. También se observa una anomalía en la época con precipitación nula asociado a una época fuerte de la Niña en Enero de 1974, con un MEI bajo de -1.906.

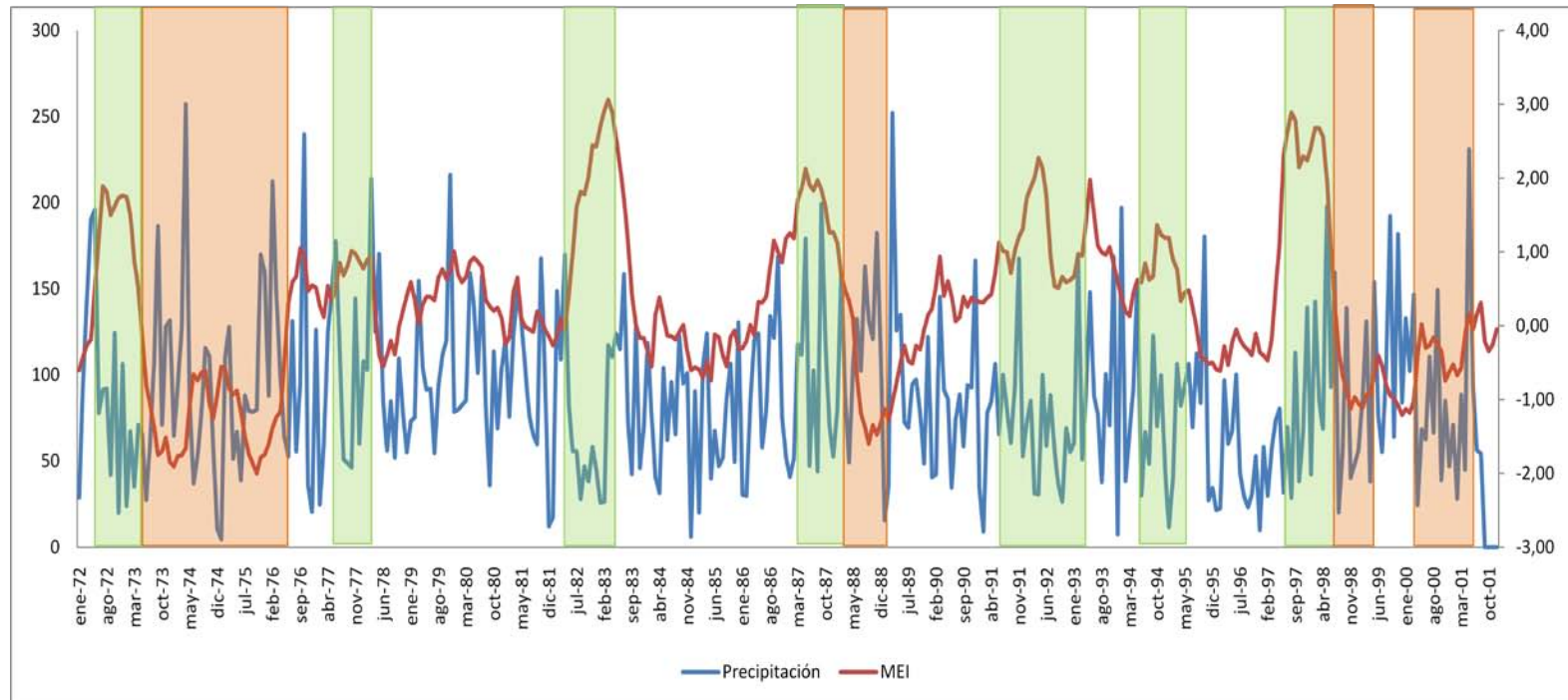
3.1.4 Estación Vetás – El Pozo



Periodos Niña **Figura 18. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vetás-El Pozo.**
 Periodos Niño **Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**

Para esta estación se nota una anomalía, debido a que un valor máximo de la precipitación igual a 563 mm está relacionado a un periodo Niño y también a un índice del MEI alto igual a 1.612 en Octubre de 1987. También se denotan varias épocas con precipitaciones nulas asociados a periodos fuertes del Niño, como por ejemplo Diciembre de 1994 y Enero de 1983, con valores altos del MEI iguales a 1.189 y 2.917 respectivamente. Este análisis visual no refleja un aumento considerable de la precipitación en eventos de la Niña.

3.1.5 Estación La Flora

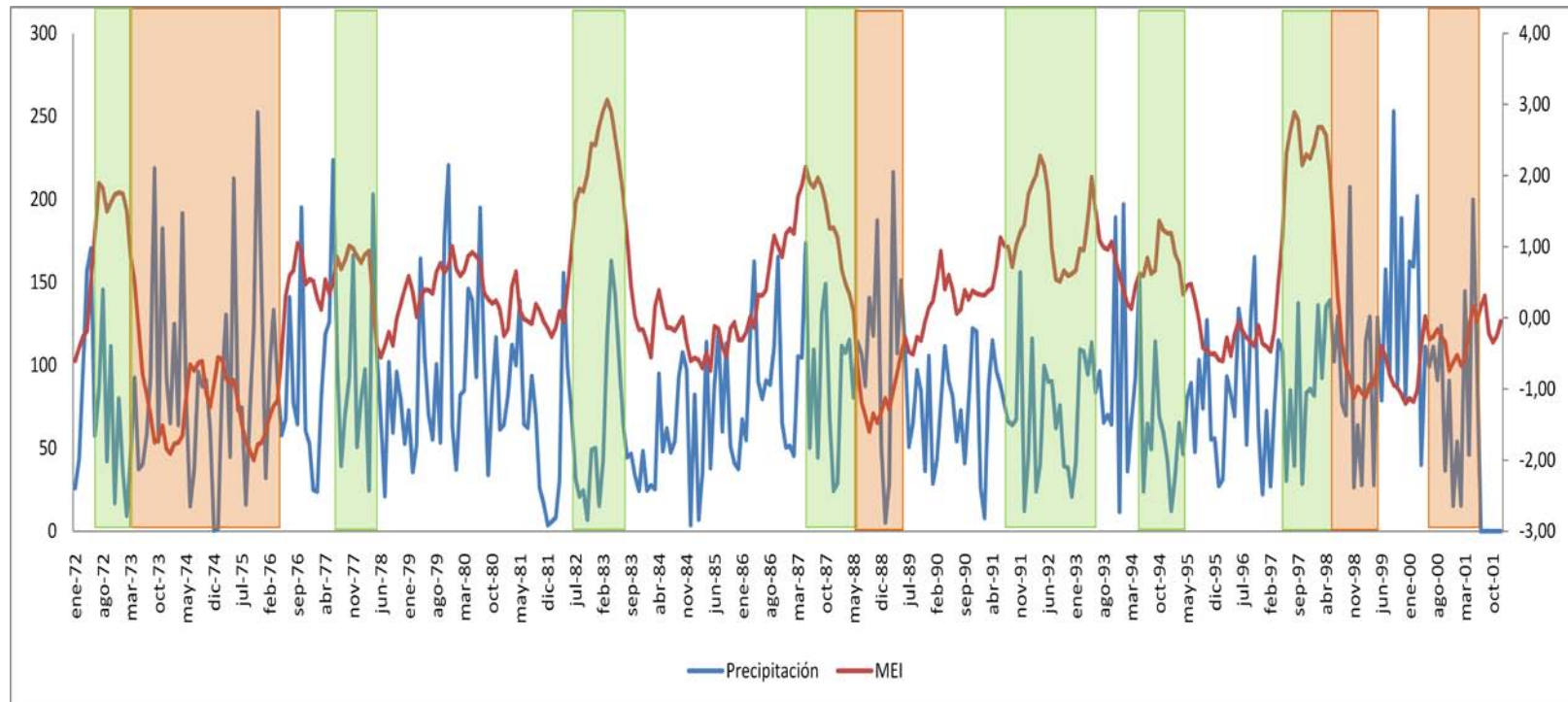


- Periodos Niña
- Periodos Niña

Figura 19. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Flora. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 257.1 mm relacionado a un periodo muy fuerte de la Niña y también a un índice del MEI bajo igual a -1.658 en Abril de 1974. También se denota que la época de precipitación más baja que se encuentra en Enero de 1975 no está asociada a un periodo Niño, sino por lo contrario se asocia a una época muy débil de la Niña con un valor de la precipitación de 4.7 mm y de -0.587 para el MEI. Una época precipitación baja en Enero de 1995 con un valor de 11.7 mm y de -0.605 para el MEI, asociado a un periodo Niño. Se observan varios meses con baja precipitación en el período Niño del año 1982-1983.

3.1.6 Estación CDMB

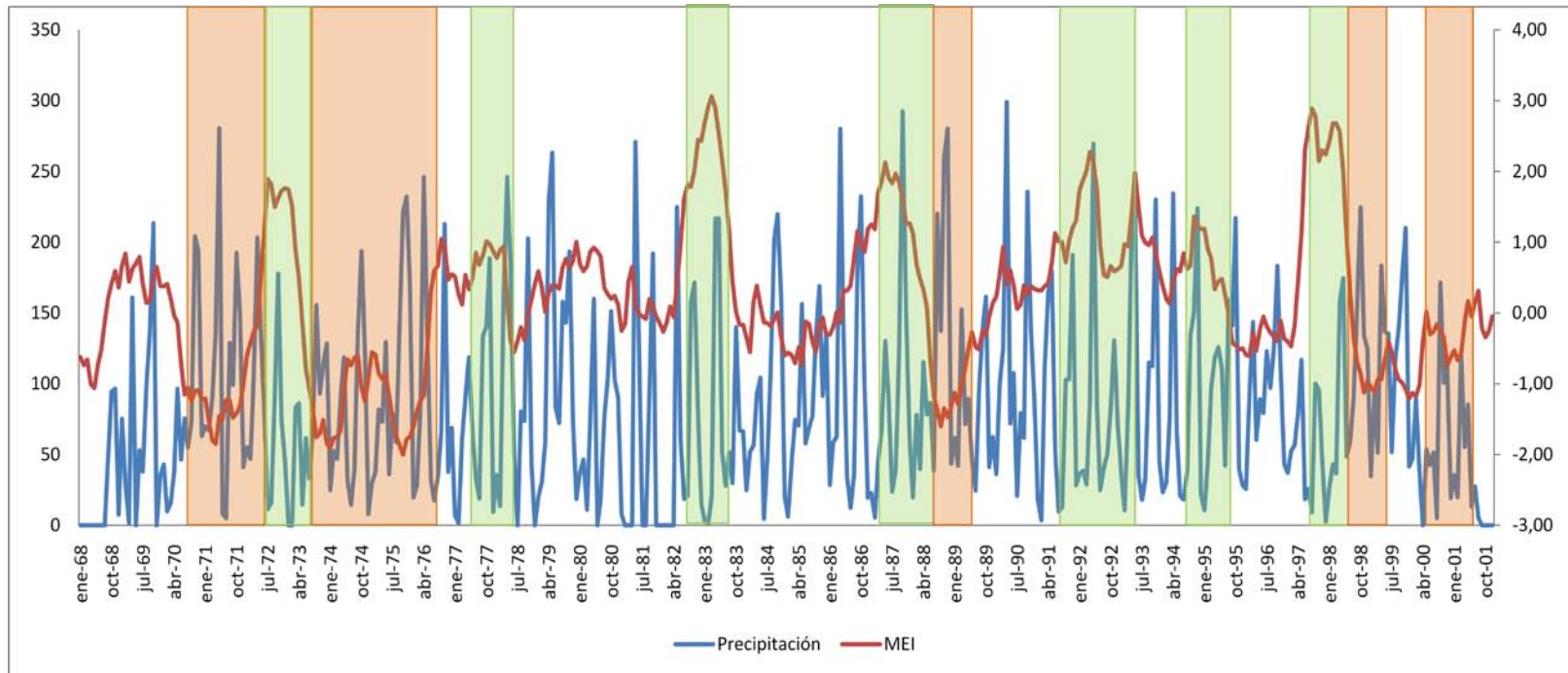


- Periodos Niña
- Periodos Niña

Figura 20. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación CDMB. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 252.8 mm relacionado a una época normal con un índice del MEI bajo igual a -0.941 en Septiembre de 1999. También se denota que la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 no está asociada a un periodo Niño, sino por lo contrario se asocia a una época muy débil de la Niña con un valor de la precipitación de 0.5 mm y de -1.906 para el MEI. Al igual que en la estación la Flora, el evento Niño 1982-83 produjo varios meses consecutivos con baja precipitación.

3.1.7 Estación Vivero Suratá



Periodos Niña **Figura 21. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vivero Suratá. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**
 Periodos Niño

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 299.1 mm relacionado a una época normal con un índice del MEI igual a 0.603 en Abril de 1990. También se denota que existen dos meses con precipitación totalmente nula, que corresponden a los meses en Enero y Febrero de 1973 asociados a un periodo muy fuerte del Niño, con un valor del MEI de 1.746 y 1.506 respectivamente.

3.1.8 Estación El Picacho

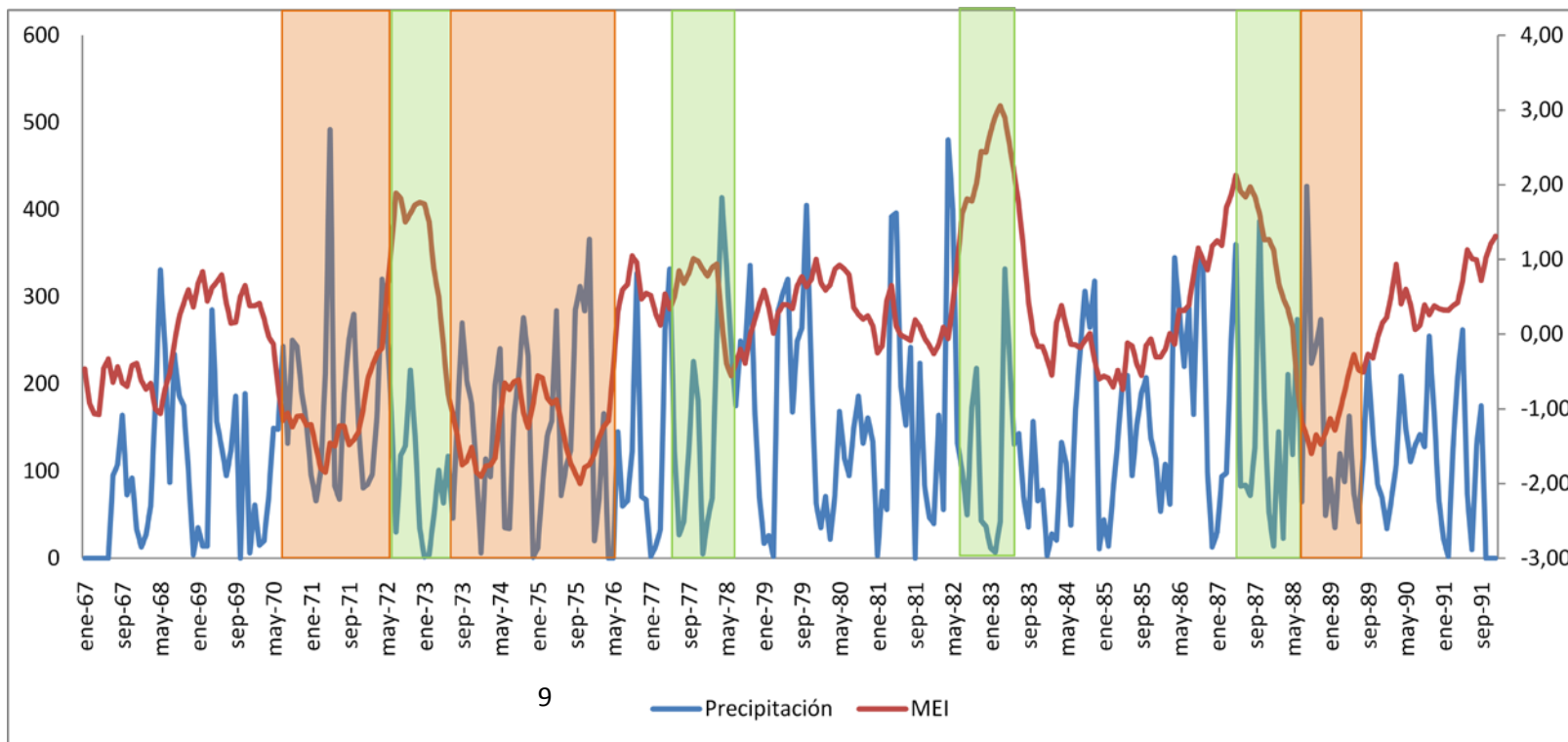
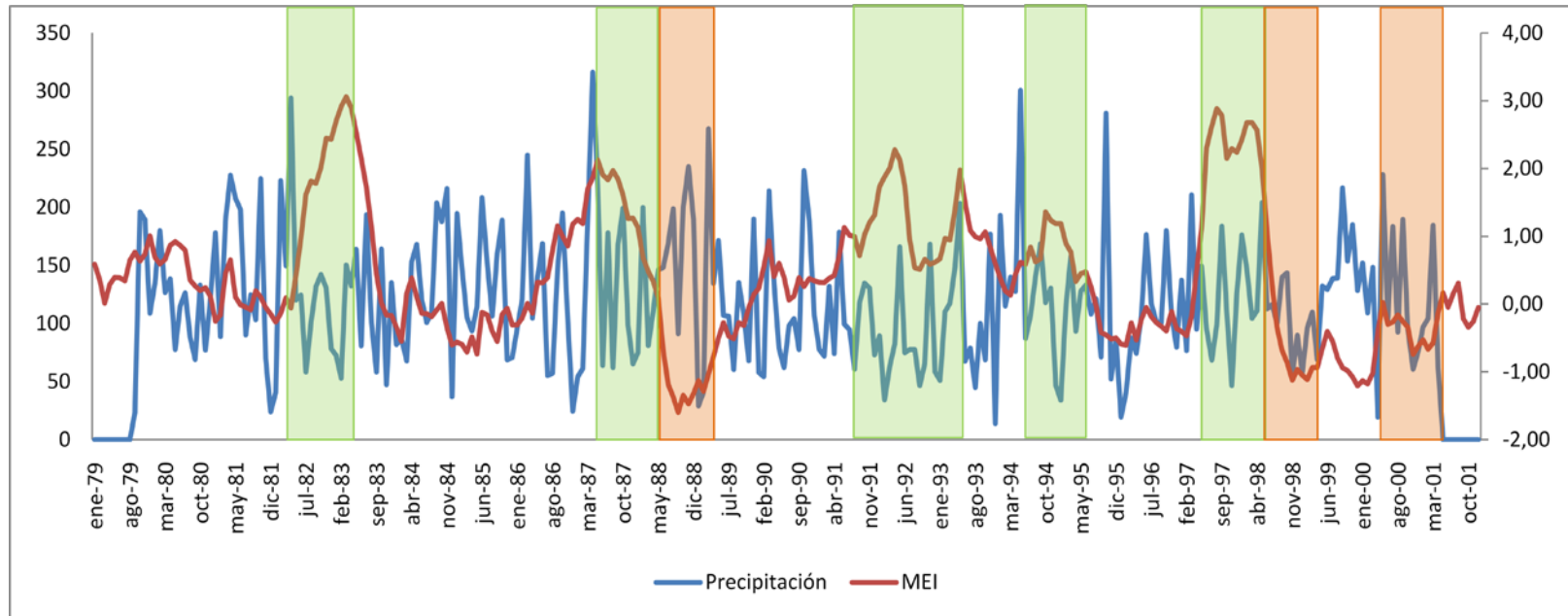


Figura 22. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 492 mm relacionado a un periodo Niña y también a un índice del MEI bajo igual a -1.5 en Mayo de 1971. También se denota que la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 no está asociada a un periodo Niño, sino por lo contrario se asocia a una época muy débil de la Niña con un valor de la precipitación de 1.0 mm y de -1.906 para el MEI.

3.1.9 Estación La Esperanza

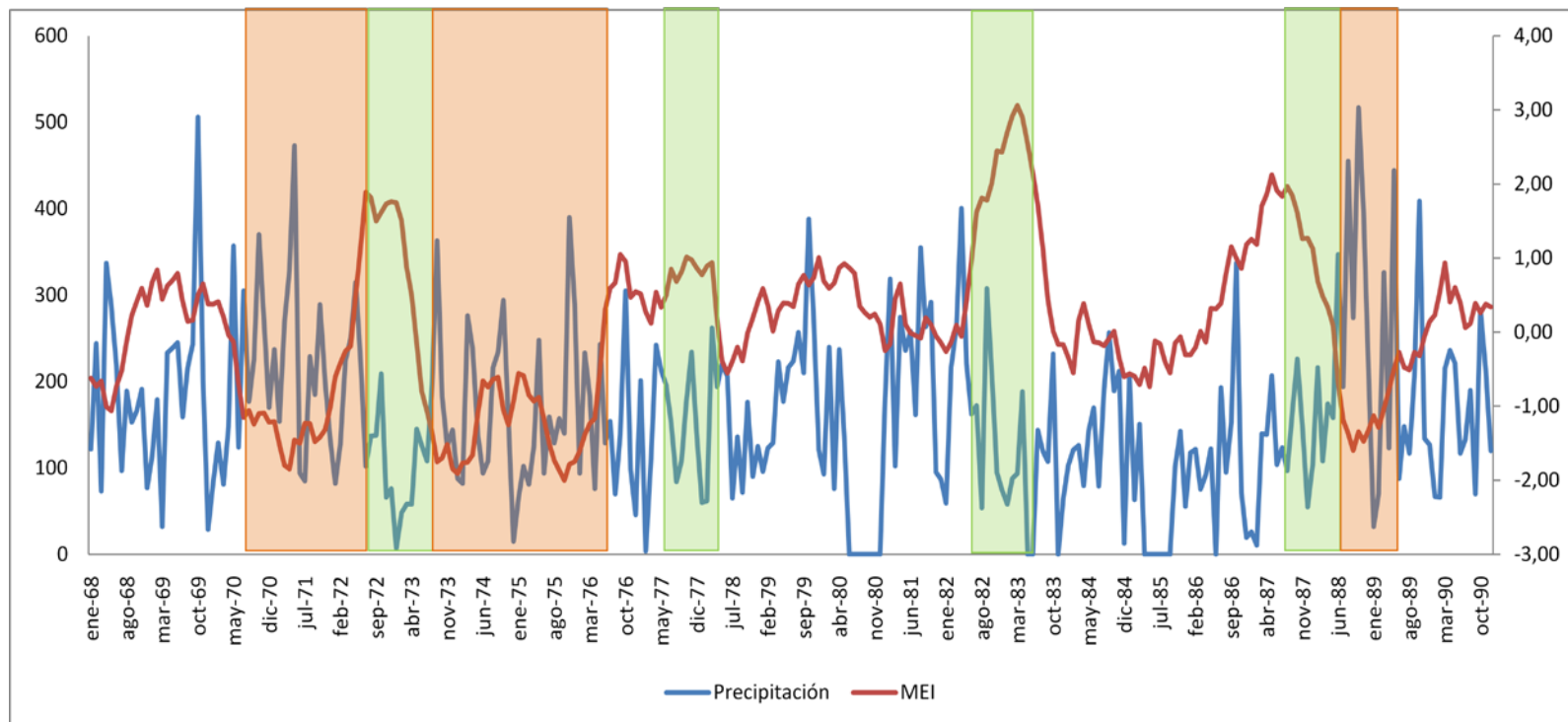


- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 23. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 316.3 mm relacionado a una época normal con un índice del MEI alto igual a 2.125 en Abril de 1987. También se observa que el periodo de precipitación más bajo que se encuentra el mes de Diciembre de 1993 está asociado a una época normal, con un valor de 13.9 mm y 0.667 para el MEI. En los eventos del Niño 82-83 y de 91-92 se observan varios meses consecutivos con baja precipitación. Este análisis visual permite concluir meses extremos (mas o menos lluviosos) no necesariamente están relacionados con la presencia del fenómeno ENSO.

3.1.10 Estación La Galvicia



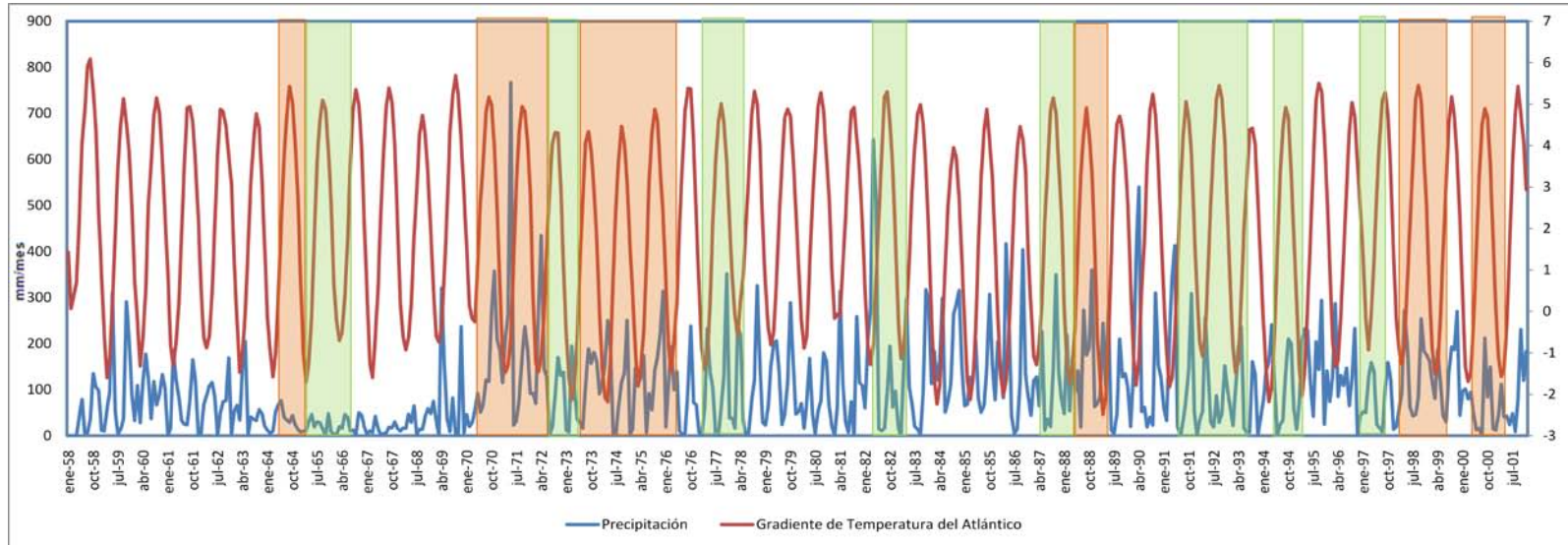
Periodos Niña **Figura 24. Índice MEI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**
 Periodos Niño

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 517 mm relacionado a un periodo Niña y también a un índice del MEI bajo igual a -1.473 en Octubre de 1988. También se observa que el periodo de precipitación más bajo que se encuentra el mes de Febrero de 1977 está asociado a una época normal del año, con un valor de 4.0 mm y 0.272 para el MEI.

3.2 Precipitación vs Gradiente de Temperatura del Atlántico

A continuación en las figuras 24 a la 33 se presenta un análisis gráfico para cada una de las estaciones, haciendo un símil entre precipitaciones, el Gradiente de Temperatura del Atlántico y los periodos que a lo largo de la historia fueron denotados como épocas Niño y Épocas Niña. A pesar que este gradiente de temperatura presenta cierta periodicidad (como consecuencia del ciclo anual de radiación), se han observado en algunas regiones de América del Sur algunos efectos que pueden tener las anomalías de temperaturas del atlántico (representadas en este índice) con la precipitación. En general para estas regiones, un aumento de las temperaturas del atlántico tropical Norte en relación a las temperaturas del Atlántico tropical sur (anomalía positiva del índice), modifican los patrones de circulación que inhiben la precipitación en estas regiones.

3.2.1 Estación Tona

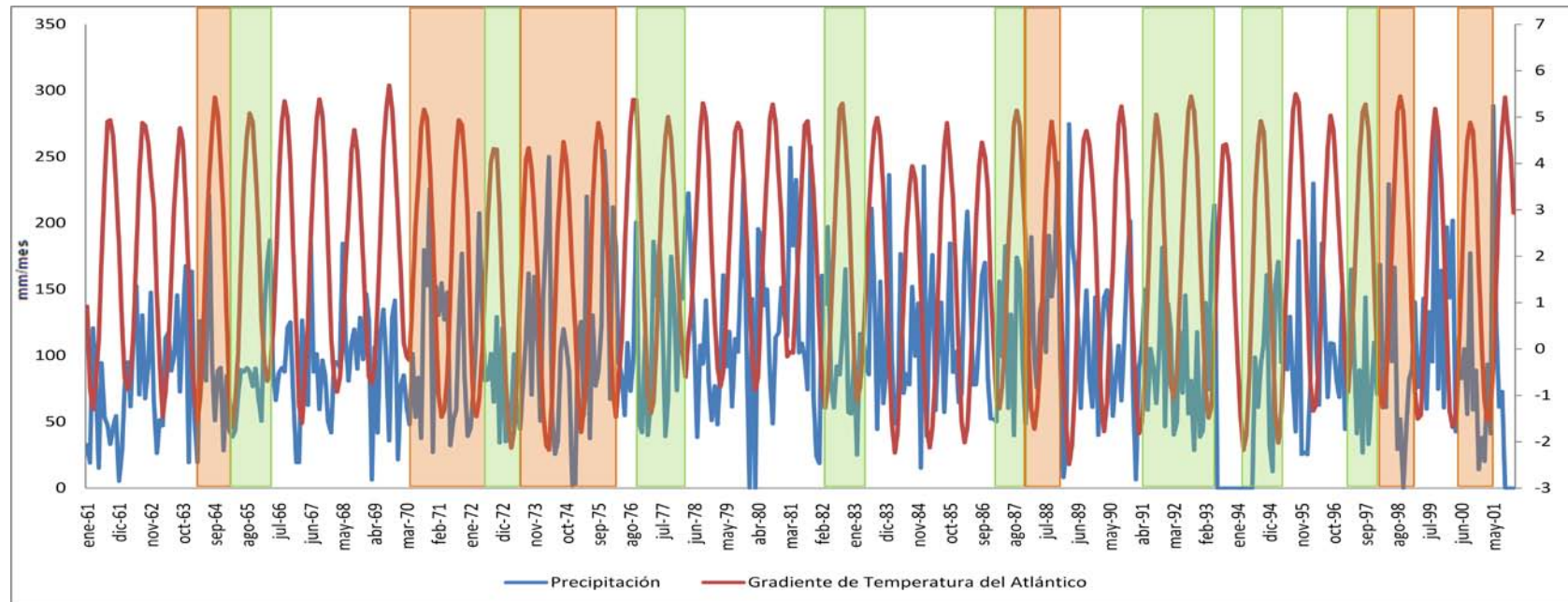


- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 25. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Tona. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para el valor máximo del Gradiente de Temperatura del Atlántico que es de 6.09 y se dió en septiembre de 1958 se encuentra una precipitación relativamente baja de 35 mm. Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 767 mm relacionado a un valor negativo del Gradiente de Temperatura del Atlántico igual a -0.59 en Mayo de 1971 y adicionalmente a esto se encuentra en un periodo Niña. También se denotan varias épocas con precipitaciones nulas, como por ejemplo Enero de 1992 y Febrero de 1983, con valores diversos del Gradiente de Temperatura del Atlántico iguales a 0.47 y -1.14 respectivamente. (En esta grafica se presenta una escala secundaria, correspondiente a los valores del Gradiente de Temperatura del Atlántico).

3.2.2 Estación UIS

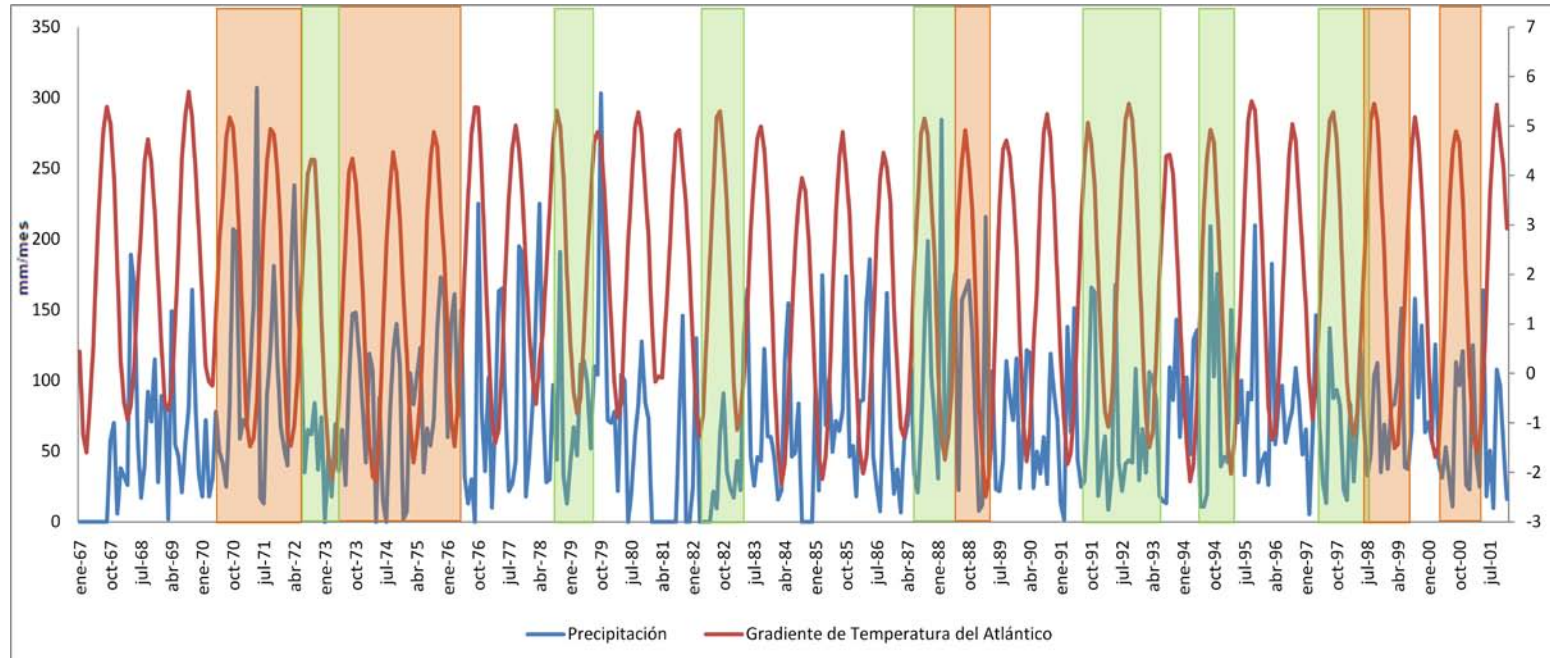


- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 26. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación UIS. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para el valor máximo del Gradiente de Temperatura del Atlántico que es de 5.69 y se dio en septiembre de 1969 se encuentra una precipitación relativamente baja de 35.7 mm. Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 288.7 mm relacionado a un valor del Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo igual a -0.33 en Mayo de 2001. En la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 con valores de la precipitación de 1.8 mm y de 1.62 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico. Otro fuerte valor marcado para esta estación se da en Septiembre de 1999 con un valor alto de precipitación correspondiente a 274.8 mm y un Gradiente de Temperatura del Atlántico alto igual a 5.18.

3.2.3 Estación Matajira



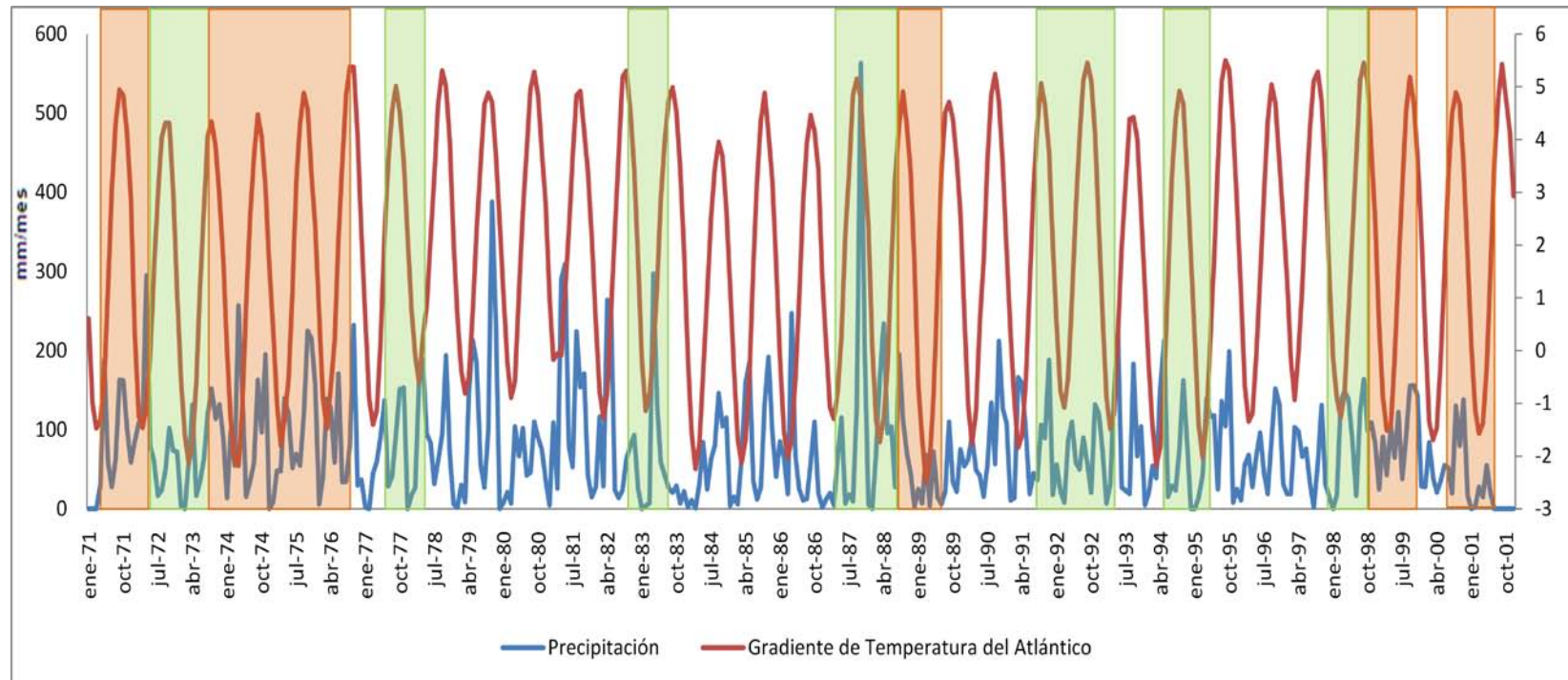
■ Periodos Niña

Figura 27. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Matajira. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

■ Periodos Niño

Para esta estación se observa un valor alto de la precipitación de 215.7 mm correspondiente al valor más bajo del Gradiente de Temperatura del Atlántico de -2.49 dado en Marzo de 1989. Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 307 mm relacionado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo de -0.59 en Mayo de 1971 y que además coincide con una época Niña. También se denota una época con precipitación nula asociado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico igual a 0.01 en Enero de 1974 y que además coincide con un periodo Niño. Se ve otro Pico en la Precipitación de 303 mm asociado a un valor alto del Gradiente de Temperatura del Atlántico de 4.71.

3.2.4 Estación Vetás – El Pozo



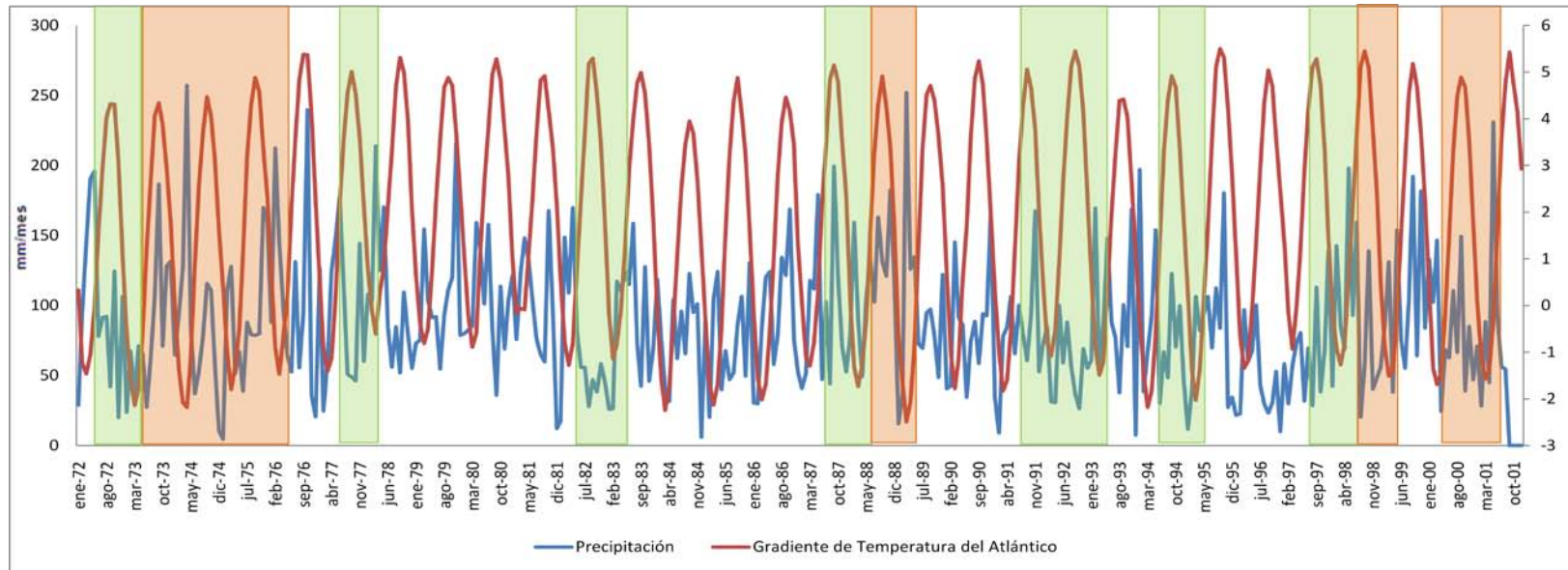
■ Periodos Niña

Figura 28. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vetás-El Pozo. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

■ Periodos Niño

Para esta estación el valor máximo de la precipitación igual a 563 mm y está relacionado a un valor del Gradiente de Temperatura del Atlántico alto igual a 4.79 en Octubre de 1987. También se denotan varias épocas con precipitaciones nulas, como por ejemplo Diciembre de 1994 y Enero de 1983, con valores del Gradiente de Temperatura del Atlántico diversos e iguales a 1.79 y -0.18 respectivamente.

3.2.5 Estación La Flora

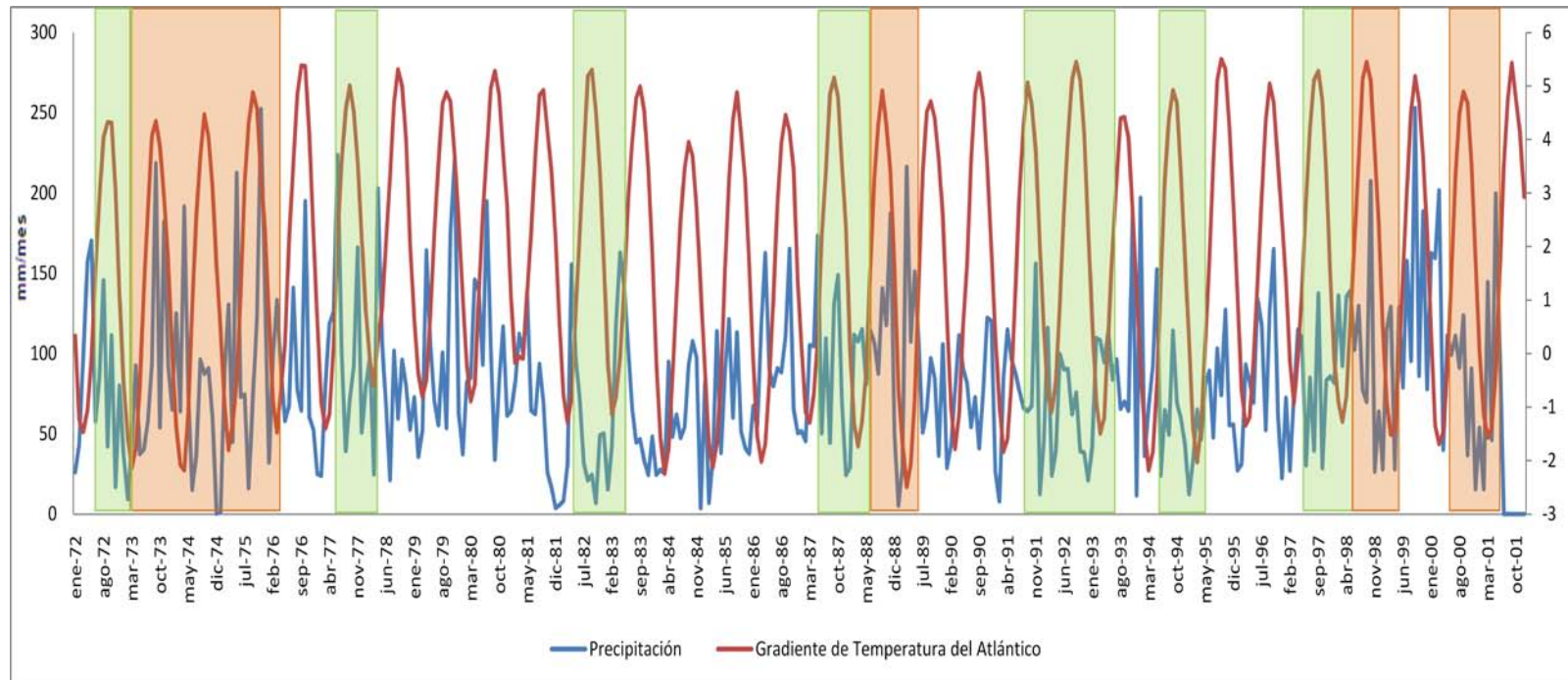


- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 29. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Flora. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se observa un valor alto de la precipitación de 252.1 mm correspondiente al valor más bajo del Gradiente de Temperatura del Atlántico de -2.49 dado en Marzo de 1989. Se observa también un valor máximo de la precipitación igual a 257.1 mm relacionado a un índice del Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo de -2.18 en Abril de 1974 y que además se encuentra en una época Niña. La época de precipitación más baja que se encuentra en Enero de 1975 con un valor de la precipitación de 4.7 mm y de 0.42 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico. Una época precipitación baja en Enero de 1995 con un valor de 11.7 mm y de 0.25 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico.

3.2.6 Estación CDMB



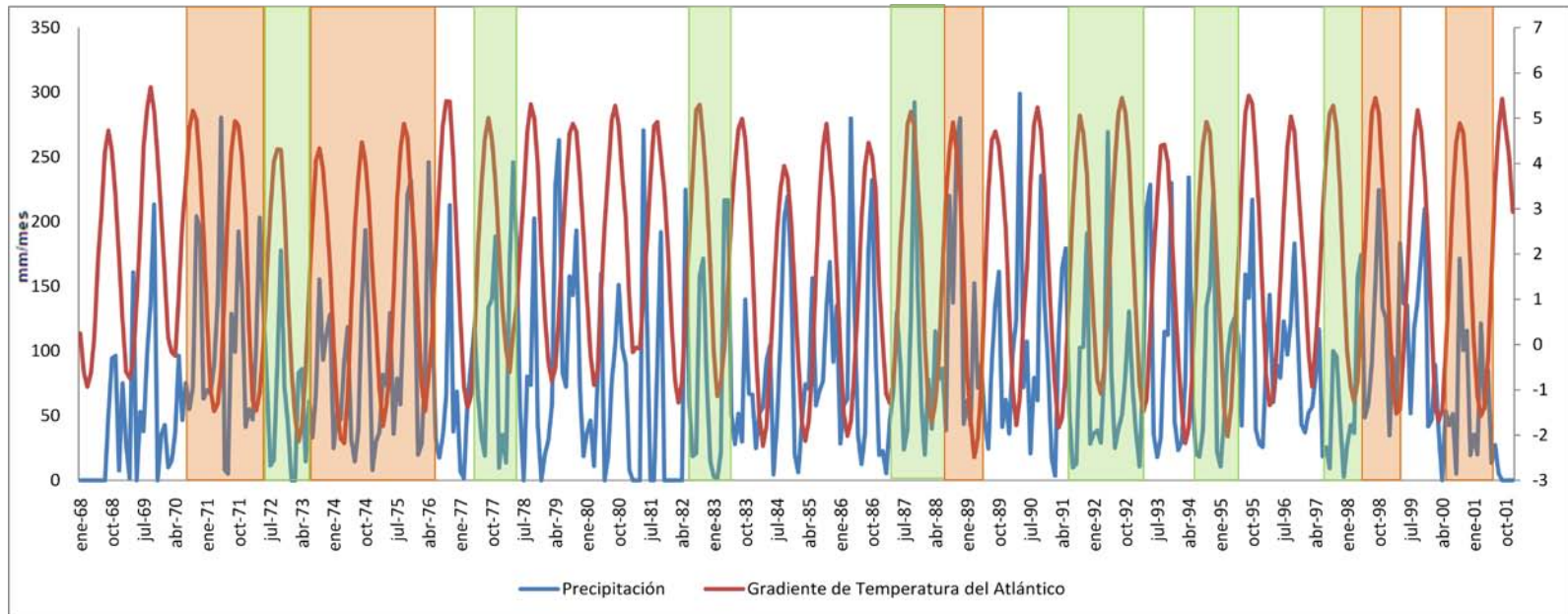
■ Periodos Niña

Figura 30. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación CDMB. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

■ Periodos Niño

Se observa un importante acontecimiento importante en noviembre de 1975 con una precipitación de 252.4 mm asociado a un valor de Gradiente de Temperatura del Atlántico alto de 3.34. Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 252.8 mm relacionado con un índice del Gradiente de Temperatura del Atlántico alto de 5.18 en Septiembre de 1999. También se denota que la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 está asociada a un valor de la precipitación de 0.5 mm y de 1.62 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico.

3.2.7 Estación Vivero Suratá



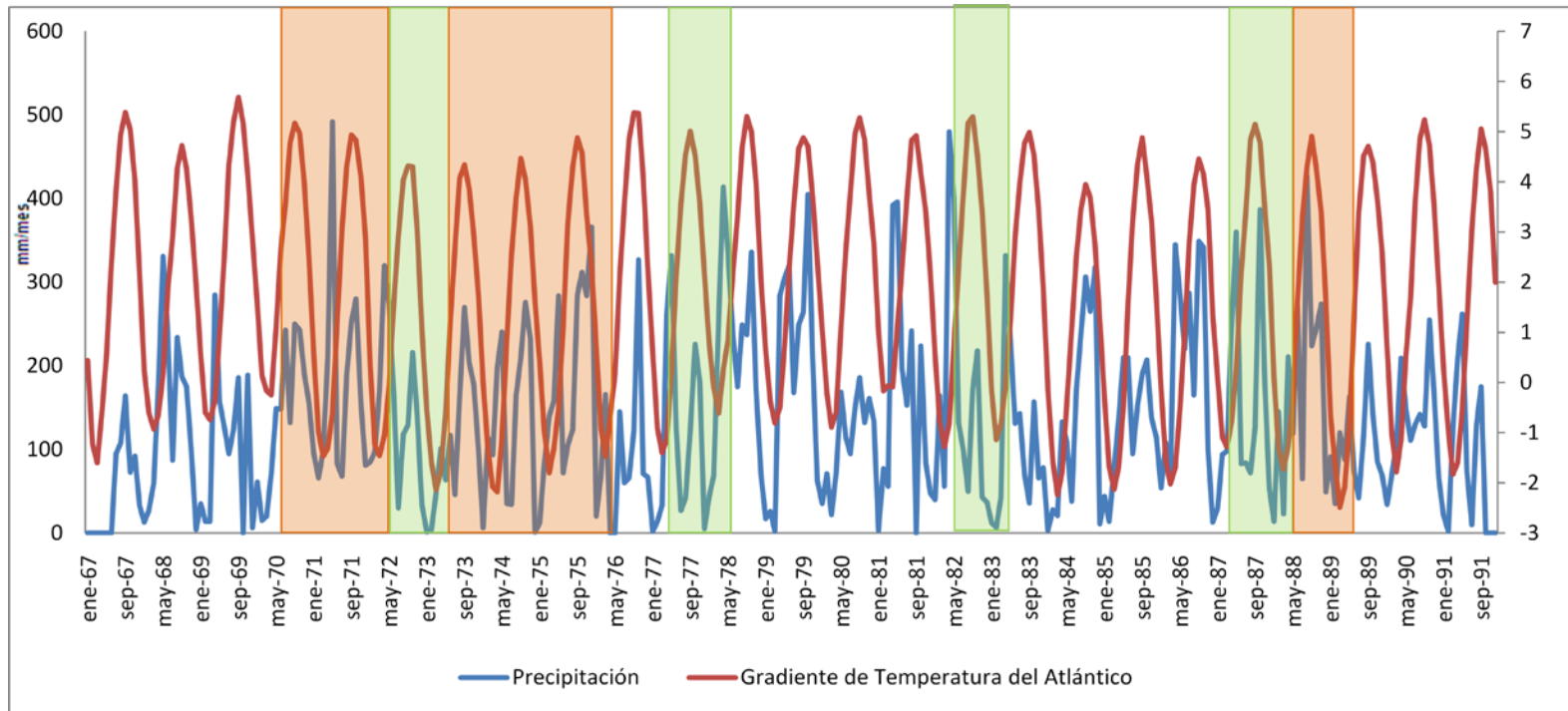
■ Periodos Niña

Figura 31. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vivero Suratá. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

■ Periodos Niño

En general, para esta estación se observa una gran influencia del Gradiente de Temperatura del Atlántico en las precipitaciones ya que casi en la mayoría de los casos un aumento en este índice traduce un aumento en las temperaturas y caso contrario para una disminución en el índice se ve una disminución en la precipitación. Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 299.1 mm relacionado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo de -1.15 en Abril de 1990. También se denota que existen dos meses con precipitación totalmente nula, que corresponden a los meses en Enero y Febrero de 1973, con unos valores negativos del Gradiente de Temperatura del Atlántico de -0.55 y -1.59 respectivamente y que además se encuentran asociados a periodos Niño.

3.2.8 Estación El Picacho



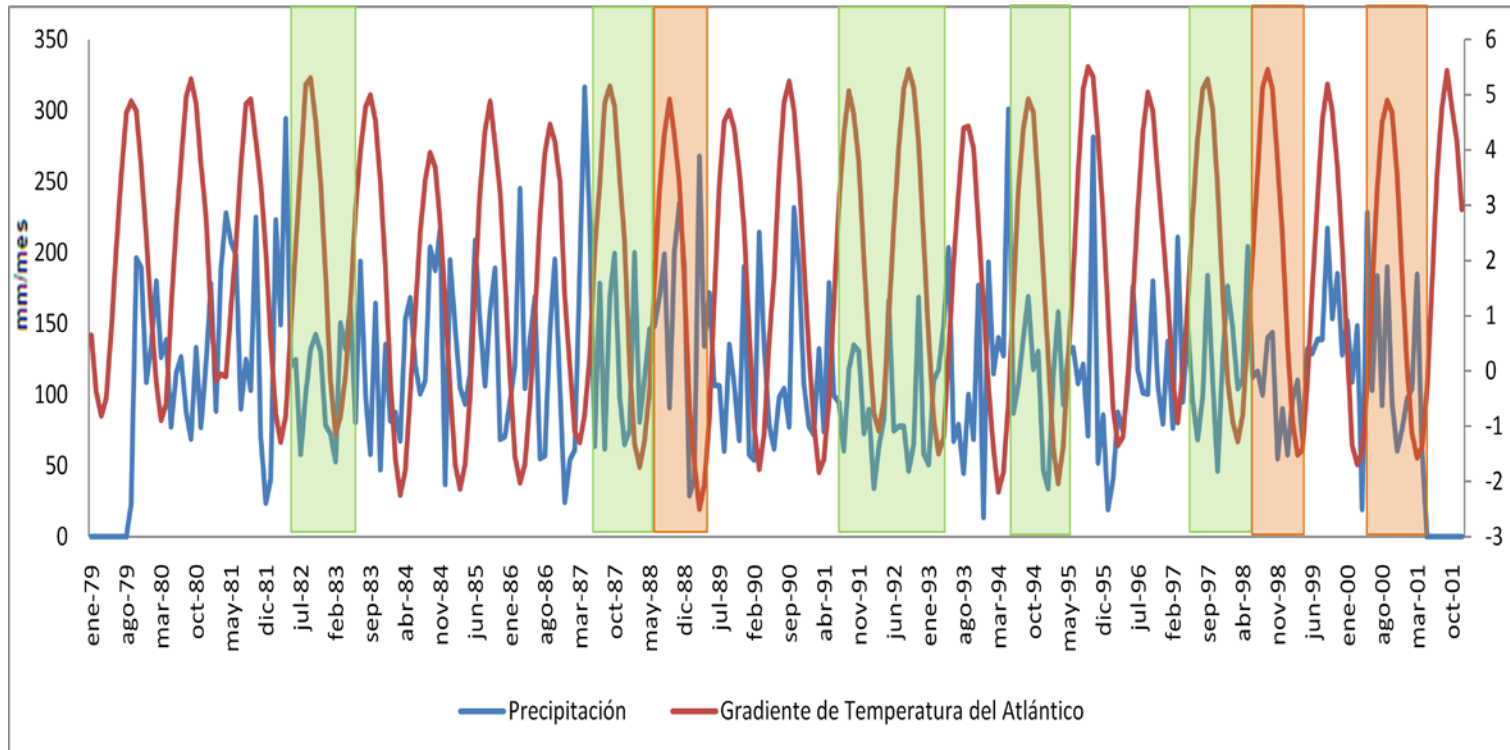
Periodos Niña

Figura 32. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Periodos Niño

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 492 mm relacionado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo de -0.59 en Mayo de 1971 que además está asociado a una época Niña. También se denota la época de precipitación más baja que se encuentra en Diciembre de 1974 está asociada a unos valores de la precipitación de 1.0 mm y de 1.62 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico.

3.2.9 Estación La Esperanza

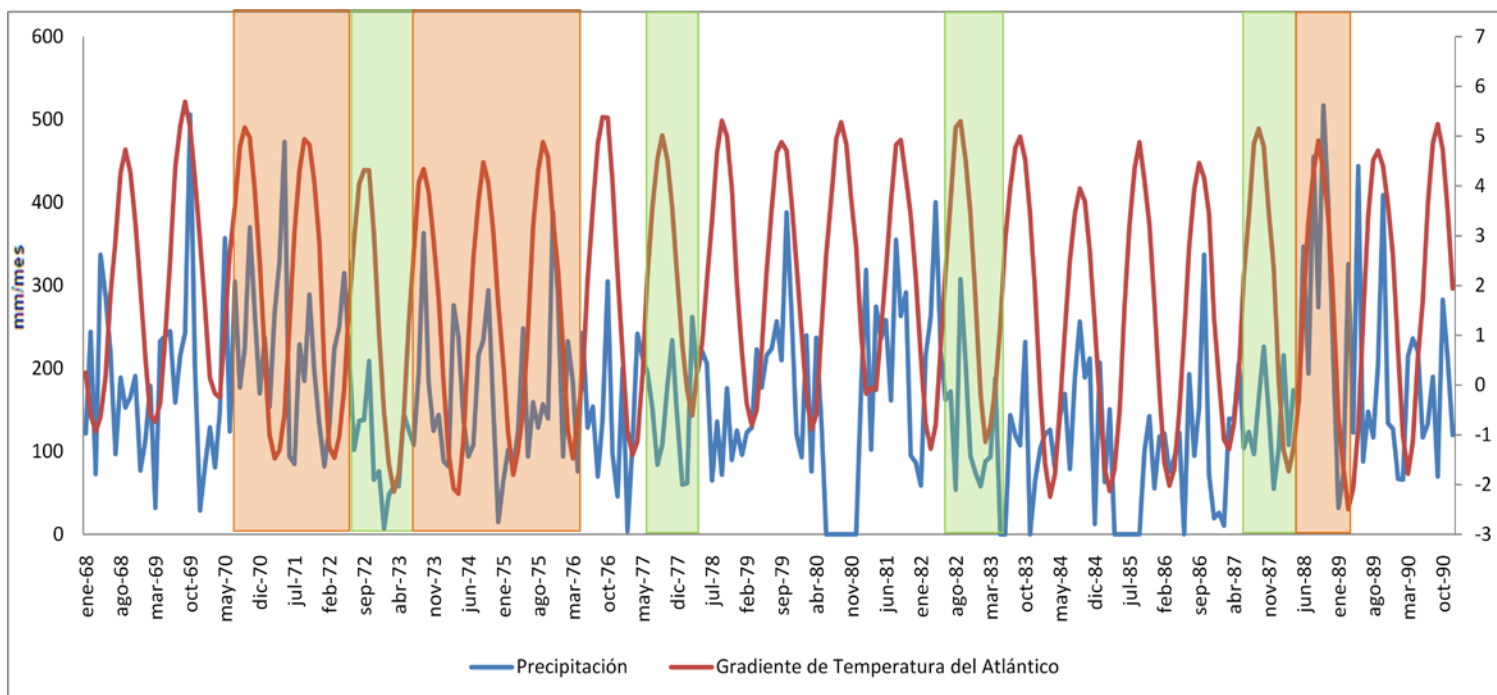


- Periodos Niña
- Periodos Niño

Figura 33. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 316.3 mm relacionado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico negativo a -0.78 en Abril de 1987. También se observa que el periodo de precipitación más bajo que se encuentra en el mes de Diciembre de 1993 tiene un valor de 13.9 mm y 1.18 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico.

3.2.10 Estación La Galvicia



Períodos Niña

Figura 34. Gradiente de temperatura del Atlántico (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.

Períodos Niño

Para esta estación se nota un valor máximo de la precipitación igual a 517 mm relacionado a un Gradiente de Temperatura del Atlántico alto de 4.27 en Octubre de 1988. Otro evento importante de precipitación se presenta en octubre de 1969 con un valor de 506 mm y un Gradiente de Temperatura del Atlántico considerablemente alto de 5.17. También se observa que el periodo de precipitación más bajo que se encuentra en el mes de Febrero de 1977 tiene un valor de 4.0 mm y -0.92 para el Gradiente de Temperatura del Atlántico.

A partir de este análisis visual entre los índices y las precipitaciones se puede concluir que:

En general, para la mayoría de las estaciones se observa un aumento en los valores de las precipitaciones en periodos Niña, mostrando valores altos o positivos para el Índice del SOI y valores pequeños o negativos para el Índice del MEI; se puede ver también que para casi todas las estaciones los periodos más afectados por la Niña fueron desde junio de 1970 hasta mayo de 1972 y desde junio de 1988 hasta mayo de 1989.

Por otra parte para los periodos Niño se observó también una clara disminución en los valores de las precipitaciones, mostrando valores negativos o bajos para el Índice del SOI y valores positivos o altos para el Índice del MEI. En varias estaciones se encontraron épocas totalmente secas asociadas a épocas Niño. Los períodos Niño que tuvieron mayor incidencia en la mayoría de las estaciones fueron los de 1982-1983 y 1991-1992.

Los análisis de las precipitaciones relacionados con el Índice SOI son muy similares a los del MEI y presentan una relación inversamente proporcional, es decir un aumento en el MEI significa una disminución en el SOI y una disminución en el MEI se traduce en un aumento en el SOI. Los gráficos de precipitación vs Índice del SOI se encuentran del anexo 2 al anexo 11.

En las series de tiempo se observa que algunos meses con lluvias altas o bajas no están necesariamente asociados a eventos de La Niña o El Niño, indicando que otros fenómenos locales o macroclimáticos pueden ser determinantes.

Este análisis visual no permite obtener conclusiones en relación al comportamiento de la precipitación en condiciones del gradiente de temperatura con valores altos o bajos. El análisis estadístico que se presenta más adelante nos permitirá cuantificar el grado de correlación entre estos fenómenos.

3.3 Análisis de las Correlaciones

Como se pudo observar anteriormente, el análisis visual permite, en algunos casos, obtener algunas conclusiones del comportamiento de la precipitación en relación a anomalías positivas o negativas de índices macroclimáticos, sin embargo, es necesario cuantificar estadísticamente esta correlación. De igual forma es necesario el análisis de correlación considerando meses de rezago entre el índice y la precipitación, una vez que una anomalía de temperatura en el pacífico puede demorar algún tiempo (rezago) en afectar el clima de determinada región. Estos dos puntos serán analizados en esta sección, siguiendo la metodología descrita anteriormente. Las tablas 2 a 4 presentan el valor de correlación directa (mismo trimestre del índice vs mismo trimestre de precipitación) y su significancia estadística (con una confiabilidad del 95%). Las tablas 5 a 7 presenta el valor de la correlación rezagada (valor de precipitación del trimestre vs valor del índice del trimestre anterior) y su significancia estadística.

3.3.1 Correlaciones Directas

Tabla 2. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y el índice SOI trimestral.

Estación	PRECIPITACION vs SOI							
	Dic-Ene-Feb		Mar-Abr-May		Jun-Jul-Ago		Sep-Oct-Nov	
	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r
Tona	SI	0,4	NO	0	SI	0,42	SI	0,31
UIS	NO	0,01	NO	0,16	NO	0,3	NO	0,22
Matajira	NO	0,34	NO	0,13	NO	0,27	NO	0,24
Vetas - El Pozo	SI	0,36	NO	-0,19	SI	0,5	NO	0,1
La Flora	NO	0,19	NO	0,06	NO	0,23	NO	0,3
CDMB	NO	0,11	NO	-0,02	NO	0,12	SI	0,43
Vivero Suratá	SI	0,57	NO	-0,12	SI	0,42	NO	0,26
El Picacho	SI	0,59	NO	-0,18	NO	0,39	SI	0,44
La Esperanza	NO	0,18	NO	-0,3	NO	0,28	NO	0,15
La Galvicia	SI	0,51	NO	0,33	NO	0,27	NO	0,39

Tabla 3. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y el índice Gradiente de Temperatura del Atlántico trimestral.

Estación	PRECIPITACION vs Gradiente Temperatura del Atlántico							
	Diciembre-Enero-Febrero		Marzo-Abril-Mayo		Junio-Julio-Agosto		Septiembre-October-Noviembre	
	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r
Tona	NO	-0,25	NO	-0,27	NO	-0,12	SI	-0,33
UIS	NO	0,11	NO	0,03	NO	0,23	NO	-0,17
Matajira	NO	0,02	NO	-0,27	NO	-0,19	NO	0,1
Vetas - El Pozo	NO	0,25	NO	0,27	NO	0,19	NO	-0,06
La Flora	NO	0,11	NO	0,12	NO	0,12	NO	-0,28
CDMB	NO	0,1	NO	0,12	NO	0,11	NO	-0,18
Vivero Suratá	NO	0,09	NO	0,02	NO	0,02	NO	-0,28
El Picacho	NO	0,17	NO	0,21	NO	-0,04	NO	-0,31
La Esperanza	NO	0,02	NO	-0,02	NO	-0,19	NO	-0,39
La Galvicia	SI	0,42	NO	0,06	NO	0,04	NO	0

Tabla 4. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) directa entre los valores de la precipitación trimestral de todas las estaciones analizadas y el índice MEI trimestral.

Estación	PRECIPITACION vs MEI							
	Dic-Ene-Feb		Mar-Abr-May		Jun-Jul-Ago		Sep-Oct-Nov	
	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r	Est. Significativo	r
Tona	SI	-0,41	NO	0,02	SI	-0,36	NO	-0,21
UIS	No	-0,02	NO	-0,08	NO	-0,15	NO	-0,13
Matajira	No	-0,24	NO	-0,18	NO	-0,16	NO	-0,17
Vetas - El Pozo	SI	-0,44	NO	0,12	SI	-0,36	NO	-0,06
La Flora	No	-0,14	NO	-0,12	NO	-0,11	NO	-0,2
CDMB	No	-0,1	NO	0,02	NO	-0,07	SI	-0,36
Vivero Suratá	SI	-0,62	NO	0,17	NO	-0,33	NO	-0,25
El Picacho	SI	-0,57	NO	0,14	NO	-0,25	NO	-0,34
La Esperanza	No	-0,08	NO	0,21	SI	-0,45	NO	-0,21
La Galvicia	SI	-0,49	SI	-0,42	NO	-0,27	NO	-0,33

3.3.2 Correlaciones Rezagadas un trimestre

Tabla 5. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) entre los valores del índice SOI trimestral y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.

Estación	PRECIPITACION VS SOI							
	Ppt. DEF Vs SOI SON		Ppt. MAM Vs SOI DEF		Ppt. JJA Vs SOI MAM		Ppt. SON Vs SOI JJA	
	Est. Sign.	r	Est. Sign.	r	Est. sign.	r	Est. sign.	r
Tona	SI	0,443	NO	0,081	NO	0,167	NO	0,101
UIS	NO	0,041	NO	0,139	NO	0,060	NO	0,230
Matajira	NO	0,311	NO	0,082	NO	0,095	NO	0,102
Vetas - El Pozo	SI	0,395	NO	-0,180	NO	0,072	NO	0,139
La Flora	NO	0,175	NO	0,131	NO	-0,116	NO	0,237
CDMB	NO	0,066	NO	0,076	NO	-0,013	SI	0,378
Vivero Suratá	SI	0,607	NO	-0,183	NO	0,192	NO	0,183
El Picacho	SI	0,614	NO	-0,162	NO	0,059	NO	0,331
La Esperanza	NO	0,083	NO	-0,108	NO	0,269	NO	0,123
La Galvicia	SI	0,450	SI	0,465	NO	0,045	NO	0,295

Tabla 6. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) entre los valores trimestrales del Gradiente de Temperatura del Atlántico y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.

Estación	PRECIPITACION VS GRADIENTE TEMPERATURA DEL ATLANTICO							
	Ppt. DEF Vs GTA SON		Ppt. MAM Vs GTA DEF		Ppt. JJA Vs GTA MAM		Ppt. SON Vs GTA JJA	
	Est. sign.	r	Est. sign.	r	Est. sign.	r	Est. sign.	r
Tona	NO	-0,252	NO	-0,174	NO	-0,079	SI	-0,391
UIS	NO	-0,013	NO	0,076	NO	0,184	NO	-0,235
Matajira	NO	-0,153	NO	-0,088	NO	-0,106	NO	-0,078
Vetas - El Pozo	NO	0,124	NO	0,108	NO	0,342	NO	-0,148
La Flora	NO	0,054	NO	0,072	NO	0,159	NO	-0,275
CDMB	NO	0,048	NO	0,048	NO	0,119	NO	-0,360
Vivero Suratá	NO	0,114	NO	0,025	NO	-0,038	SI	-0,376
El Picacho	NO	0,021	NO	0,183	NO	0,290	SI	-0,469
La Esperanza	NO	-0,230	NO	-0,197	NO	-0,205	SI	-0,604
La Galvicia	NO	0,242	NO	0,391	NO	0,212	NO	-0,100

Tabla 7. Valores de correlación (r) y significancia estadística (Est. Sign) entre los valores del índice MEI trimestral y los valores de la precipitación rezagados un trimestre.

Estación	PRECIPITACION vs MEI							
	Ppt. DEF Vs MEI SON		Ppt. MAM Vs MEI DEF		Ppt. JJA Vs MEI MAM		Ppt. SON Vs MEI JJA	
	Est. sign.	r	Est. sign.	r	Est. sign.	r	Est. sign.	r
Tona	SI	-0,352	NO	-0,107	NO	-0,002	NO	-0,156
UIS	NO	-0,012	NO	-0,177	NO	0,053	SI	-0,311
Matajira	NO	-0,175	NO	-0,181	NO	0,038	NO	-0,203
Vetas - El Pozo	SI	-0,513	NO	0,166	NO	0,043	NO	-0,131
La Flora	NO	-0,119	NO	-0,171	NO	0,266	NO	-0,258
CDMB	NO	-0,099	NO	-0,107	NO	0,067	SI	-0,403
Vivero Suratá	SI	-0,617	NO	0,126	NO	0,044	NO	-0,278
El Picacho	SI	-0,581	NO	0,046	NO	0,069	SI	-0,423
La Esperanza	NO	0,058	NO	0,048	NO	-0,191	SI	-0,430
La Galvicia	SI	-0,444	SI	-0,461	NO	-0,024	NO	-0,407

Las estaciones Vivero Suratá, El picacho y La Galvicia muestran correlaciones positivas (mayores de 0.5) y estadísticamente significativas entre el índice SOI del trimestre DEF y las precipitaciones del mismo trimestre (lo que indica menor precipitación en eventos el Niño y mayor en eventos la Niña). Como característica estas estaciones se encuentran a una altitud mayor a 1700 msnm. Las otras estaciones no presentan significancia estadística o el índice de correlación es bajo (<0.5).

Ninguna estación presentó un valor de correlación directa alto (> 0.5) entre el gradiente de temperatura del Atlántico y la precipitación en el mismo mes. La estación La Galvicia presenta una correlación de 0.42 (estadísticamente significativa) entre el gradiente de temperatura y la precipitación del mes de DEF.

Las correlaciones rezagadas muestran significancia estadística y correlación alta (> 0.5) entre el índice SOI de SON y la precipitación de DEF para las estaciones Vivero Suratá y El picacho. Para las otras combinaciones de rezago mostradas en la tabla 5, las correlaciones no son estadísticamente significativas o son bajas. Se pueden mencionar la correlación de aproximadamente 0,45 (estadísticamente significativa) entre la SOI de SON y la precipitación de DEF para las estaciones Tona y La Galvicia. De igual forma para el SOI de DEF y la precipitación de MAM para la estación La Galvicia.

Se pueden observar algunas correlaciones negativas importantes y estadísticamente significativas entre el gradiente de temperatura del Atlántico del trimestre JJA y la precipitación de SON en las estaciones Vivero Suratá, El Picacho y la Esperanza.

En general para el conjunto de estaciones analizadas, se tienen correlaciones importantes entre la precipitación de DEF y el índice SOI del mismo mes. Las precipitaciones del trimestre MAM presenta las menores correlaciones directas con el SOI del mismo mes.

El Gradiente de Temperatura del Atlántico no presenta mayor relación con las precipitaciones en las estaciones estudiadas, siendo solo estadísticamente significativa en el trimestre DEF de la estación La Galvicia y en el trimestre SON de la estación Tona.

De igual manera, en las correlaciones trimestrales rezagadas se observan correlaciones altas entre el SOI de SON y las precipitaciones de DEF en las estaciones analizadas. Para las correlaciones cruzadas con el índice del Atlántico no se observa un comportamiento general, siendo que algunas estaciones presentan correlaciones importantes entre el este índice en el trimestre JJA y la precipitación de SON.

4. ANALISIS NO LINEAL

Para el análisis no lineal se utilizó un programa encontrado en internet simulador de onditas el cual requiere únicamente de la entrada de los datos de las precipitaciones para dicho análisis, este programa puede ser encontrado en el enlace: <http://ion.researchsystems.com/cgi-bin/ion-p?page=wavelet.ion> y se basa en el método de la transformada en Ondita que permite el análisis de las series simultáneamente en el dominio de las frecuencias y del tiempo por medio de la utilización de familias de funciones de dos parámetros llamadas onditas. Ambos parámetros dan cuenta del escalamiento y del tiempo. La función de esta transformada se define como:

$$W(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \psi_{\lambda, t}(u) du, \text{ para } \lambda > 0$$

Donde λ es el parámetro de escala (dilatación), y t es el parámetro de localización (traslación) y $\psi(t)$ es la ondita madre. La constante de normalización $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$, es escogida de tal manera que $\int |\psi_{\lambda, t}(u)|^2 du = \int |\psi(t)|^2 dt$, para todas las escalas.

Para este trabajo se empleó como ondita madre la ondita de Morlet, ya que ésta presenta buenos resultados en series de caudal y precipitación, especialmente en localización de frecuencias. Esta ondita está definida por la siguiente expresión

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\eta^2/2}$$

Para la implementación de estas herramientas es necesario considerar una serie continua en el tiempo y de longitud tal que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos. Mediante esta herramienta también se pueden realizar análisis de coherencia entre series.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis. Es importante resaltar que las figuras muestran los períodos importantes de las series de tiempo (en la figura c de tiempo vs varianza de la derecha) y la localización en el tiempo donde determinado periodo fue importante (esto se observa en la figura b de la izquierda, por valores altos de la potencia). También se presenta para cada estación la figura de la serie de tiempo (figura a).

4.1 Estación Tona

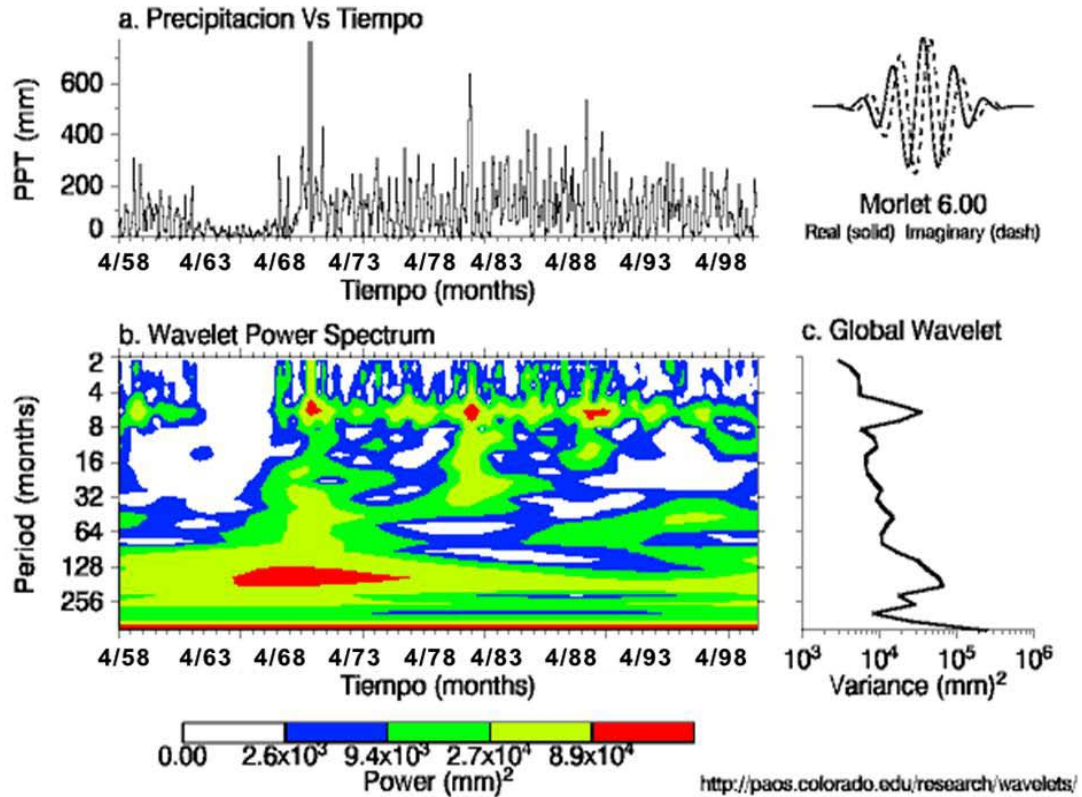


Figura 35. Espectro de potencias en onditas para la estación Tona (Precipitación).

En esta estación se observa un periodo importante de 6 meses (ciclo semianual). Se destaca el periodo comprendido entre 1970 y 1971 donde se registra la precipitación más alta de las estaciones estudiadas (767mm). Se observa el periodo de 120 a 170 meses (decadal) que confirman la presencia de variaciones interdecadales en la precipitación, sobresale el periodo de Septiembre/1965 a Marzo/1978. Los periodos de 50 a 64 meses asociados al ENSO no presentan una varianza importante, lo que significa que no tienen un efecto en la variabilidad de esta estación (como se pudo comprobar mediante el análisis de correlación).

4.2 Estación UIS

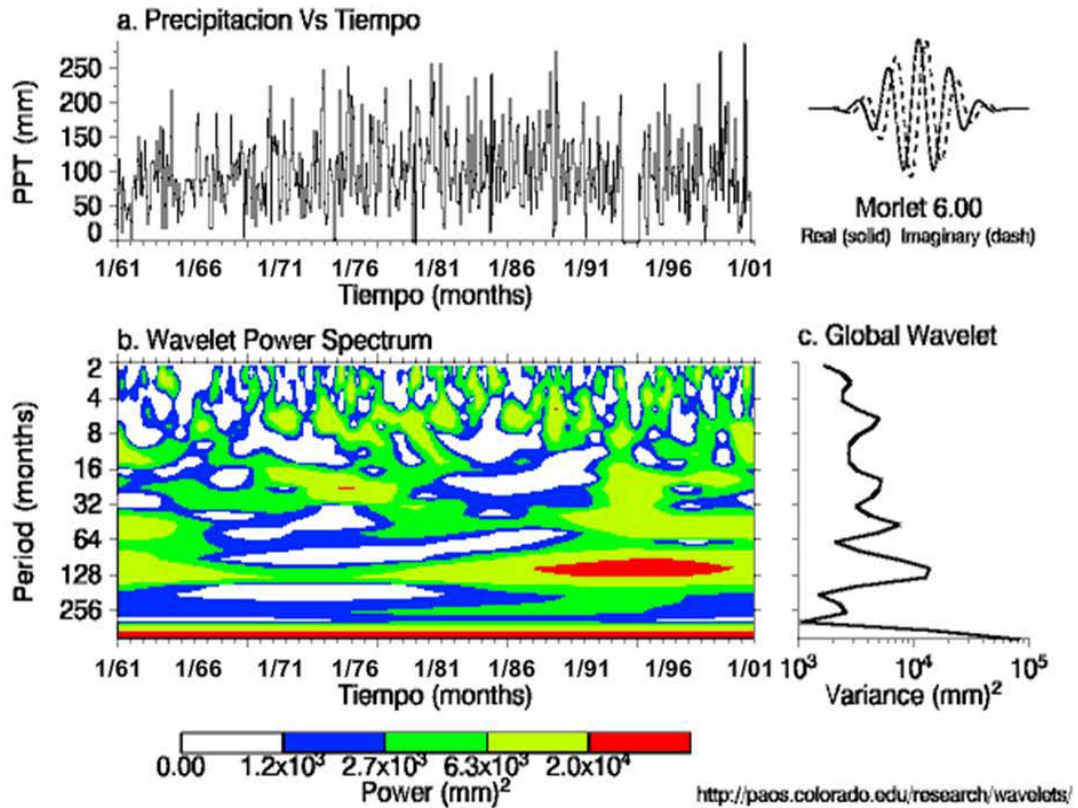


Figura 36. Espectro de potencias en ondas para la estación UIS (Precipitación).

Se presentan periodos significativos de 6 meses (ciclo semianual) distinguiendo un periodo cercano a Marzo/1989 donde registra precipitación pico. Se observa el periodo de 25 a 27 meses relacionados a La Oscilación Cuasi-Bienal (QBO), siendo importante este periodo (registrando un aumento de precipitación) entre Febrero/1975 y Octubre/1976. Se observa el periodo de 40 a 60 meses asociados al ENSO siendo importante entre Octubre/1991 a Marzo/2000. La variación de 100 a 130 meses (decadal) se mostró importante entre Septiembre/1987 a Marzo/2000.

4.3 Estación Matajira

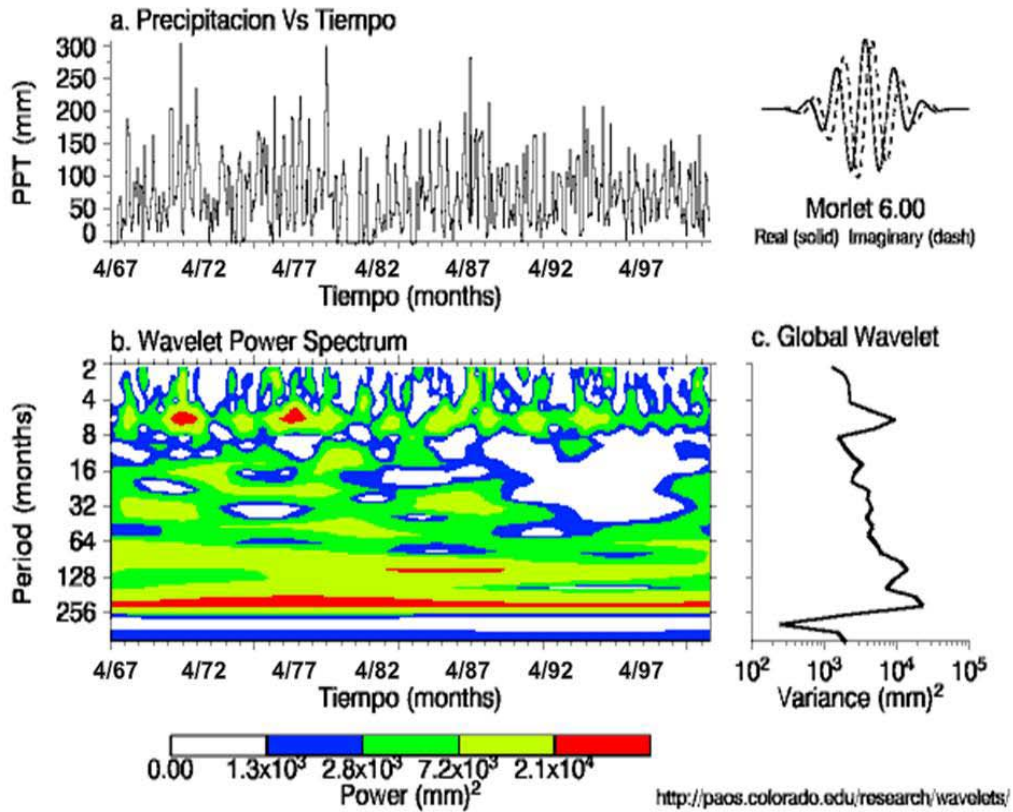


Figura 37. Espectro de potencias en ondas para la estación Matajira (Precipitación).

Se observan periodos considerables de 6 meses que ratifica un ciclo semianual en la precipitación con máximos presentes en Marzo/1971 a Junio/1972 y Abril/1977 a Abril/1978. El período de 90 a 120 meses corrobora la existencia de variaciones interdecadales en la precipitación. Precipitación que también es dominada por variaciones sobresalientes en la escala de tiempo de 20 años (230 a 250 meses) que no son estadísticamente significativas.

4.4 Estación Vetás – El Pozo

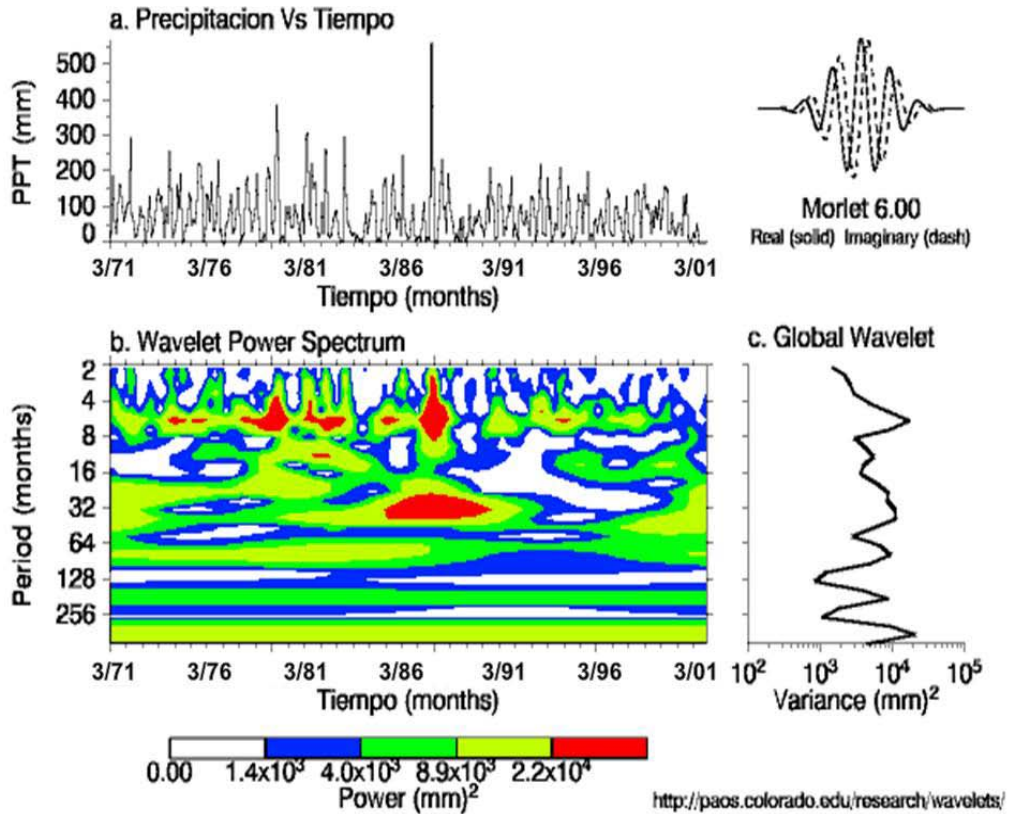


Figura 38. Espectro de potencias en onditas para la estación Vetás-El Pozo (Precipitación).

En el espectro de potencia se observan periodos importantes de 6 meses (ciclo semianual) siendo importante entre Abril/1979 a Noviembre/1979 y Septiembre/1987 a Septiembre/1988 registrando este ultimo una máxima precipitación (563mm). El período de 24 a 35 meses asociados a La Oscilación Cuasi-Bienal (QBO), principalmente entre Abril/1985 a Diciembre/1990. El período de 60 a 80 meses relacionados con el ENSO se destaca entre Octubre/1977 a Octubre/1986.

4.5 Estación La Flora

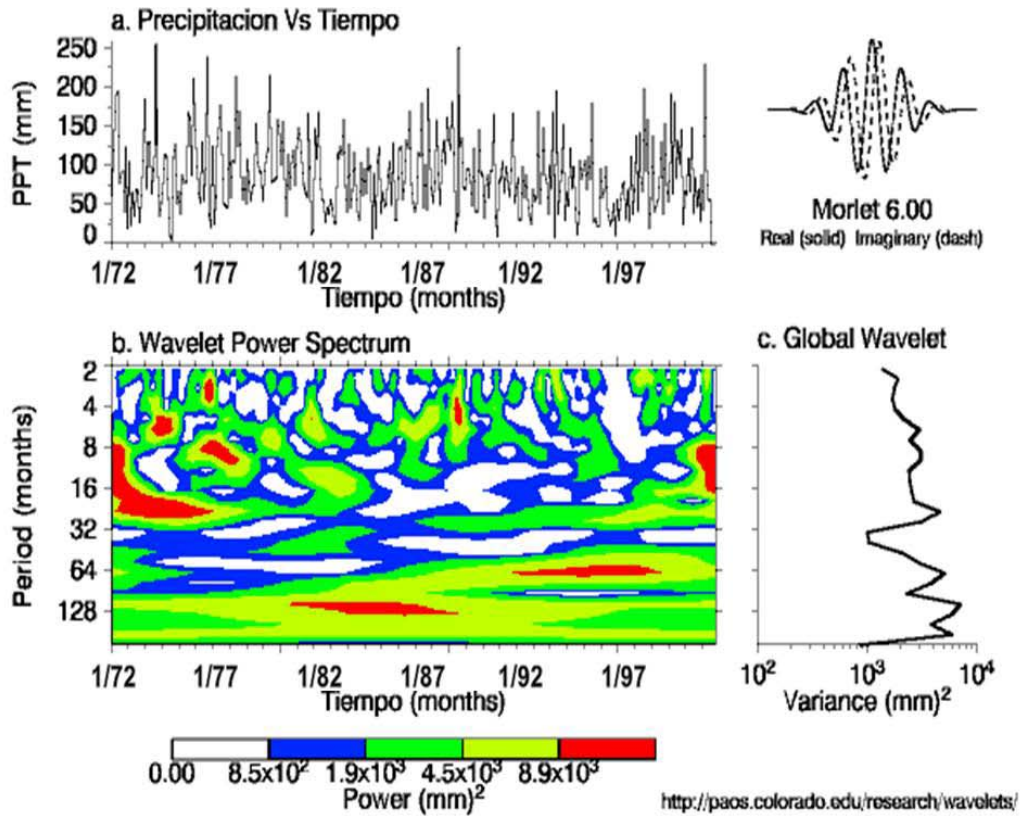


Figura 39. Espectro de potencias en onditas para la estación La Flora (Precipitación).

El espectro de potencia nos indica periodos de 6 meses (ciclo semianual) siendo importantes entre Septiembre/1974 a Marzo/1975 y Mayo/1988 a Mayo/1989. Se observa el período de 12 meses (ciclo anual) destacándose entre Enero/1977 a Agosto/1978. El período de 20 a 25 meses asociados a La Oscilación Cuasi-Bienal (QBO) se destaca entre Abril/1972 a Octubre/1976. El período de 56 a 80 meses asociado al ENSO se destaca entre Noviembre/1991 a Octubre/1998. Períodos de 110 a 140 meses (decadal) que ratifican la presencia de variaciones interdecadales en la precipitación, siendo importante entre Diciembre/1980 a Mayo/1989.

4.6 Estación CDMB

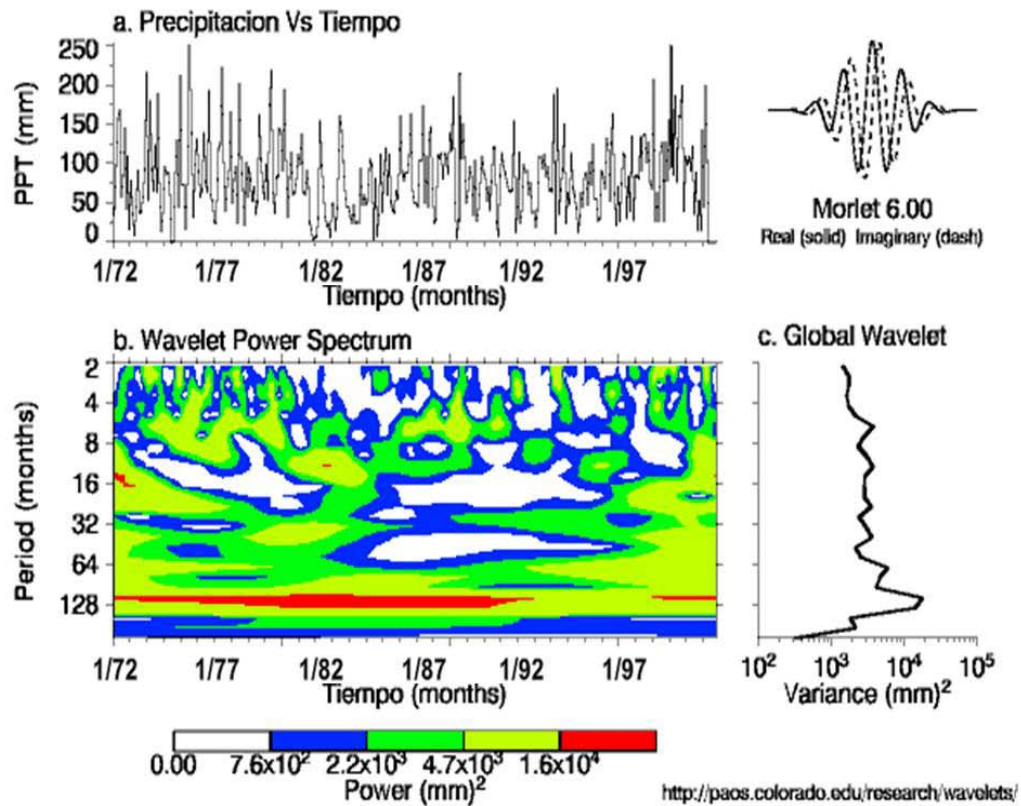


Figura 40. Espectro de potencias en ondas para la estación CDMB (Precipitación).

Se presentan periodos significativos de 6 meses (ciclo semianual) destacándose entre Marzo/1986 a Junio/1989. El período de 12 meses (ciclo anual) se destaca en Abril/1982. Se destacan variaciones decadales entre Enero/1972 a Septiembre/1992, la influencia del ENSO se observa principalmente entre Agosto/1978 a Junio/1983.

4.7 Estación Vivero Suratá

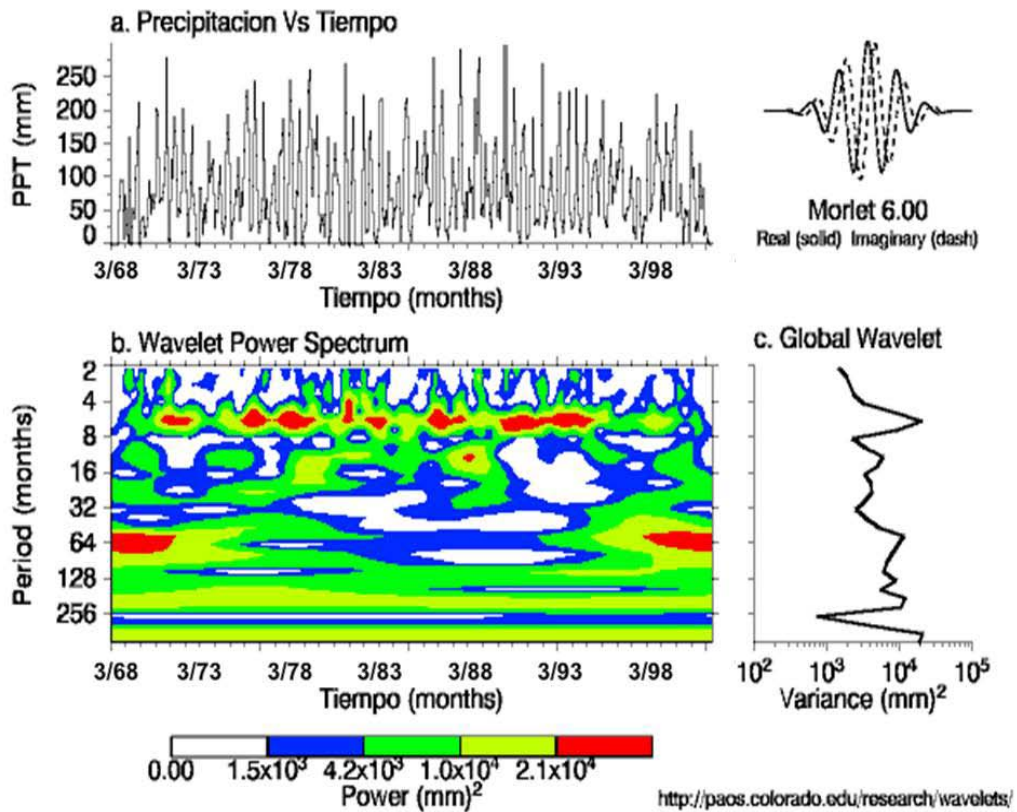


Figura 41. Espectro de potencias en onditas para la estación Vivero Suratá (Precipitación).

Los análisis detallados indican que la precipitación en la estación Vivero Suratá es dominada por periodos de 6 meses (ciclo semianual) destacándose entre Septiembre/1975 a Octubre/1978 y Septiembre/1985 a Octubre/1995. El período de 56 a 80 meses (asociado con el ENSO) fue principalmente importante al inicio y al final de la serie de tiempo en los periodos Marzo/1968 a Abril/1971 y Abril/1998 a Noviembre/2001 (donde no se tiene suficiente significancia estadística por estar en los extremos de la series de tiempo). El análisis de correlación nos mostró que los valores de precipitación en esta estación tienen una alta correlación con el fenómeno ENSO en el trimestre DEF.

4.8 Estación El Picacho

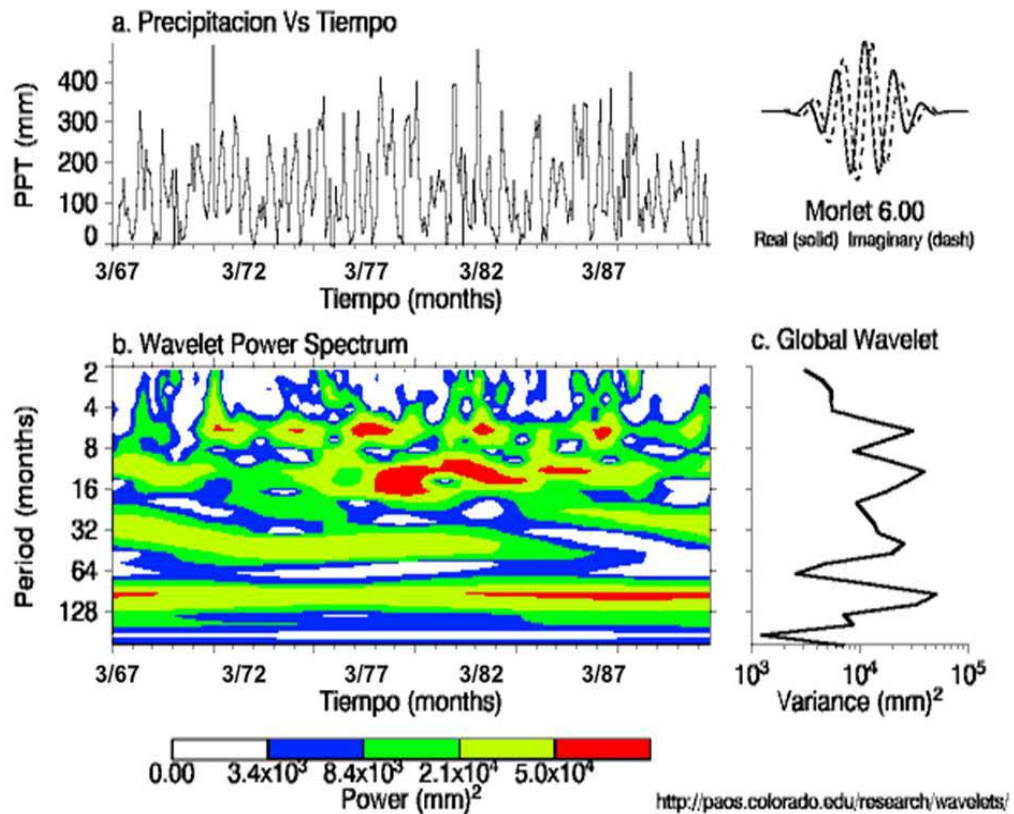


Figura 42. Espectro de potencias en onditas para la estación El Picacho (Precipitación).

Se observan periodos importantes de 6 meses (ciclo semianual) principalmente entre Mayo/1970 a Noviembre/1972 donde se registra la precipitación máxima de la estación (492mm) y entre Abril/1977 a Noviembre/1979. El período de 12 meses (ciclo anual) se destaca entre Marzo/1978 a Octubre/1986. El período de 32 a 50 meses asociados al ENSO, se presenta principalmente entre Julio/1967 a Octubre/1982. El período de 95 a 120 meses (decadal) que confirman la presencia de variaciones interdecadales en la precipitación, se destaca entre Abril/1982 a Septiembre/1991.

4.9 Estación La Esperanza

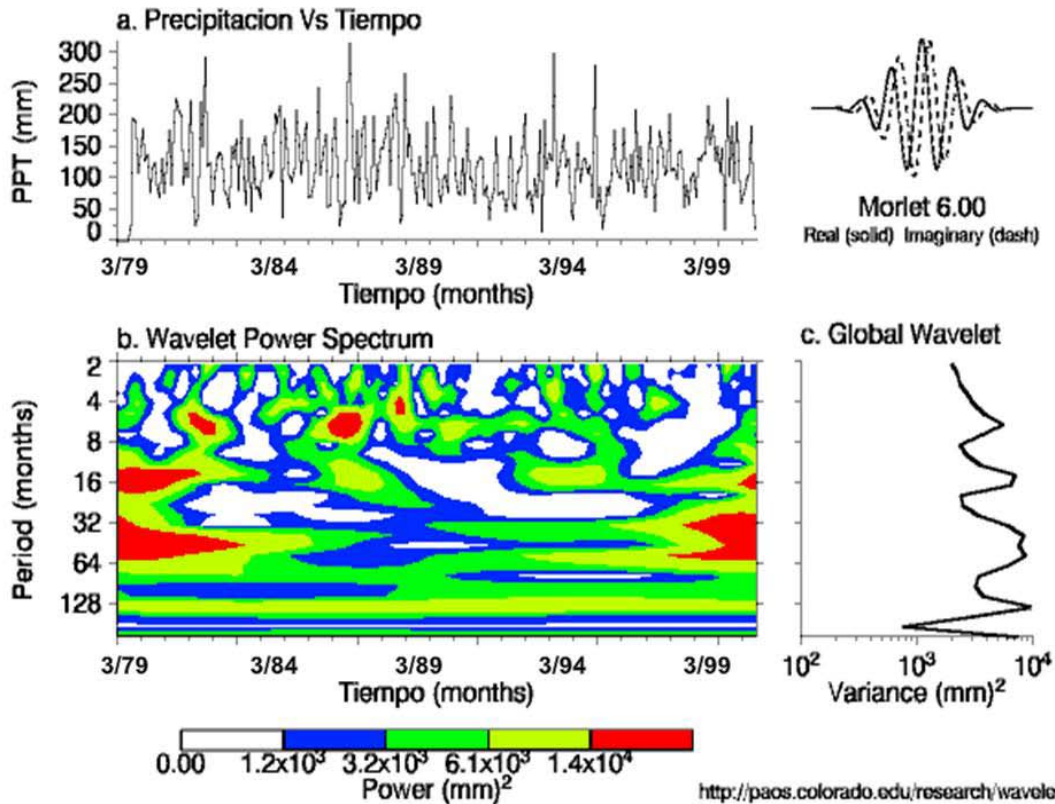


Figura 43. Espectro de potencias en ondas para la estación La Esperanza (Precipitación).

Se presentan periodos significativos de 6 meses (ciclo semianual) destacándose entre Diciembre/1980 a Noviembre/1982 y Febrero/1986 a Mayo/1987. El período de 15 a 20 meses relacionado a La Oscilación Cuasi-Bienal (QBO) registrando un aumento de precipitación entre Octubre/1979 y Abril/1982. El período de 32 a 60 meses asociado al ENSO se destaca entre Marzo/1979 a Mayo/1983 y Enero/1998 a Mayo/2001. . El período de 120 y 130 meses (decadal) se presenta a lo largo de toda la serie de tiempo.

4.10 Estación La Galvicia

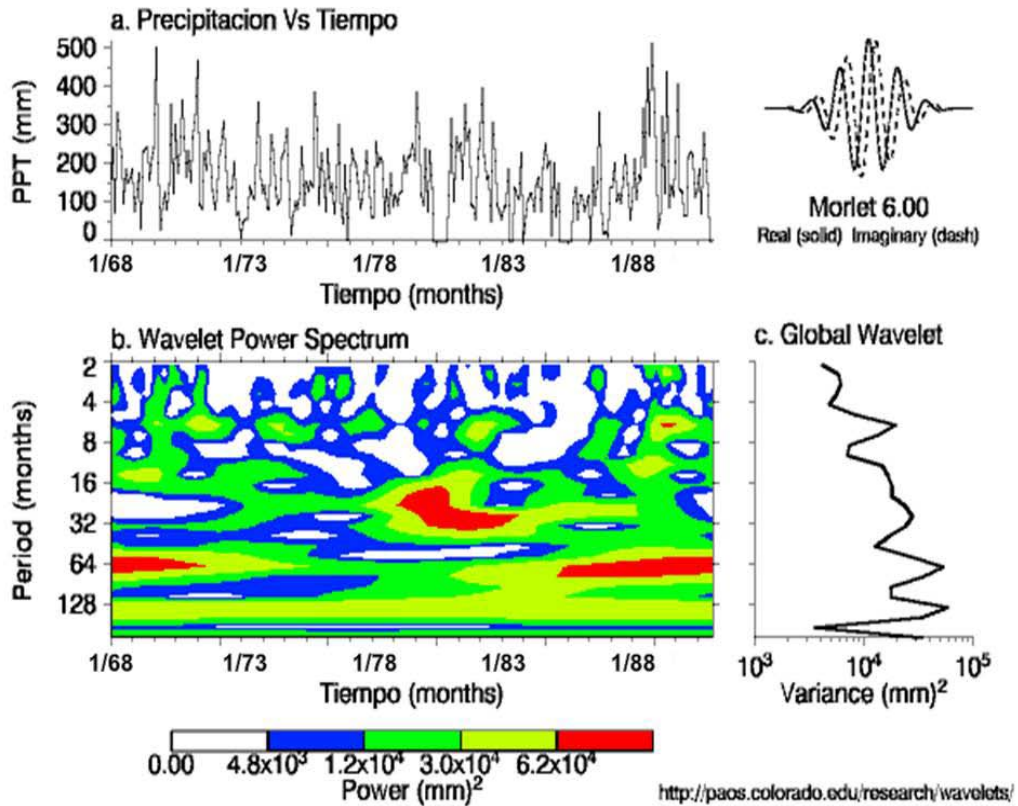


Figura 44. Espectro de potencias en ondas para la estación La Galvicia (Precipitación).

En el espectro de potencia se observan periodos importantes de 6 meses (ciclo semianual) sobresaliendo entre Junio/1988 a Diciembre/1989 registrando una precipitación máxima (517mm). El período de 20 a 30 meses asociados a La Oscilación Cuasi-Bienal (QBO) se destaca entre Octubre/1978 a Abril/1983. El período de 50 a 70 meses relacionados con el ENSO se destaca entre Enero/1968 a Mayo/1971 y Enero/1985 a Diciembre/1990.

Generalizando para todas las estaciones analizadas se observa claramente que la totalidad de ellas presentan periodos significativos de 6 meses (ciclo semianual) y solo 3 estaciones presentan claramente el ciclo anual. El período del ENSO se observa en la gran mayoría de las estaciones, siendo las más afectadas las estaciones del Picacho, Vivero Suratá y la Galvicia (como fue obtenido a través del análisis lineal) y menos afectadas las estaciones La esperanza, Tona y Matajira. Otra observación bastante importante es que para la mayoría de las estaciones se observaron variaciones interdecadales en la precipitación.

CONCLUSIONES

- El análisis realizado no permite concluir de un efecto generalizado del fenómeno del ENSO sobre la totalidad de las estaciones analizadas. Las estaciones Vivero Surata, El picacho y la Galvicia mostraron correlaciones estadísticamente significativas y mayores de 0.5 entre la precipitación de DEF y el índice SOI de DEF. En el análisis de correlaciones rezagadas, se presentan resultados importantes entre el índice del período SON y la precipitación de DEF. Esto permite concluir que el efecto de calentamiento de las aguas del pacífico en el período SON no tiene un efecto instantáneo en la precipitación de las estaciones analizadas, y el efecto tarda un trimestre en ser efectivo en la región.
- Las estaciones que presentaron una mayor correlación con el índice SOI están ubicadas a más de 1700 msnm. Este resultado es interesante pero no es concluyente sobre el efecto de la altitud en la respuesta de la precipitación a este fenómeno macroclimático. Es necesario contar con una mayor cantidad de estaciones, ubicadas en diferentes altitudes, para concluir con detalle en relación a este comportamiento.
- Los análisis realizados para el índice SOI son muy similares a los encontrados con el índice MEI, ya que ambos índices representan el mismo fenómeno macroclimático (ENSO). La única diferencia entre ambos es que valores positivos de SOI indican años Niño y lo contrario ocurre con el índice MEI.
- Ni el análisis visual ni el de correlaciones lineales permite identificar un efecto de las temperaturas del Atlántico tropical con los valores de precipitación en las estaciones analizadas.
- En general todas las estaciones analizadas presentan periodos significativos de 6 meses (ciclo semianual) y algunas de ellas presentan un período importante anual. El período del ENSO se observa en la mayoría de las estaciones (aunque en muchas de ellas no representa un valor alto de la varianza de la estación), la mayoría de las estaciones presentan variaciones interdecadales en la precipitación y algunas presentan variaciones Cuasi-bienales (15 a 20 meses).

- Los resultados encontrados permiten concluir que si bien el fenómeno ENSO es de gran escala, existen procesos locales (u otros procesos macroclimáticos que requieren ser estudiados) que son determinantes en el comportamiento de la precipitación de la región.
- Hemos observado los efectos del último fenómeno del Niño (2009-2010) y de la Niña (2010-2011) sobre la hidrología de la región. Por disponibilidad de información, no hemos considerado la última década en nuestros análisis. Se recomienda que este estudio sea complementado con información actualizada, lo que permitirá obtener resultados más robustos (por contar con una mayor cantidad de información), así como análisis de tendencias del clima en relación con la variabilidad de los fenómenos macroclimáticos.

BIBLIOGRAFIA

Bower A. H., and Lieberman, G. J., Engineering Statistics. Prentice-Hall, New Jersey, 1972. Mesa, O. J., Poveda, G. y Carvajal, L.F., Introducción al Clima de Colombia, Imprenta Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1997.

Castañeda, Olga L., Análisis de la Incidencia de los Fenómenos Climáticos en la Hidrología del Altiplano Cundiboyacense y la Región Árida del Alto Patía. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de los Andes. 2005.

Cortés Z. Melquisedec. Análisis climático de sectores en los departamentos de Boyacá y Casanare y su alteración por fenómenos macroclimáticos y de cambio global. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, 2006.

Fu, R., Dickinson, R.E., Chen, M.X. y Wang, H. How do tropical sea surface Temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon? J. Clim. 14, 4003–4026. 2001.

Marengo J. A., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M.D., Sampaio, G, Camargo H., Alves L.M. The drought of Amazonia in 2005. Journal of Climate, v. 21, p. 495-516, 2008a.

Meneses M. Jorge A., Rueda A. Julián D. Evaluación de la influencia de los huracanes en la precipitación del área metropolitana de Bucaramanga. Tesis de grado de pregrado de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, 2005.

Mesa, O. J., Poveda, G. y Carvajal, L.F., Introducción al Clima de Colombia. Imprenta Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1997.

Montealegre, E., Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia Durante la ocurrencia de los fenómenos ENOS. 1996.

Philander, S. George. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. San Diego: Academic Press. ISBN 0125532350. 1990.

Perea N. Carlos A. y Lamus B. Jorge M. Estudio de la precipitación en el área de Bucaramanga. Tesis de grado de pregrado de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, 2005.

Poveda Germán, Álvarez Diana M., Rueda Óscar A. Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, Octubre de 2010.

Poveda Germán, Vélez Jaime I., Mesa Oscar, Hoyos Carlos D., Salazar Luis F., Mejía Freddy, Barco Olga J., Correa Paula L. Cuantificación lineal y no lineal de la influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana, Memorias XV seminario nacional de hidráulica e hidrología.

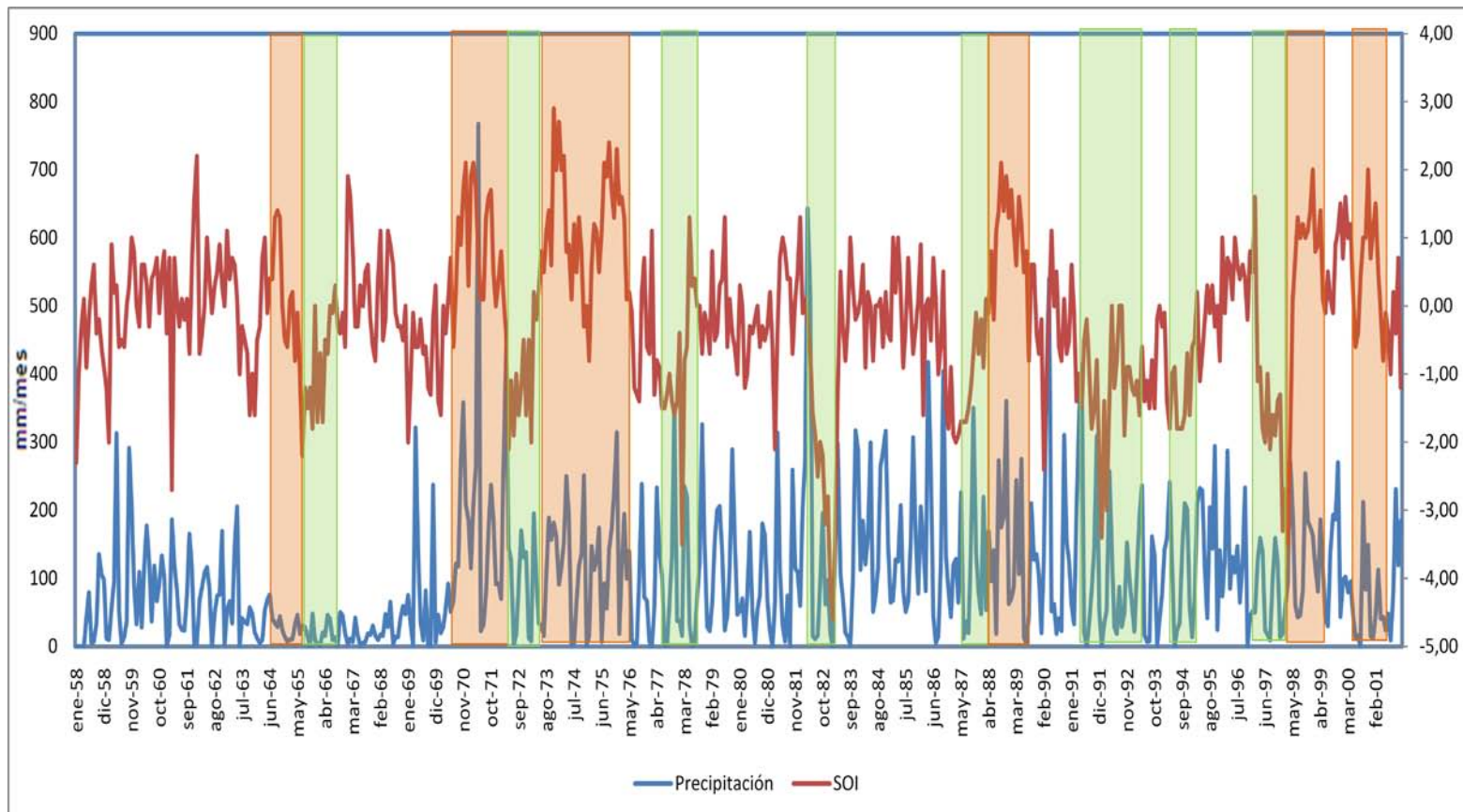
Simon L. Lewis, Paulo M. Brando, Oliver L. Phillips, Geertje M. F. van der Heijden, and Daniel Nepstad (2010) The 2010 Amazon Drought, Science 4 February 2011: 331 (6017), 554. [DOI:10.1126/science.1200807]

Villate C., Jose J., Influencia de los Fenómenos Macroclimáticos y Calentamiento Global en la Hidrología del Altiplano Cundiboyacense. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil) Universidad de los Andes. 2004.

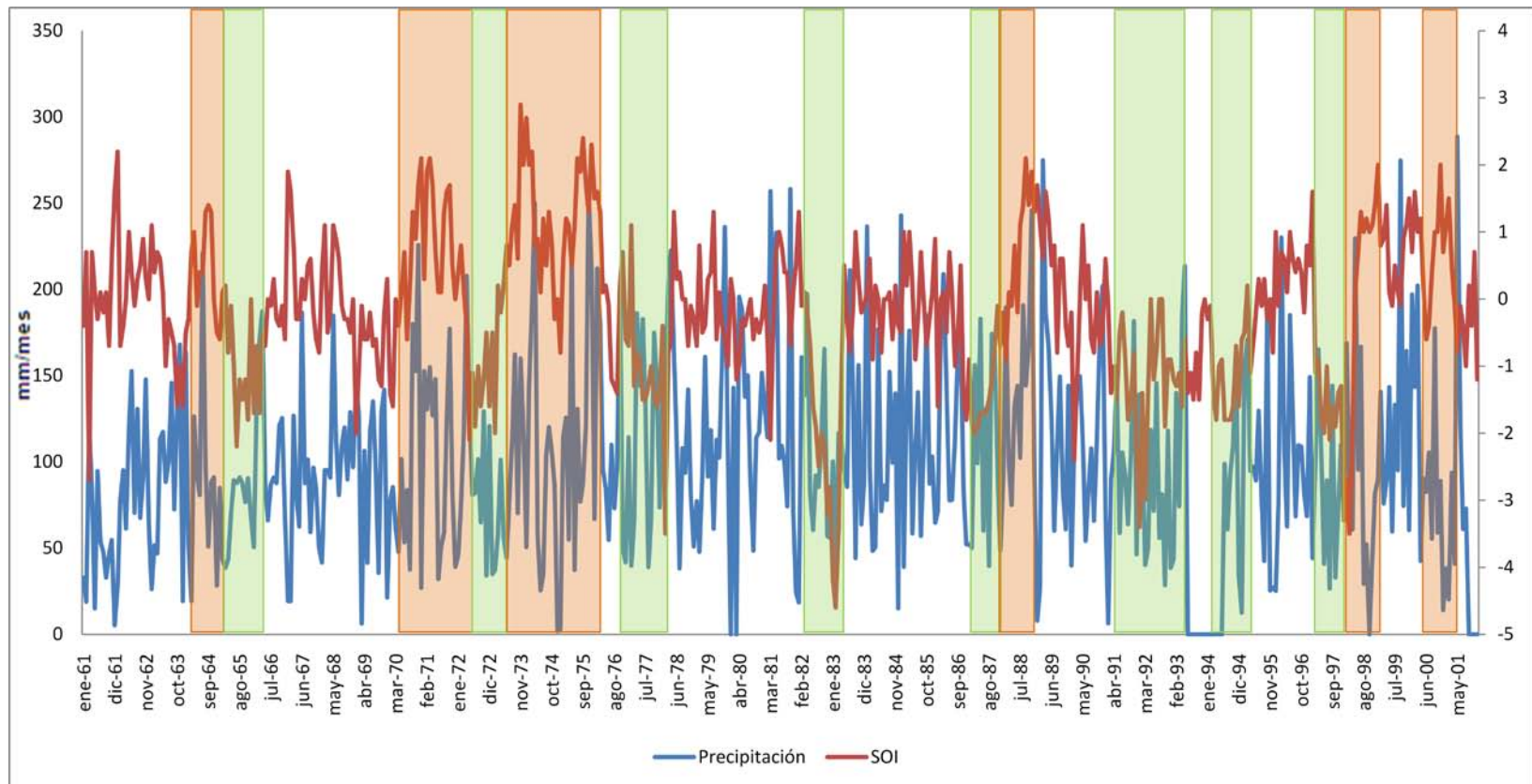
ANEXO 1. AÑOS NIÑO Y NIÑA: LISTA DE CONSENSO

Periodo	Año
1961 - 62	-
1962 - 63	-
1963 - 64	-
1964 - 65	Niña
1965 - 66	Niño
1966 - 67	-
1967 - 68	-
1968 - 69	-
1969 - 70	-
1970 - 71	Niña
1971 - 72	Niña Débil
1972 - 73	Niño Fuerte
1973 - 74	Niña Fuerte
1974 - 75	Niña Débil
1975 - 76	Niña Fuerte
1976 - 77	-
1977 - 78	Niño
1978 - 79	-
1979 - 80	-
1980 - 81	-
1981 - 82	-
1982 - 83	Niño Fuerte
1983 - 84	-
1984 - 85	-
1985 - 86	-
1986 - 87	-
1987 - 88	Niño
1988 - 89	Niña Fuerte
1989 - 90	-
1990 - 91	-
1991 - 92	Niño Fuerte
1992 - 93	Niño
1993 - 94	-
1994 - 95	Niño
1995 - 96	-
1996 - 97	-
1997 - 98	Niño Fuerte
1998 - 99	Niña
1999 - 00	-
2000 - 01	Niña

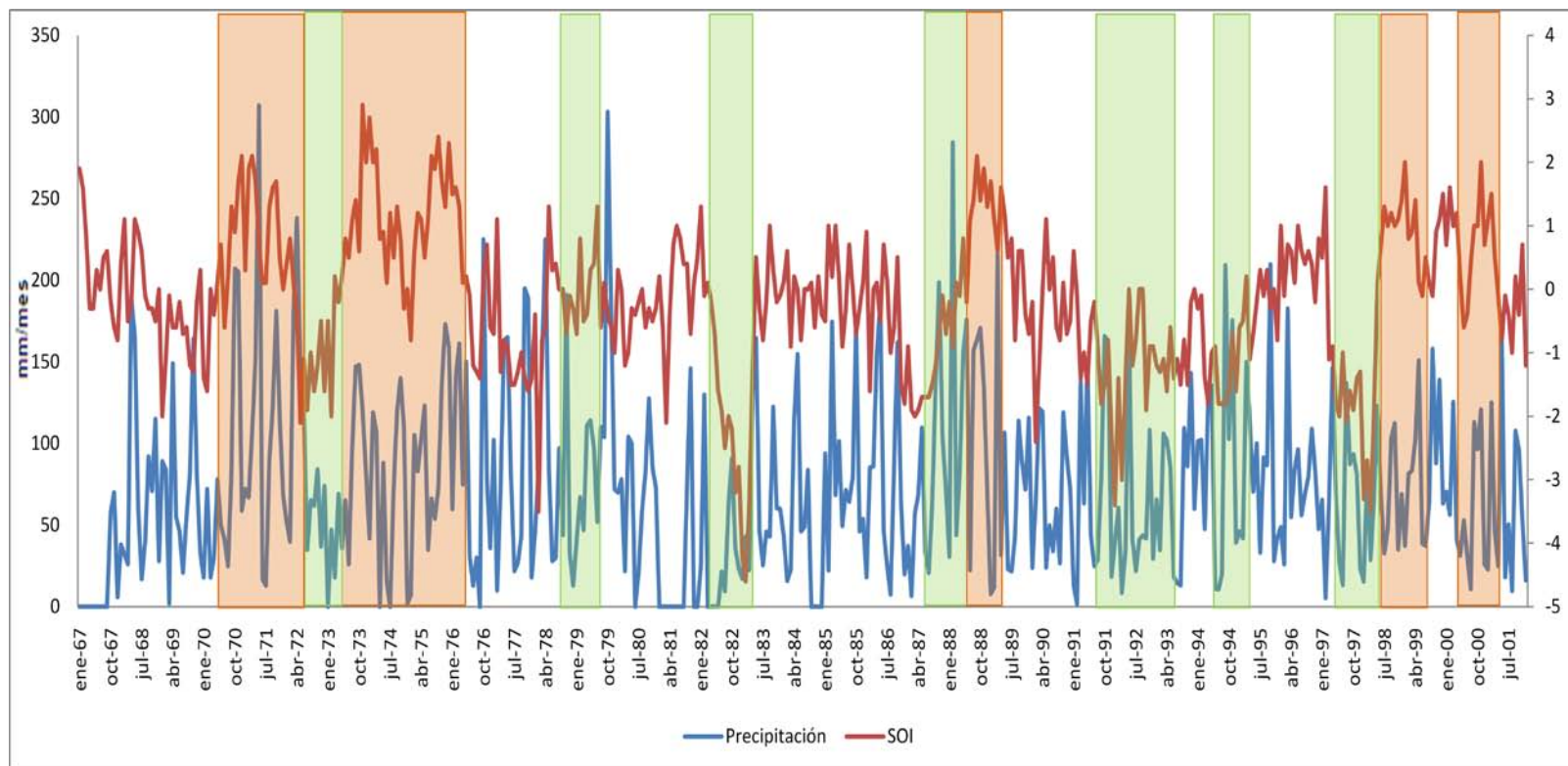
**ANEXO 2. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Tona.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**



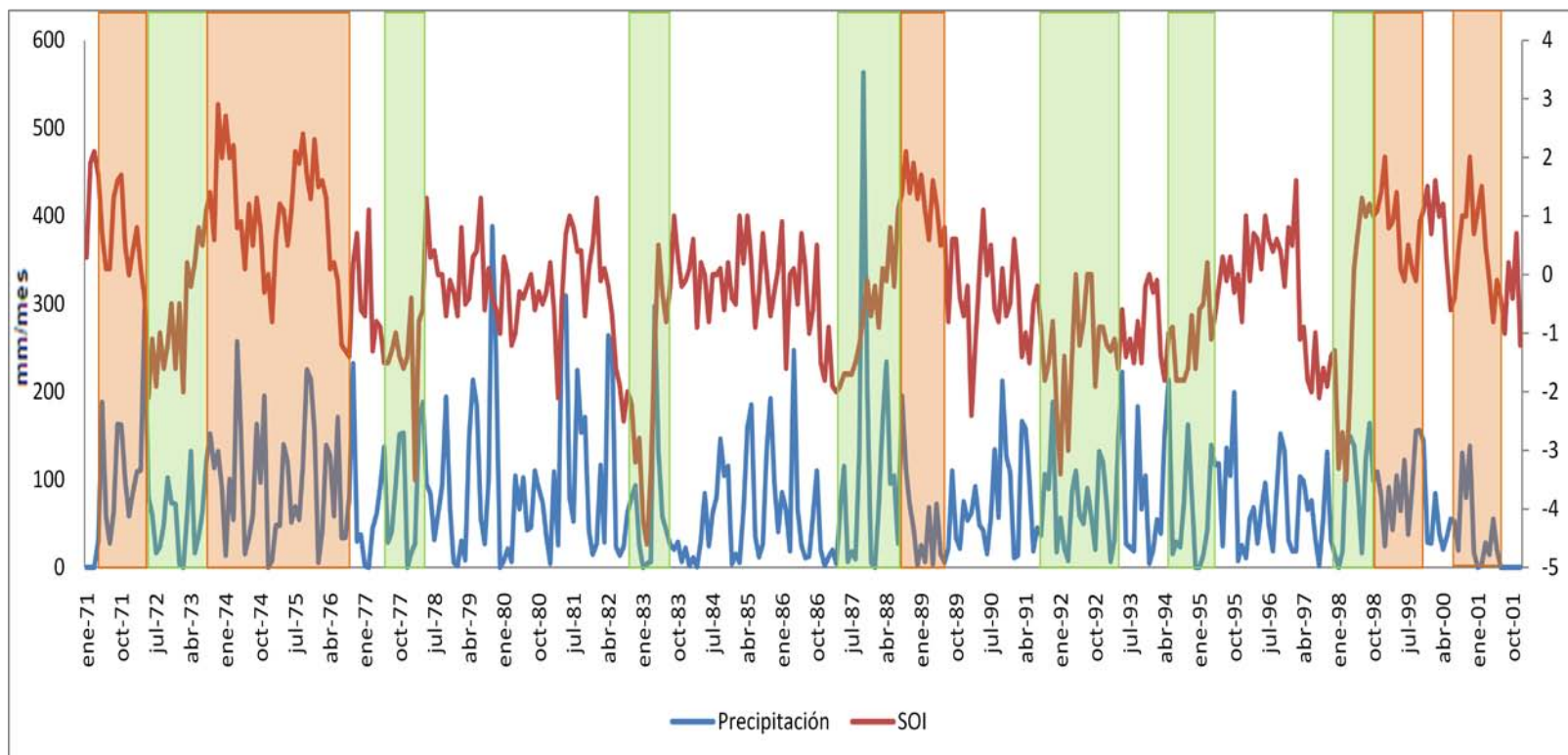
ANEXO 3. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación UIS.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.



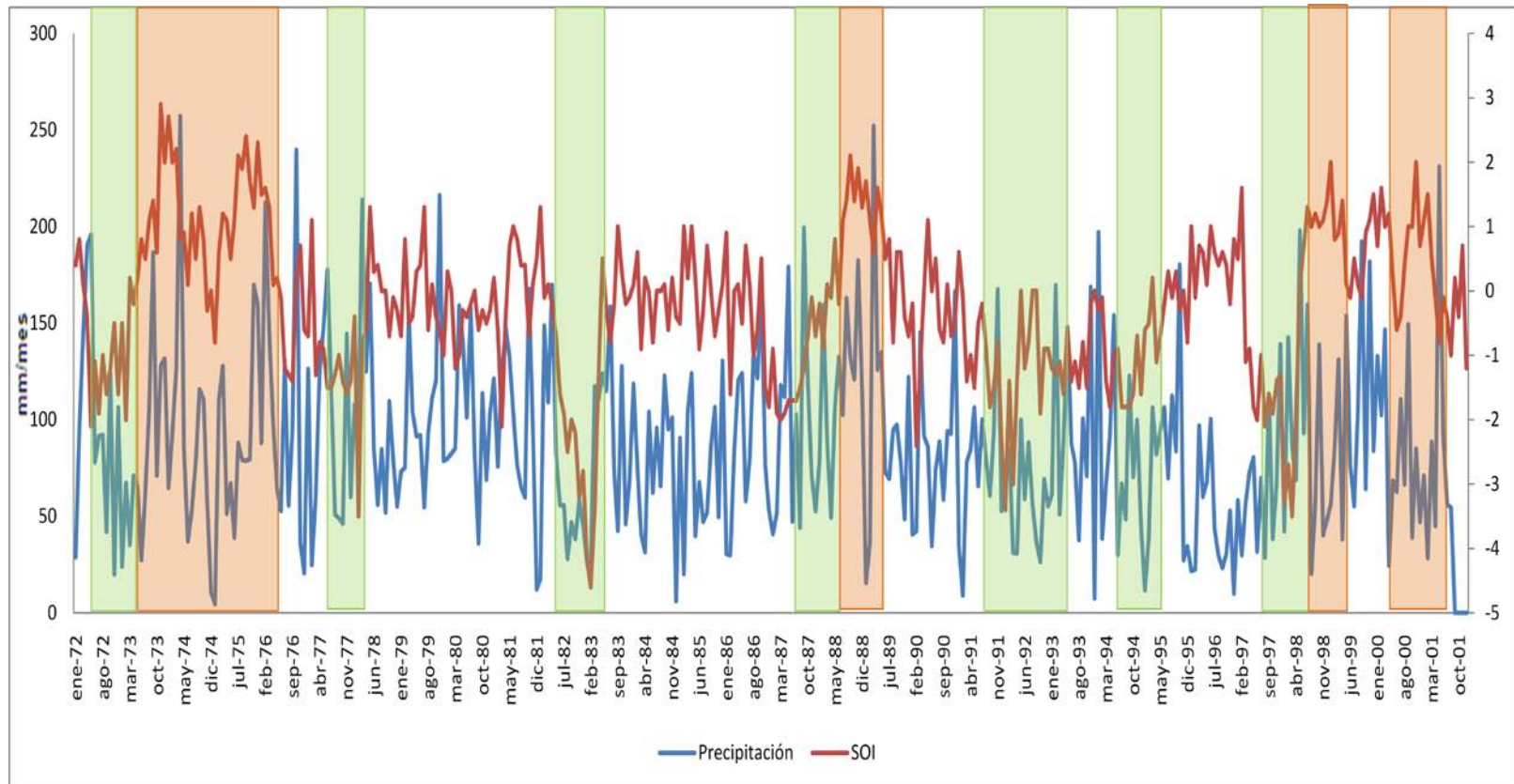
**ANEXO 4. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Matajira.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**



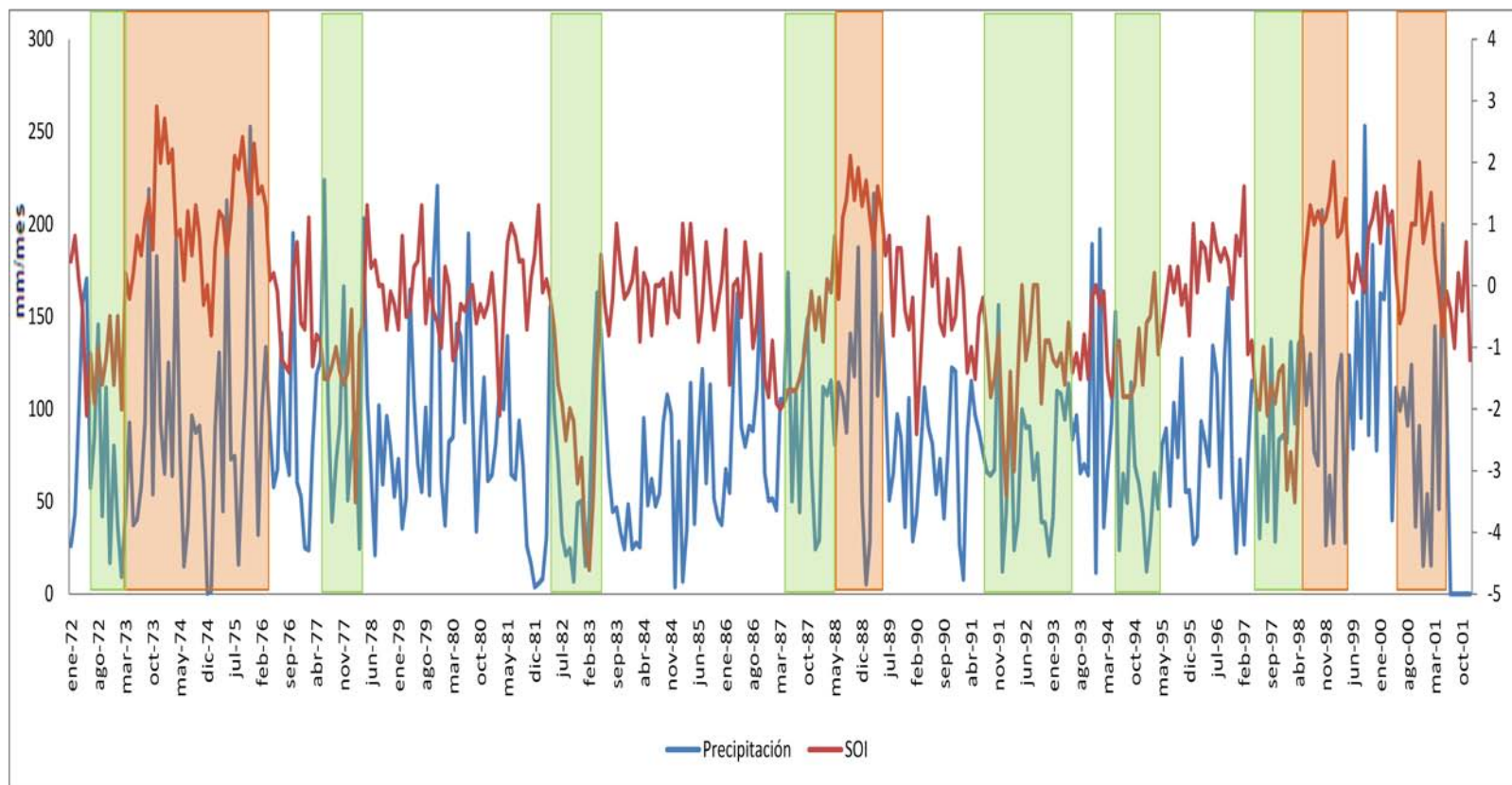
ANEXO 5. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vetas-El Pozo. Las barras de colores indican los años Niño y Niña.



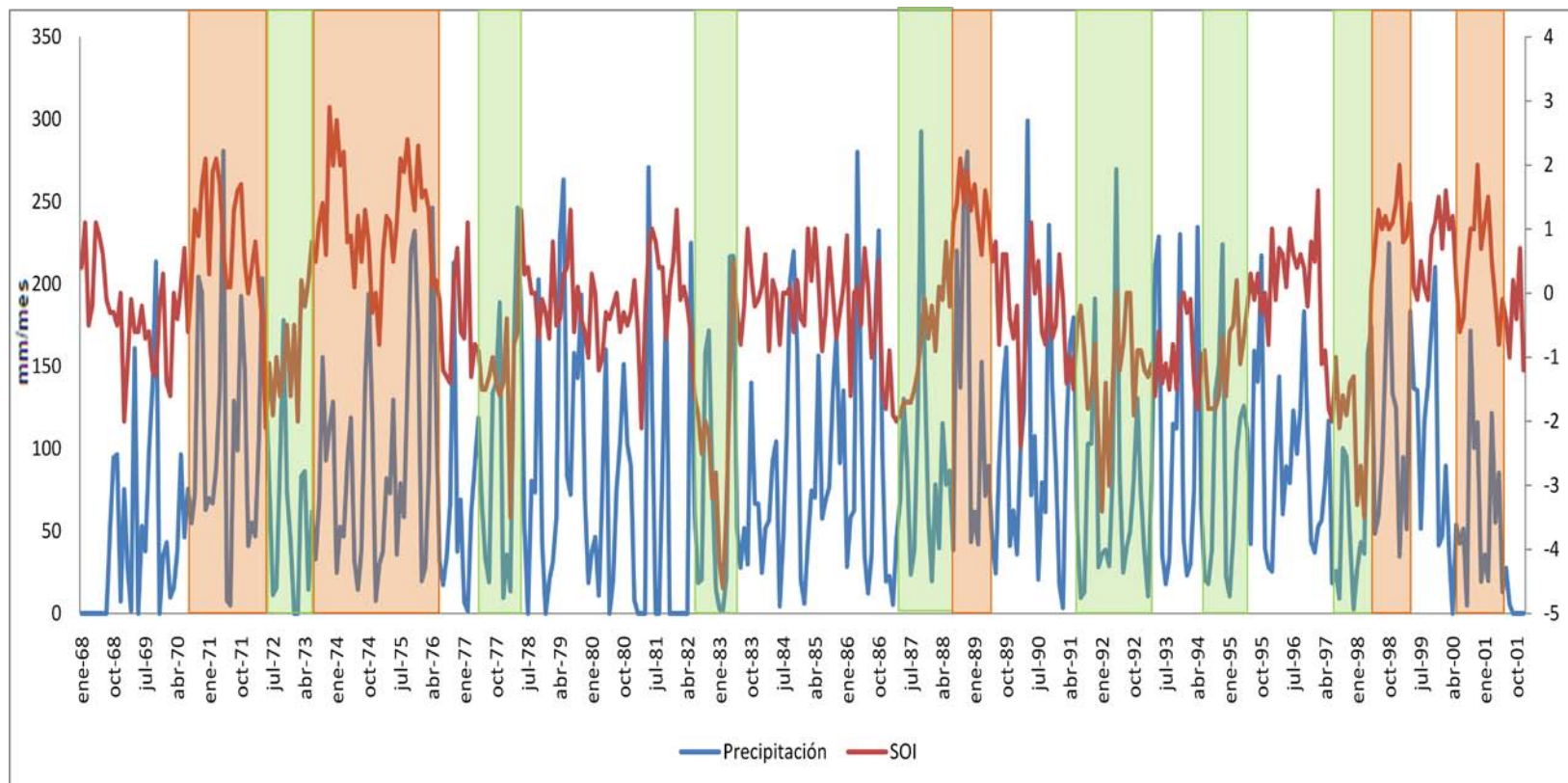
**ANEXO 6. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Flora.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**



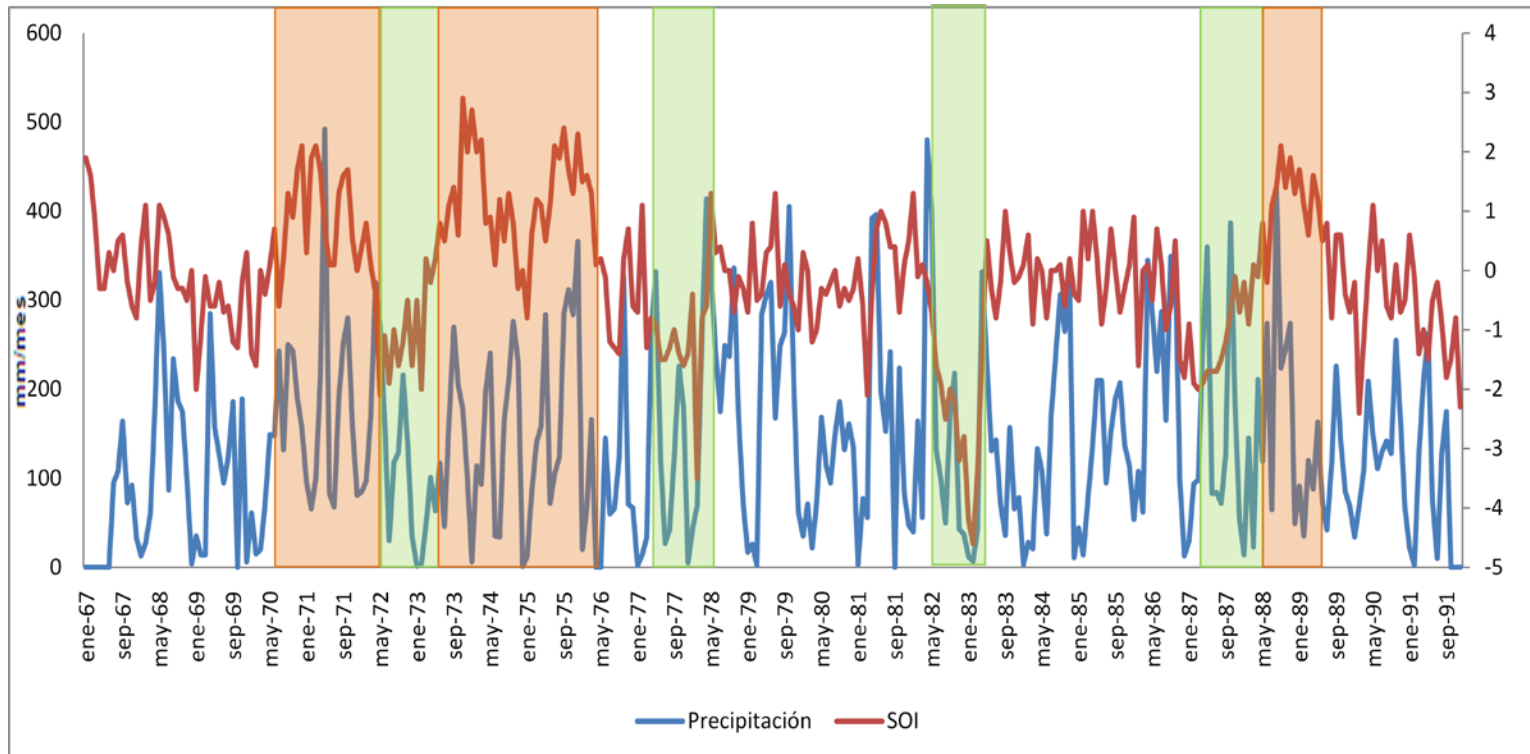
**ANEXO 7. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación CDMB.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**



**ANEXO 8. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación Vivero Suratá.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**

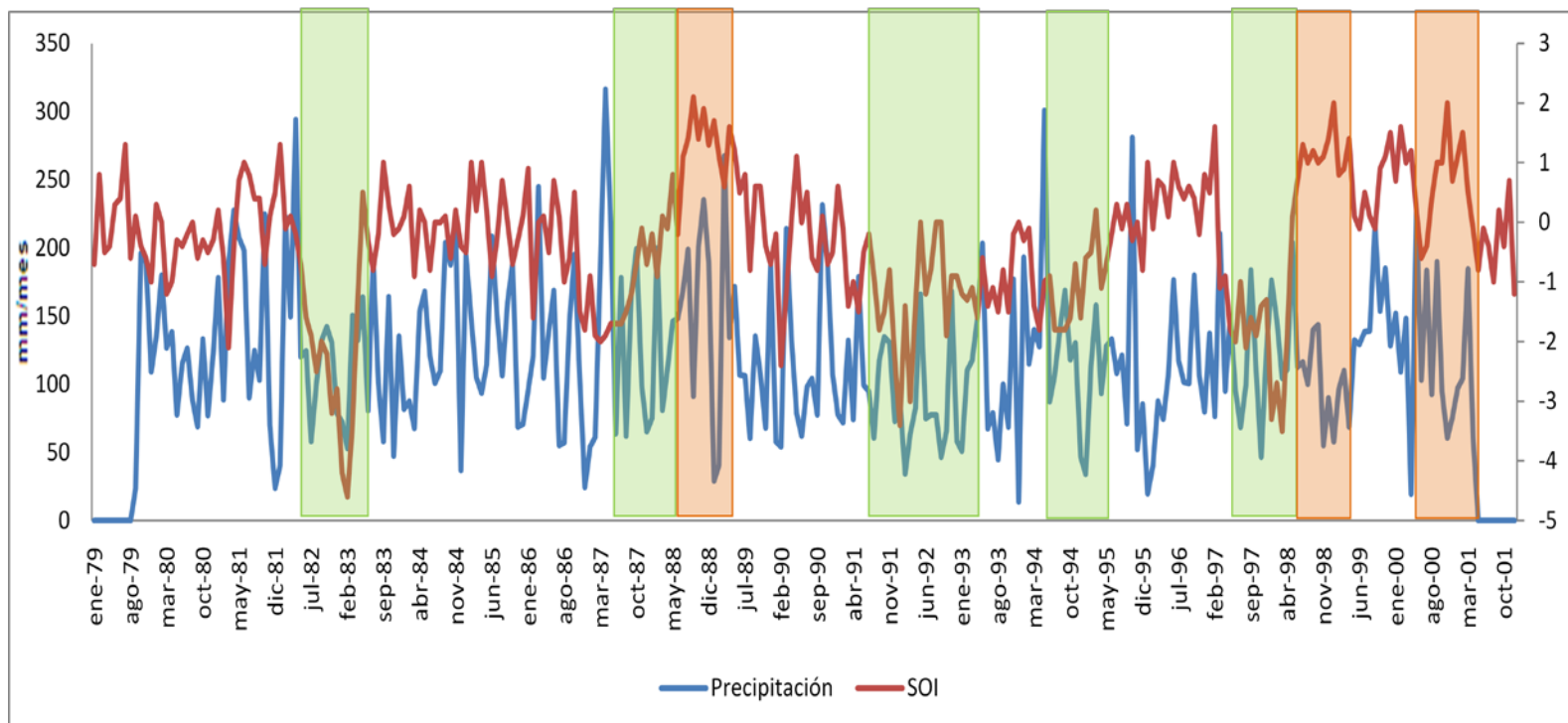


**ANEXO 9. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación El Picacho.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**

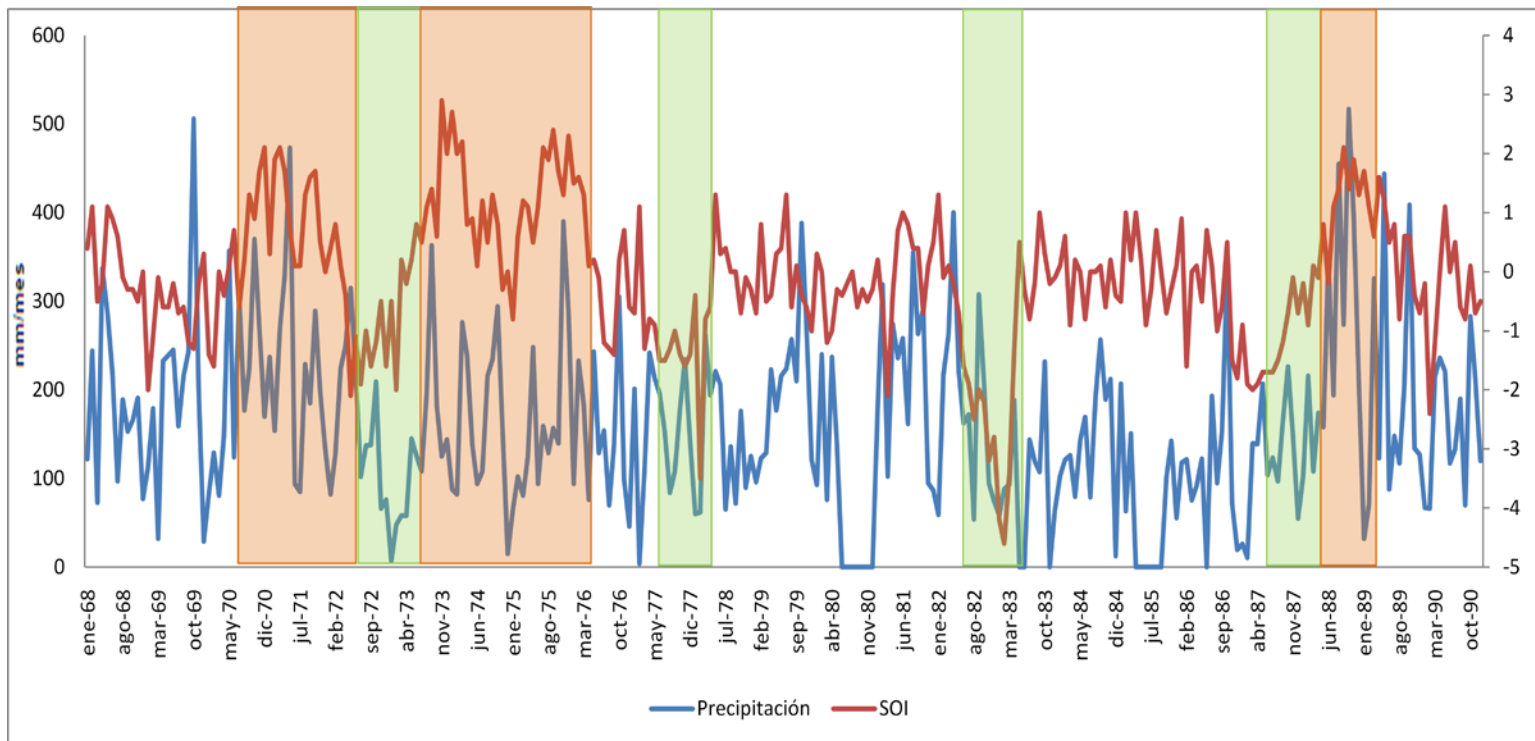


ANEXO 10. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Esperanza.

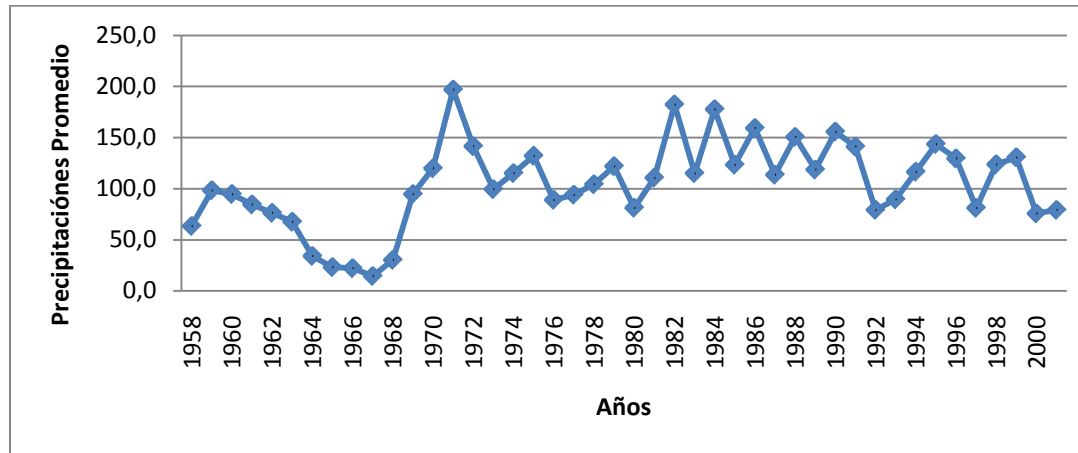
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.



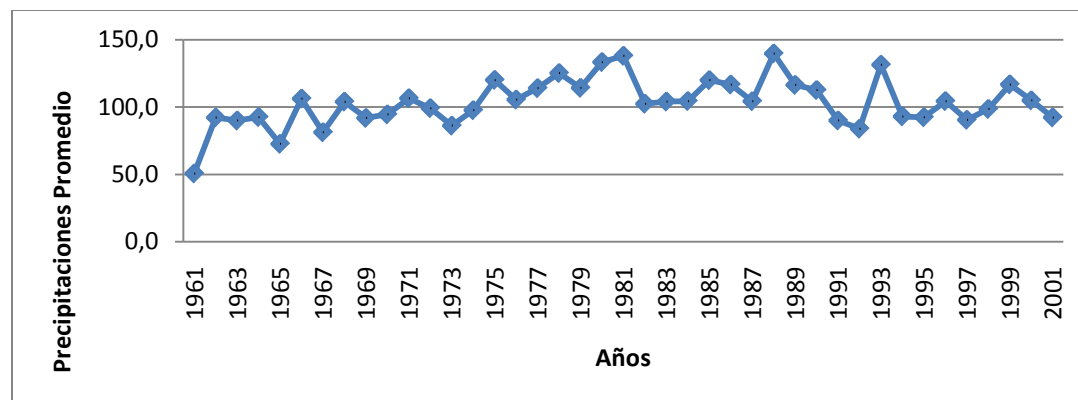
**ANEXO 11. Índice SOI (escala de la derecha) y serie mensual de precipitación para la estación La Galvicia.
Las barras de colores indican los años Niño y Niña.**



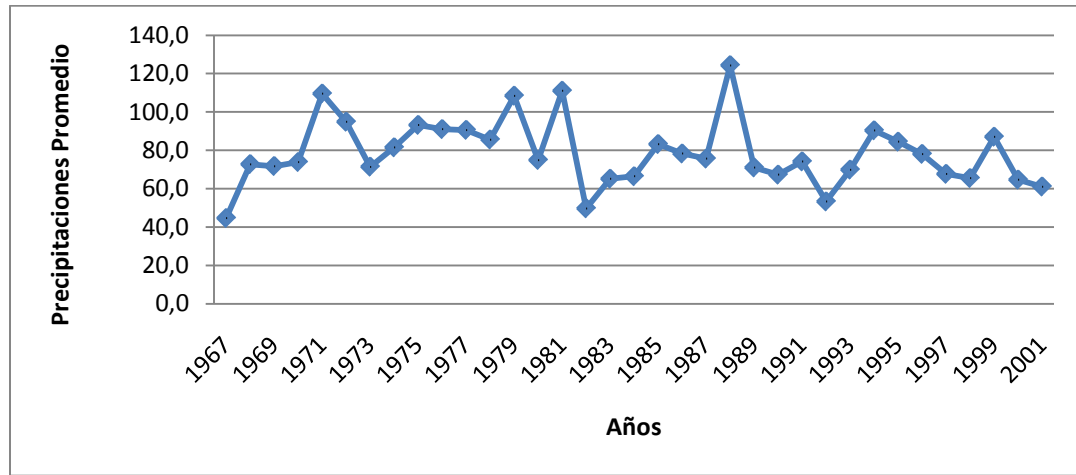
ANEXO 12. Promedios anuales de las precipitaciones estación Tona.



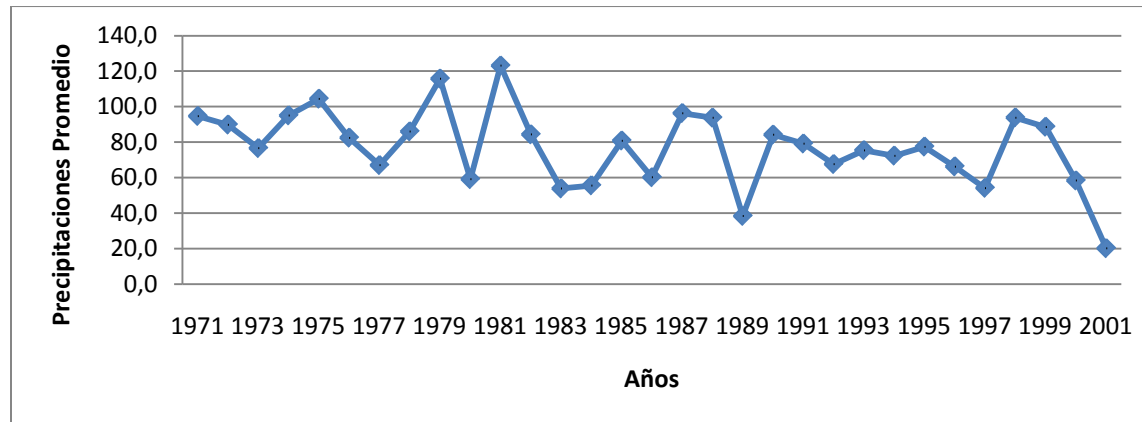
ANEXO 13. Promedios anuales de las precipitaciones estación UIS.



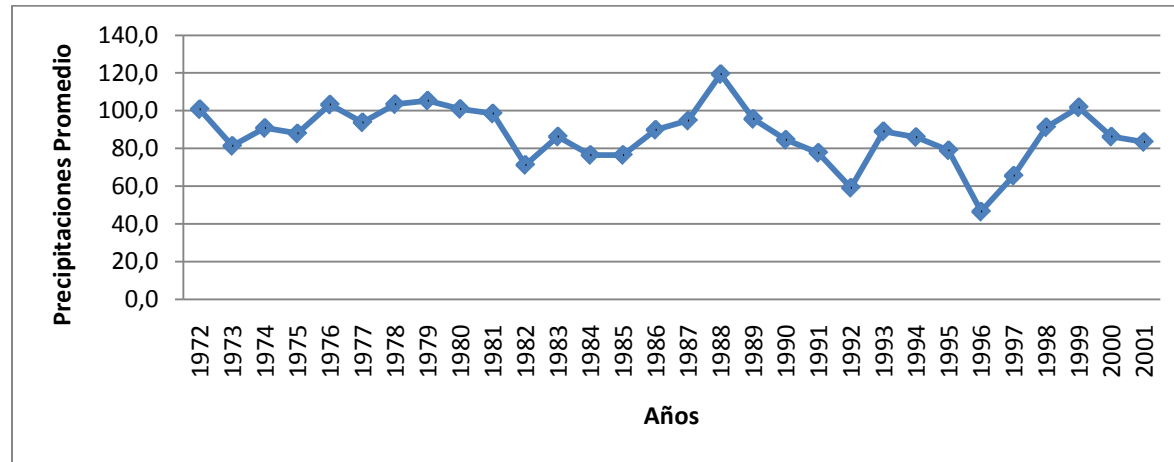
ANEXO 14. Promedios anuales de las precipitaciones estación Matajira.



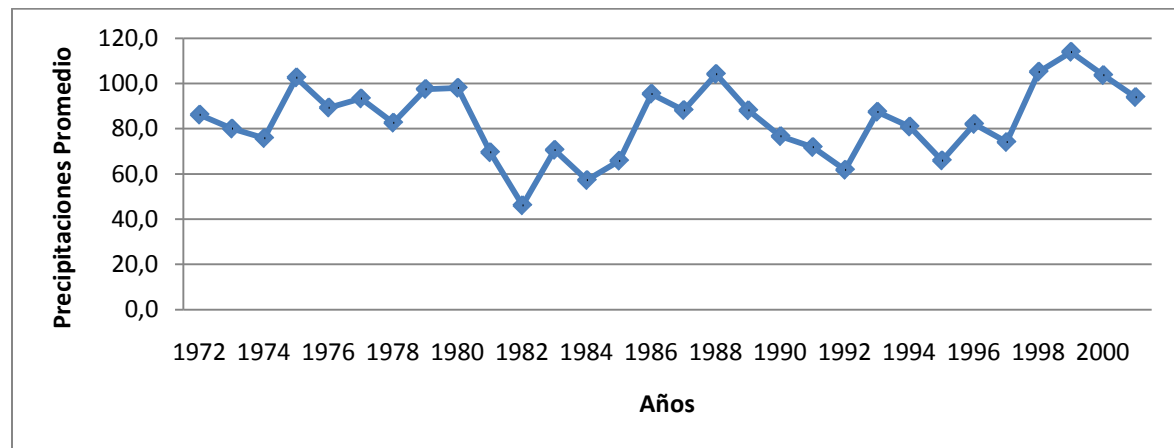
ANEXO 15. Promedios anuales de las precipitaciones estación Vetás – El Pozo.



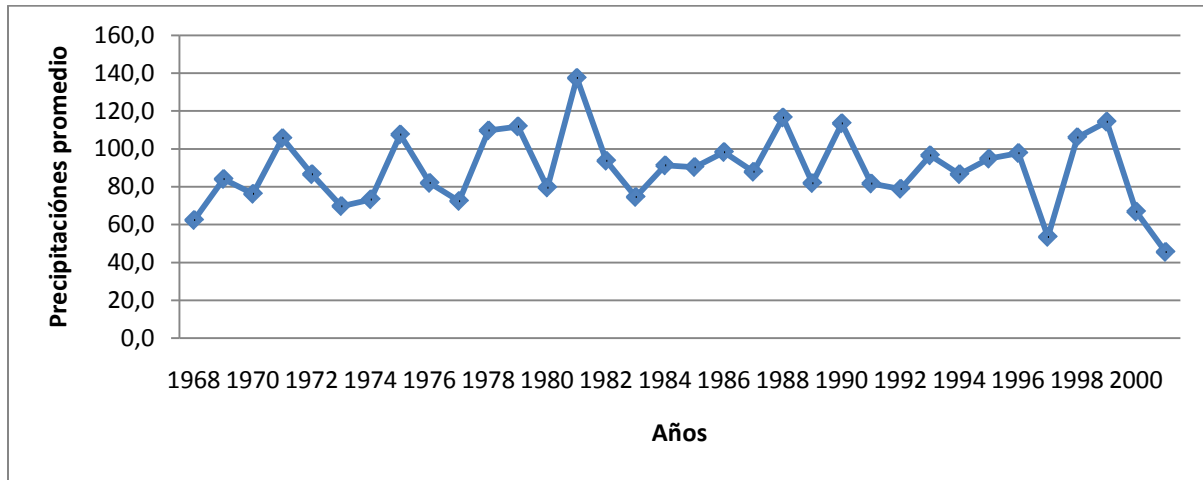
ANEXO 16. Promedios anuales de las precipitaciones estación La Flora.



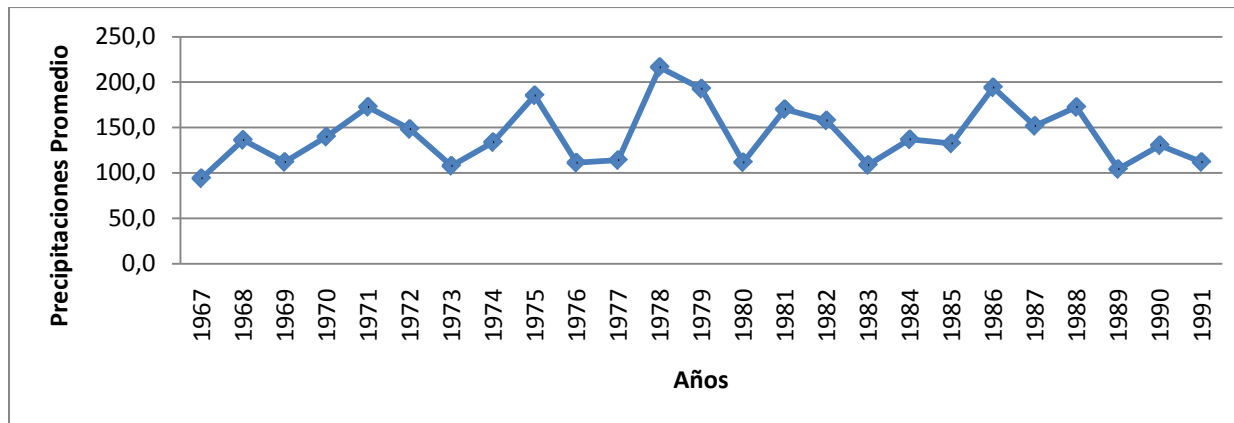
ANEXO 17. Promedios anuales de las precipitaciones estación CDMB.



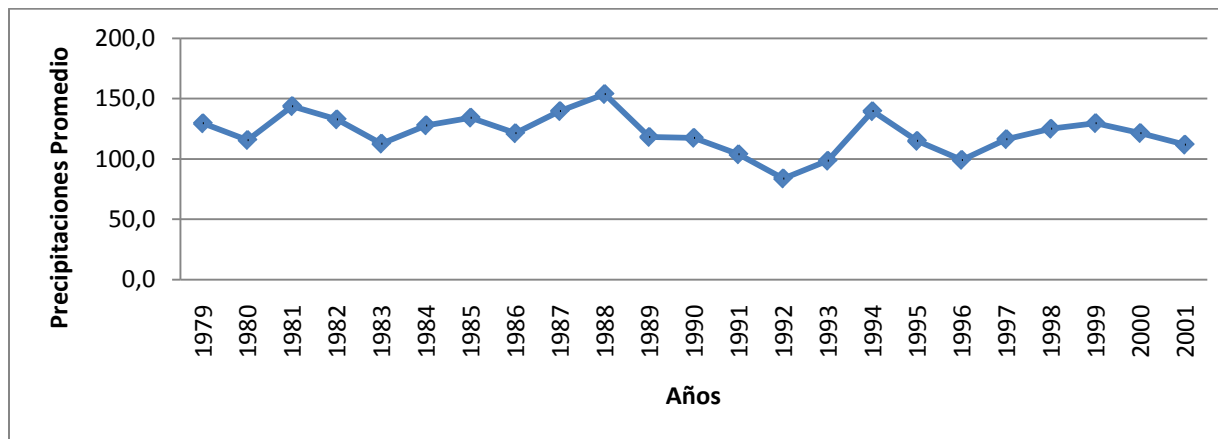
ANEXO 18. Promedios anuales de las precipitaciones estación Vivero Surata.



ANEXO 19. Promedios anuales de las precipitaciones estación El Picacho.



ANEXO 20. Promedios anuales de las precipitaciones estación La Esperanza.



ANEXO 21. Promedios anuales de las precipitaciones estación La Galvicia.

