

## CAPITULO IX: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENTRE EVENTOS EXTREMOS, LLUVIA Y CAUDALES VRS. FORZANTES.

### 9.1. Correlación de lluvia y caudales con forzantes.

Para explicar el comportamiento de la lluvia y caudales con los forzantes oceánicos y atmosféricos se procedió a realizar correlaciones simples de Pearson y correlaciones canónicas entre las estaciones de lluvia y caudal de series largas con pocos datos faltantes. Respecto a las series de caudales, en algunos casos se completaron utilizando el valor mensual histórico del caudal medio.

En las figuras 9.1 a 9.9 se muestran los gráficos de los coeficientes de correlación de la lluvia mensual de la estación de San Miguel (M24) y varios forzantes oceánicos y atmosféricos. Dicha estación se ubica en la región de la zona oriental. Esta zona del país, casi toda es afectada por la Canícula, desde la parte media hacia la franja costera, especialmente.

En la presente investigación, no se incluyen todos los cálculos realizados de las estaciones de lluvia seleccionadas, pero se dispone de ellos la memoria de cálculo en hojas Excel.

En cada gráfico se muestran las líneas correspondientes al coeficiente de correlación simple entre un mes en particular en diferente color, seis meses de atraso y de adelanto del forzante, y se indica con un asterisco grande (color negro) cuando dicha correlación pasó la prueba estadística al 95% de significancia.

Para el ejemplo mostrado de la estación de San Miguel se nota que para los índices oceánicos del Atlántico (ATN Figura 9.1), el Caribe (CAR figura 9.2), atmosférico del pacífico ( PDO Figura 9.8) y atmosférico tropical ( QBO Figura 9.9), los coeficientes de correlación estadísticamente significativos son positivos, indicando un relación directa entre el forzante y la lluvia, siendo el forzante que presentó las correlaciones más altas el del ATN (R de + 0.48) y con un atraso de 5 meses (febrero).

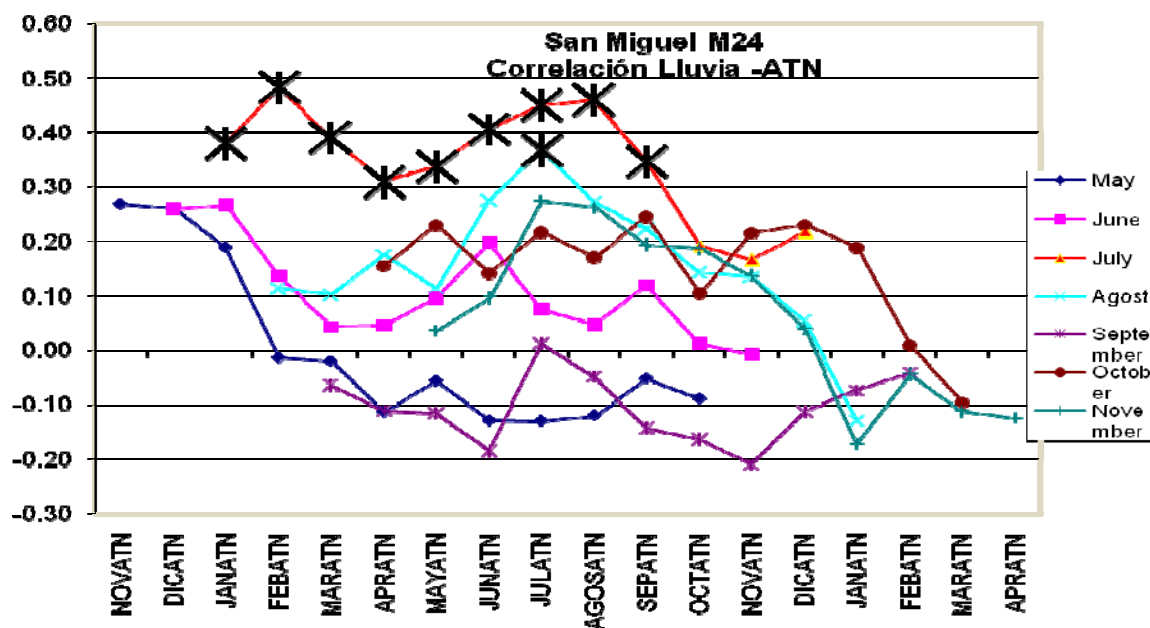


Figura 9.1. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. ATN.

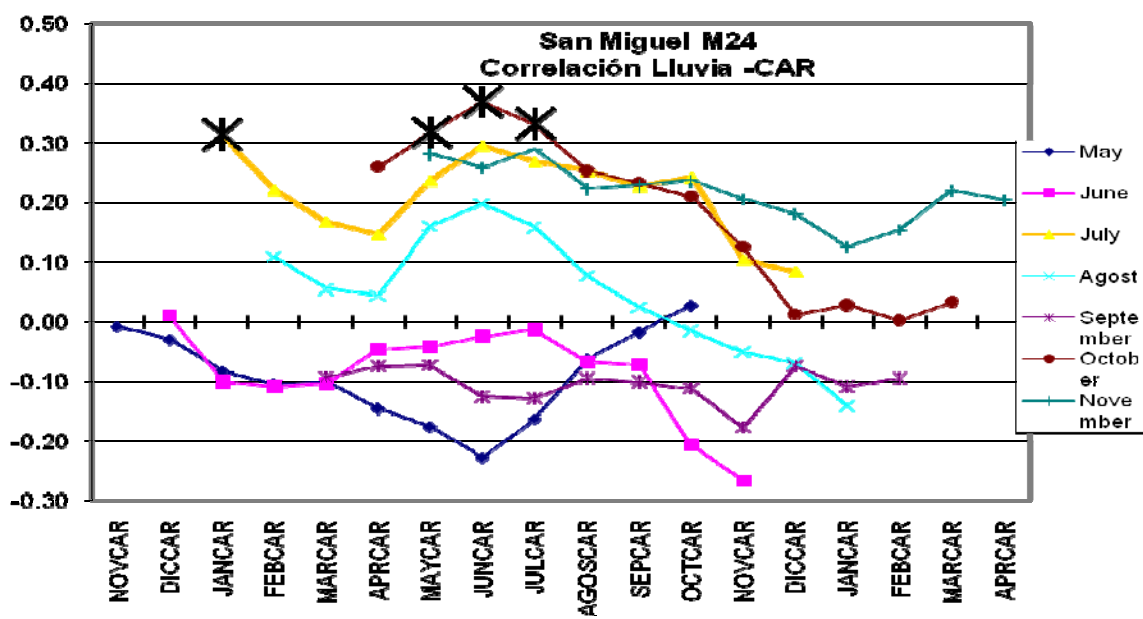


Figura 9.2. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. CAR.

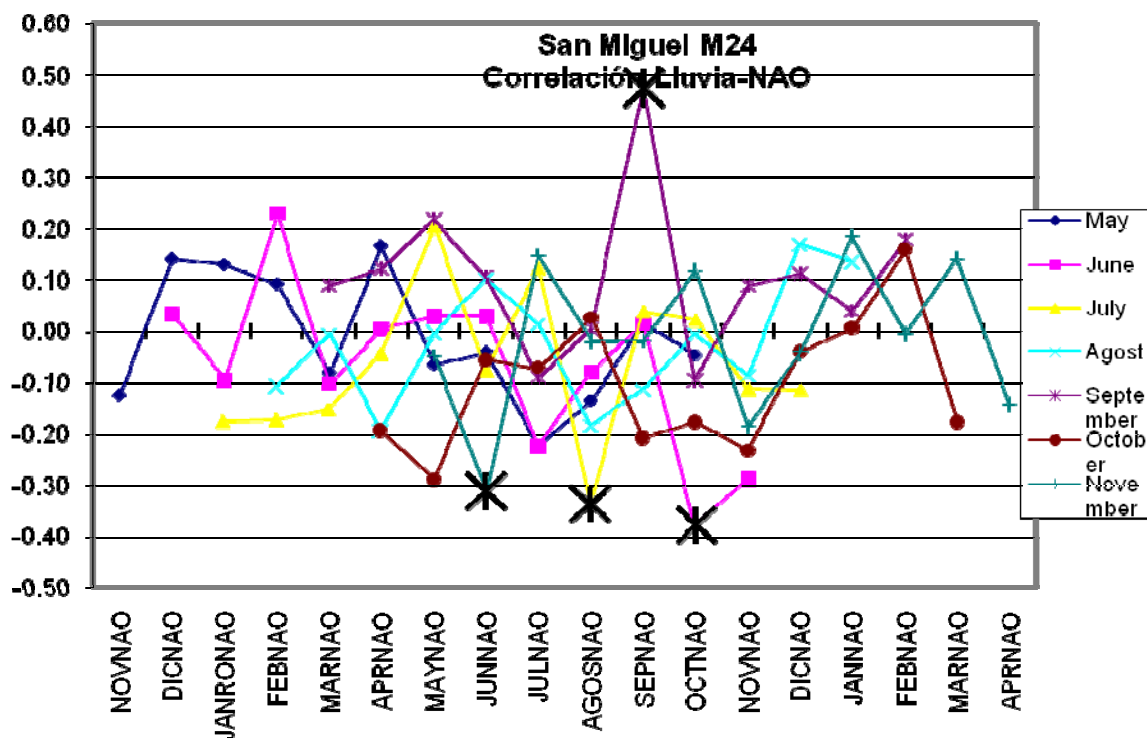


Figura 9.3. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vs. NAO.

Por otra parte el índice del Atlántico NAO (figura 9.3), los forzantes de la cuenca del Pacífico, los oceánicos como Niño 4 (figura 9.4), Niño 1+2 (figura 9.5), Niño 3.4 (Figura 9.6), ONI (figura 9.7), índice PDO (figura 9.8) , QBO (figura 9.9) muestran correlaciones significativas negativas generalmente, con valores más altos del índice Niño 3.4 ( $R = -0.42$ ), inclusive este último índice, es el que presenta durante varios meses correlaciones significativas, a diferencia del resto de índices o forzantes.

Se observó para todos los índices utilizados que los meses con mayor relación entre lluvia y forzantes se ubicaron en general entre julio y octubre.

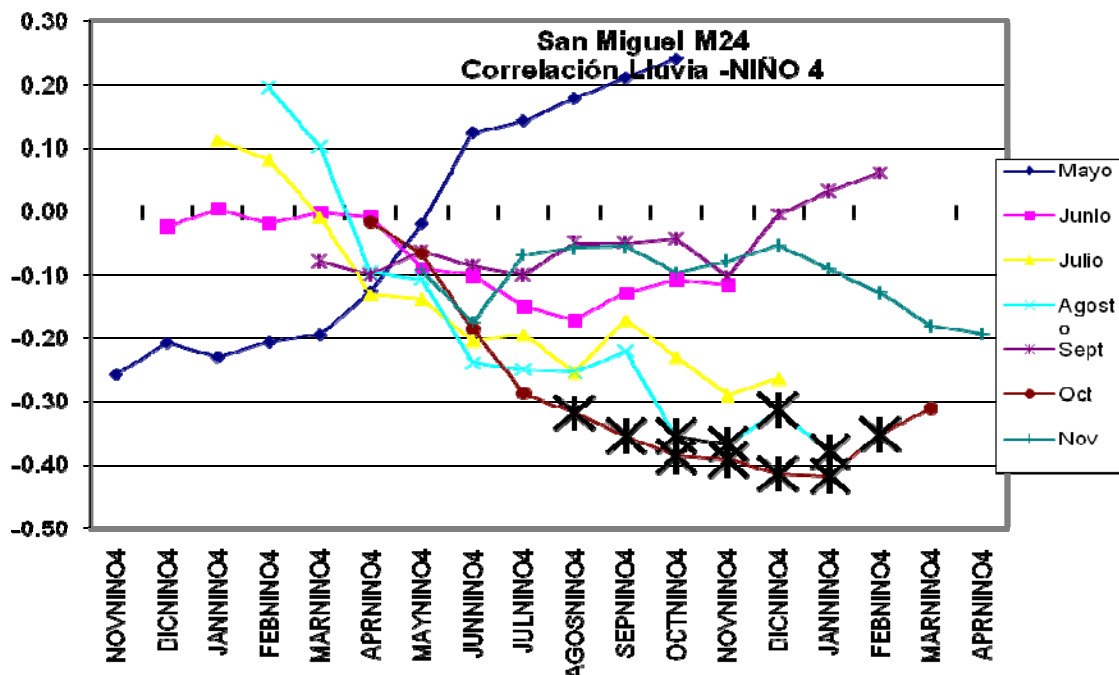


Figura 9.4. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. Niño 4.

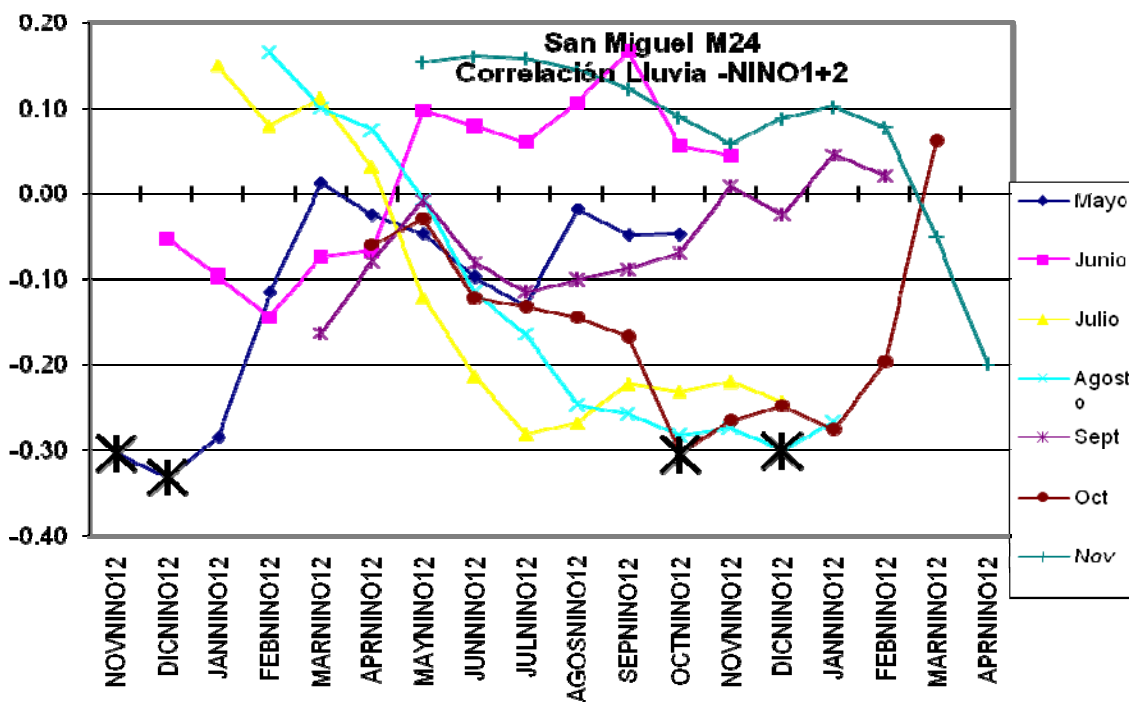


Figura 9.5. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. Niño 1+2.

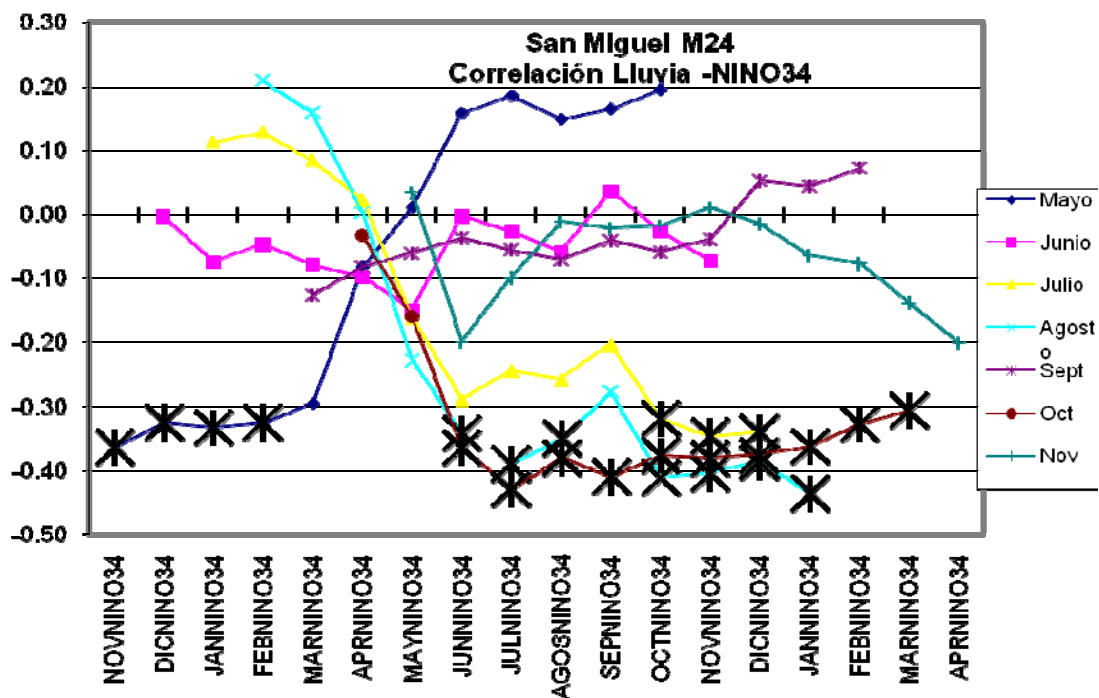


Figura 9.6. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vsr. Niño 3.4.

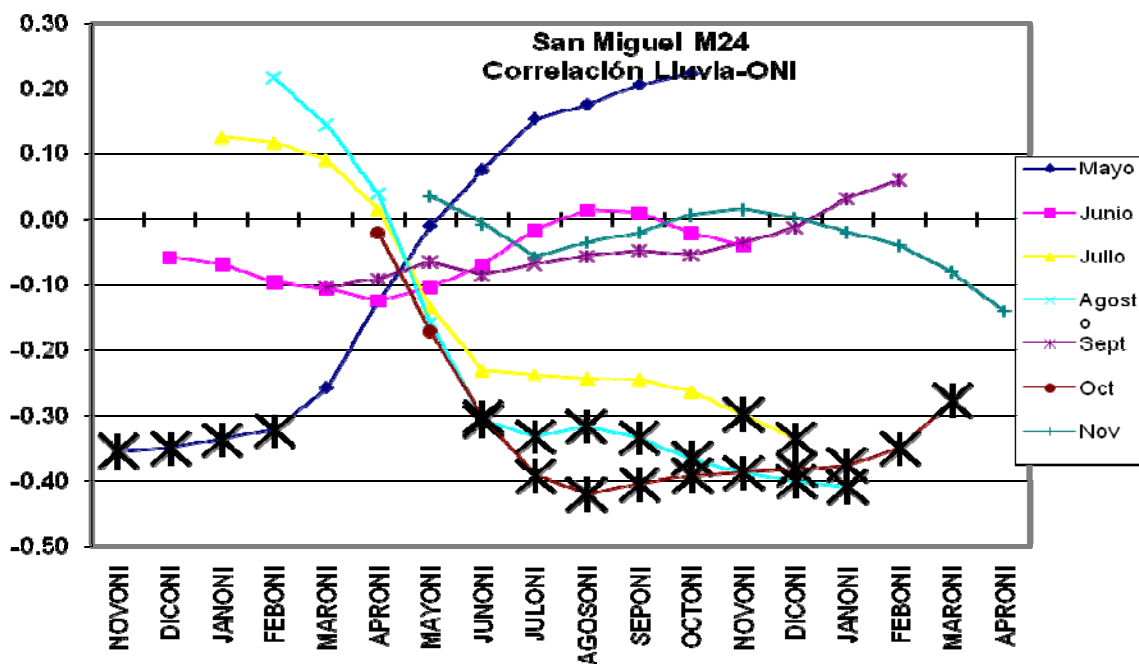


Figura 9.7. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vsr. ONI.

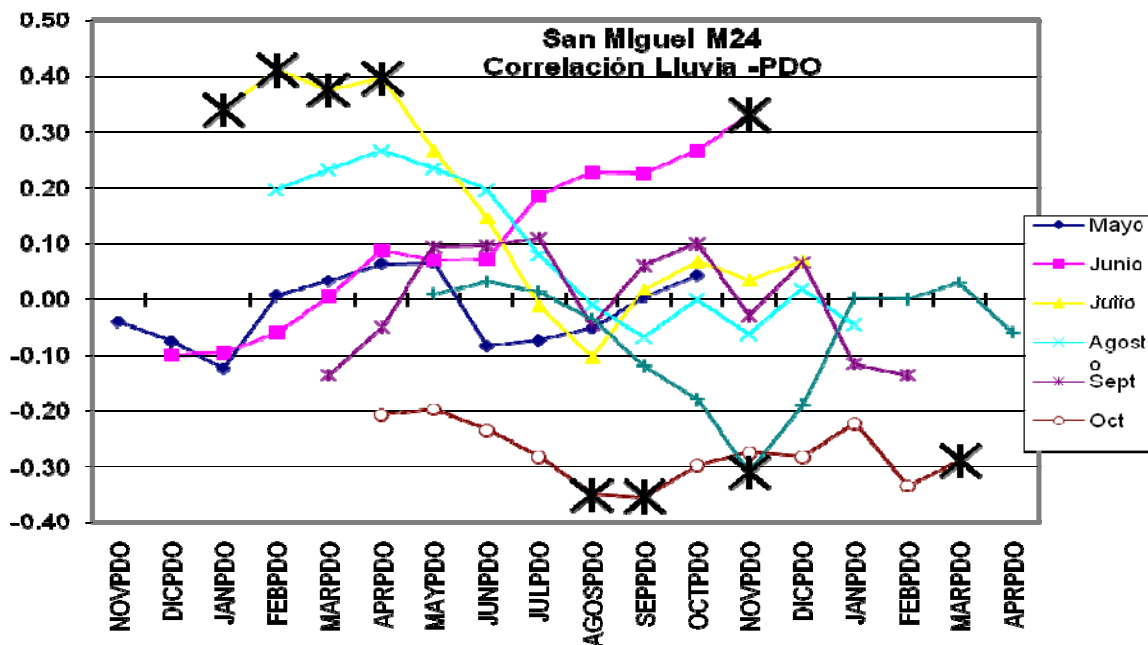


Figura 9.8. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. PDO.

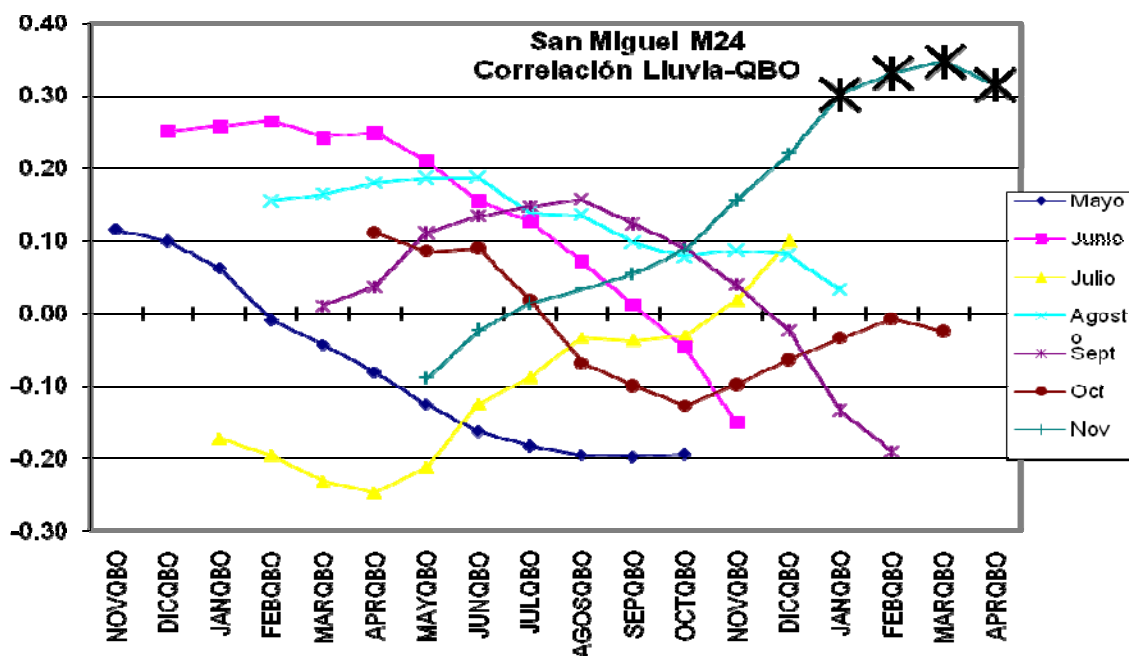


Figura 9.9. Correlación simples entre lluvia mensual de la estación San Miguel vrs. QBO.

Los índices que mostraron, en muy pocos casos, correlaciones con la lluvia fueron NAO, Niño 1+2 y QBO.

Al revisar las otras memorias de cálculo se encontró que la mayoría de estaciones tenían un comportamiento como el mostrado en el ejemplo. Sin embargo, San Miguel o Beneficio el Papalón en la región oriental (incluyendo parte costera), es de las estaciones que muestra valores altos, igual que la estación Güija, que representa otra zona pluvial. En ésta también los coeficientes de correlación más altos fueron para el ATN ( $R=+0.49$ ) y para Niño 3.4 ( $R=-0.5$ ).

En las estaciones estudiadas la mayoría de correlaciones estadísticamente significativas ocurrieron en el último trimestre de la época lluviosa, entre agosto y octubre, y también en varios casos en el mes de julio, con una relación inversa entre los forzantes oceánicos del Pacífico y la lluvia (coeficientes de correlación negativos) y con una relación directa entre los forzantes del Atlántico o Caribe y la lluvia, siendo el rango de correlaciones entre 0.3 y 0.4 sin importar el signo, los valores estadísticamente significativos al 95 %. Este rango ya había sido encontrado anteriormente en otras investigaciones Alfaro (2002), quien es el principal investigador del tema y a veces junto a Enfield (2000) han encontrado dichos rangos al estudiar la relación entre la lluvia en Centro América y los océanos vecinos, además de encontrar la relación directa de las anomalías de la temperatura del agua del Atlántico Tropical y la relación inversa con las anomalías de la temperatura del agua del Pacífico.

Las correlaciones del Niño 3.4, fueron las que mostró coeficientes negativos altos y significativos, seguido en magnitud coeficientes de correlación de los índices del Atlántico en especial el del Atlántico Tropical Norte (ATN).

Con otros forzantes como el QBO, PDO, SOI, las correlaciones con la lluvia fueron muy bajas y solo en casos aislados fueron altas y significativas, el peor de todos fue el QBO.

También Alfaro (2007), al estudiar el comportamiento de las lluvias en C. A. encontró que la lluvia del trimestre Mayo-Junio-Julio, MJJ, está mejor relacionada con las anomalías de las aguas del Atlántico Tropical. La relación es directa con coeficientes positivos, y la lluvia del trimestre Agosto-Septiembre-Octubre, ASO, se relacionó con una especie de dipolo entre los océanos Atlántico y Pacífico, donde las anomalías positivas (negativas) del pacífico y negativos (positivas) del atlántico provocan disminución (aumento) de las lluvias en dicho trimestre.

Se procedió a estudiar los datos mensuales de caudales, en este caso por las limitantes de los datos ya antes expuesto se utilizaron solo 2 estaciones, y se describe una de ellas como ejemplo a continuación.

Las figuras de 9.10 a la 9.17 muestran como ejemplo, los resultados de las correlaciones simples y su significancia estadística con un asterisco, de los valores mensuales de caudal de la estación Conacaste Herrado del Río Ceniza en la zona occidental del país, con 6 meses de retraso y 6 meses de adelanto y varios índices oceánicos-atmosféricos, de ambas estaciones estudiadas se pusieron a disposición la memoria de cálculo.

En general, las correlaciones significativas fueron disminuyendo respecto al estudio con las lluvias, o sea fueron menos frecuentes y pocos meses mostraron alguna relación con los índices. De todas formas, los índices que tuvieron peso fueron igual que con la lluvia el ATN y el Niño 3.4., aunque el índice Niño 1+2 apareció con mayor peso que en el caso de la lluvia.



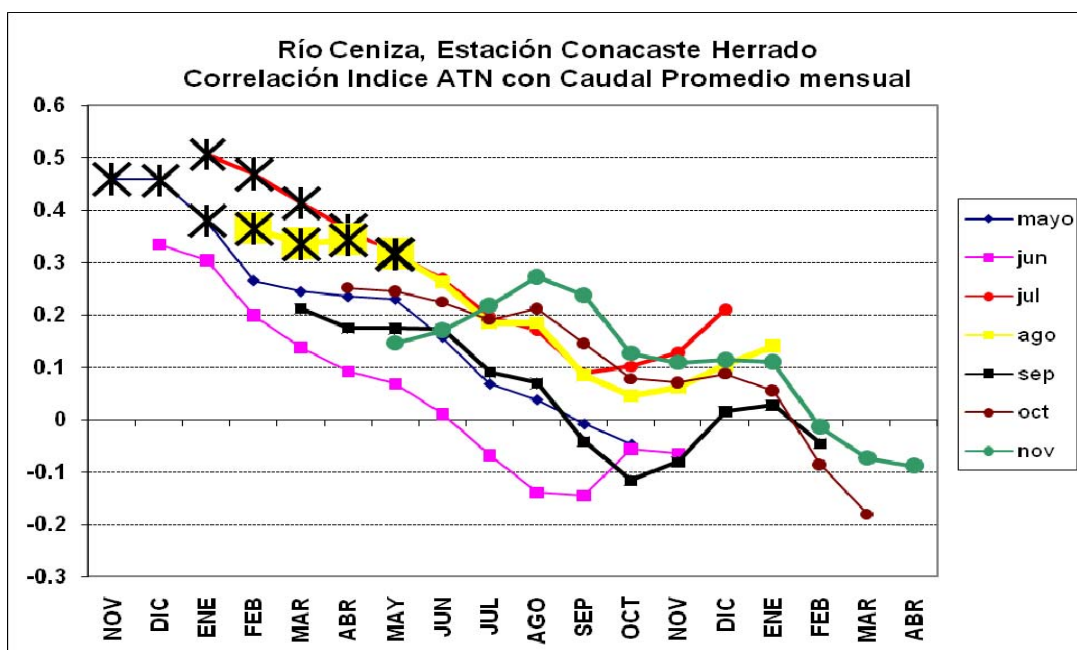


Figura 9.10. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vs. ATN.

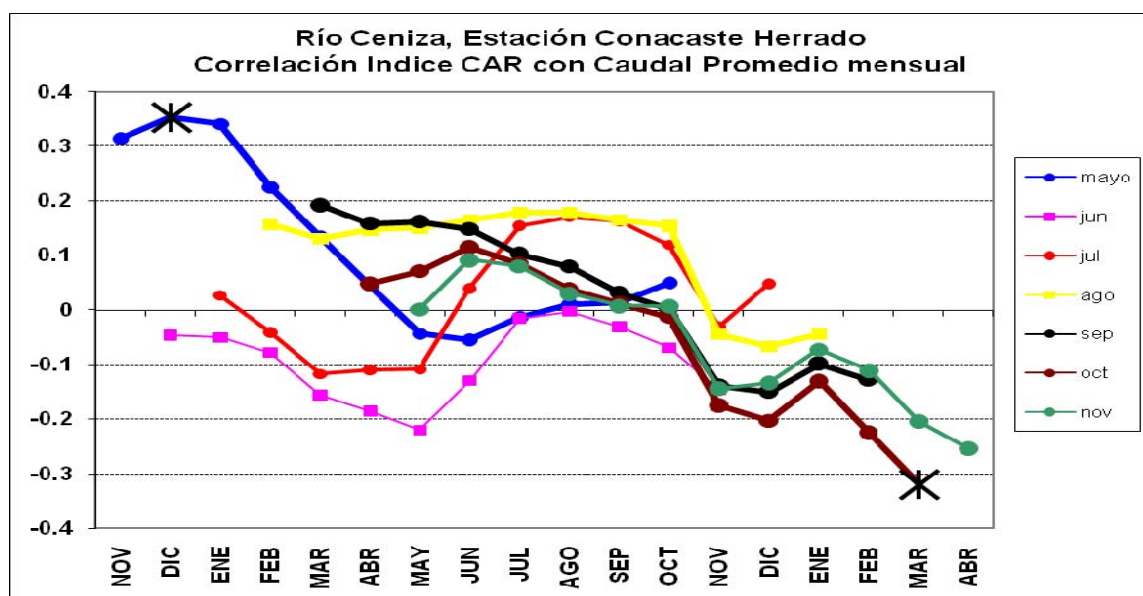


Figura 9.11. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vs. CAR.

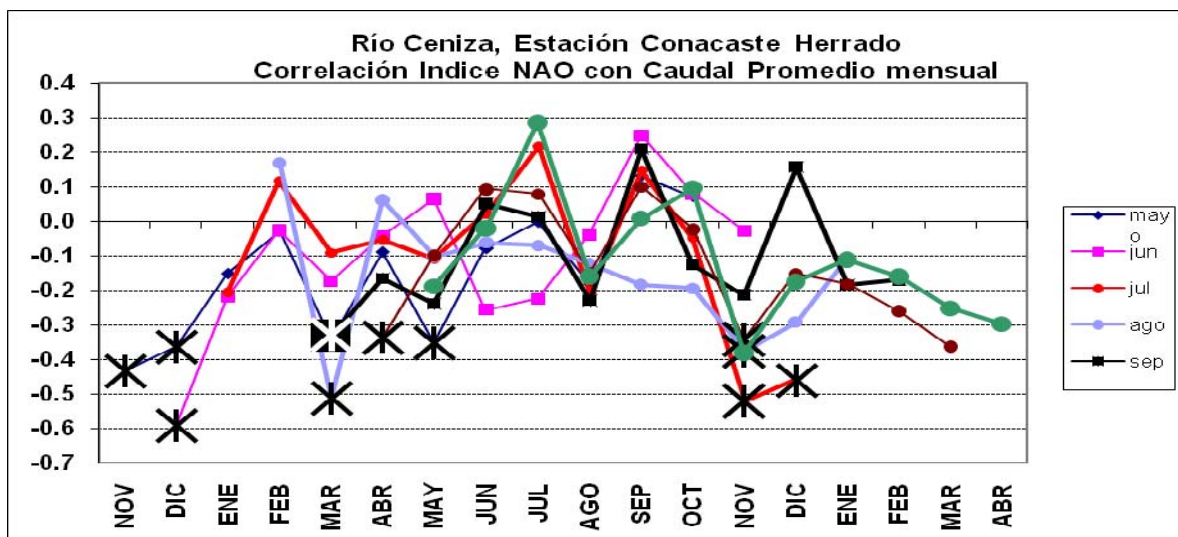


Figura 9.12. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vrs. NAO.

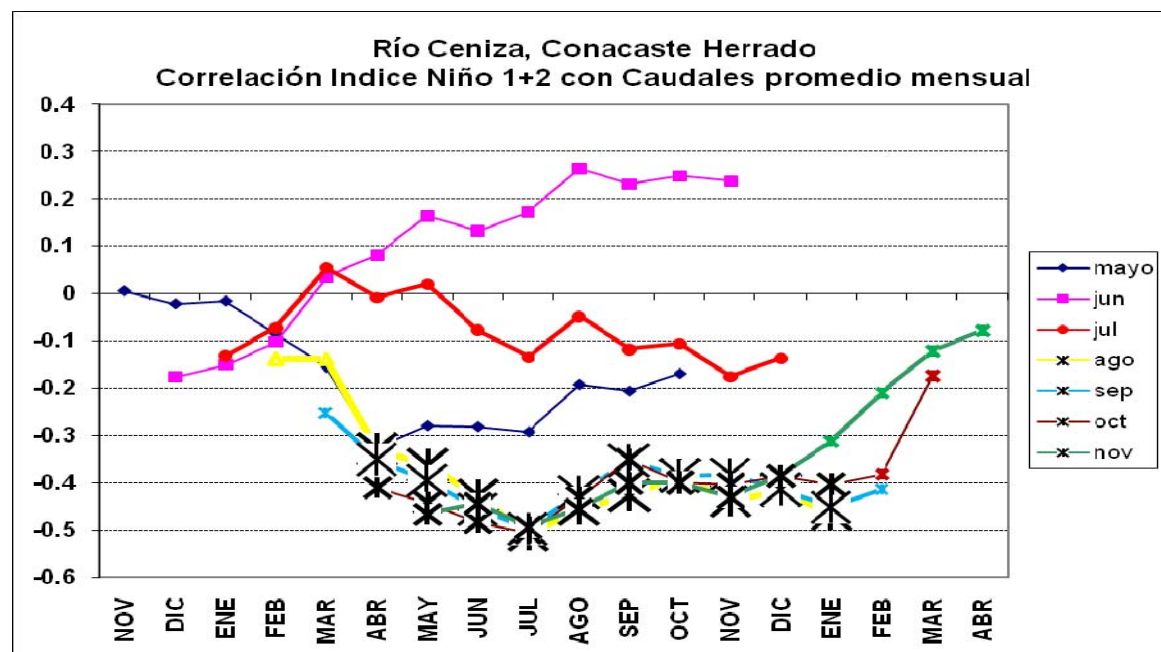


Figura 9.13. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vrs. Niño 1+2.

Igual que sucedió con la lluvia, los rangos de correlación significativa estuvieron por arriba de 0.3, alcanzando también en algunos casos hasta 0.5.

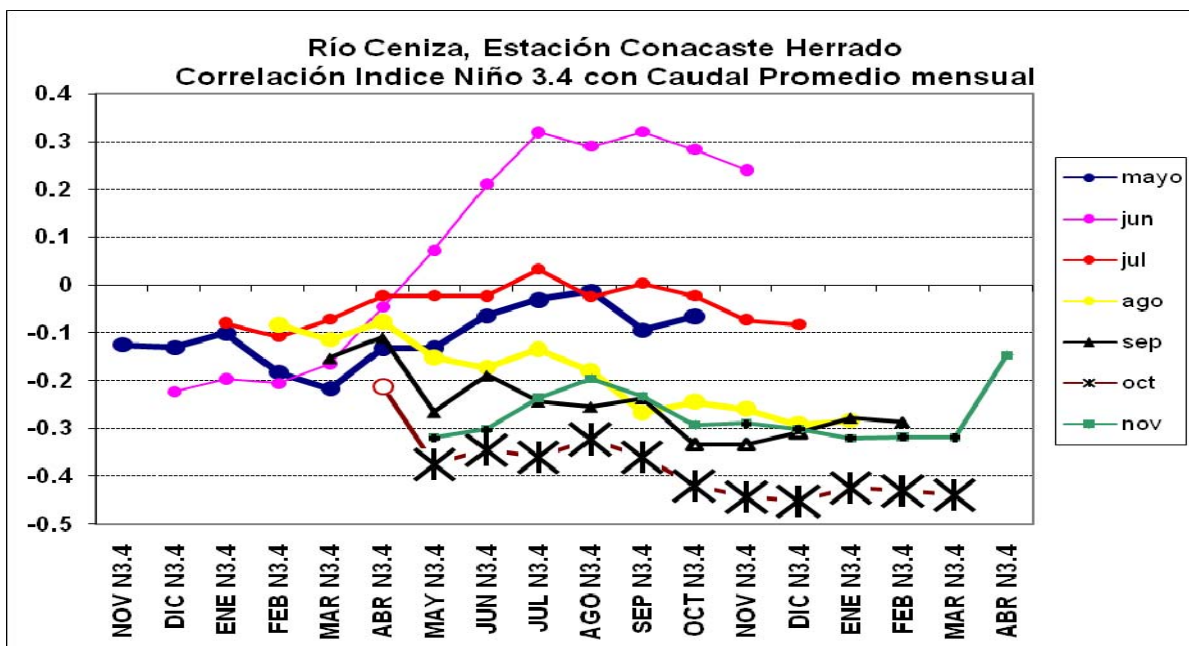


Figura 9.14. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vrs. Niño

3.4.

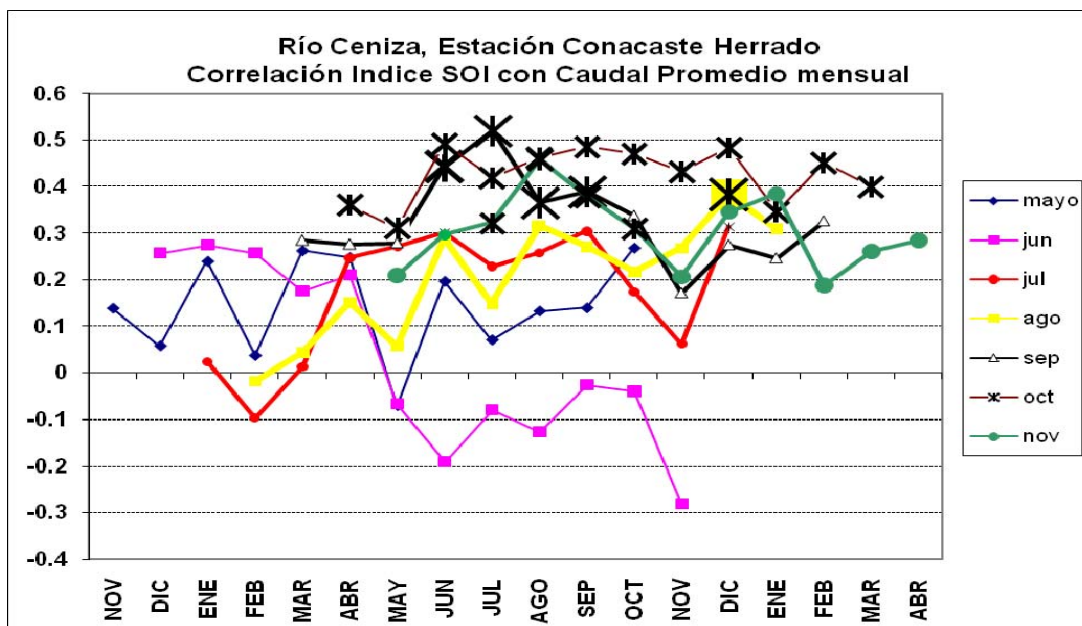


Figura 9.15. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vrs. SOI.

Lo mismo que sucedió con la lluvia, los índices PDO y QBO fueron los que mostraron muy poca relación con los caudales.

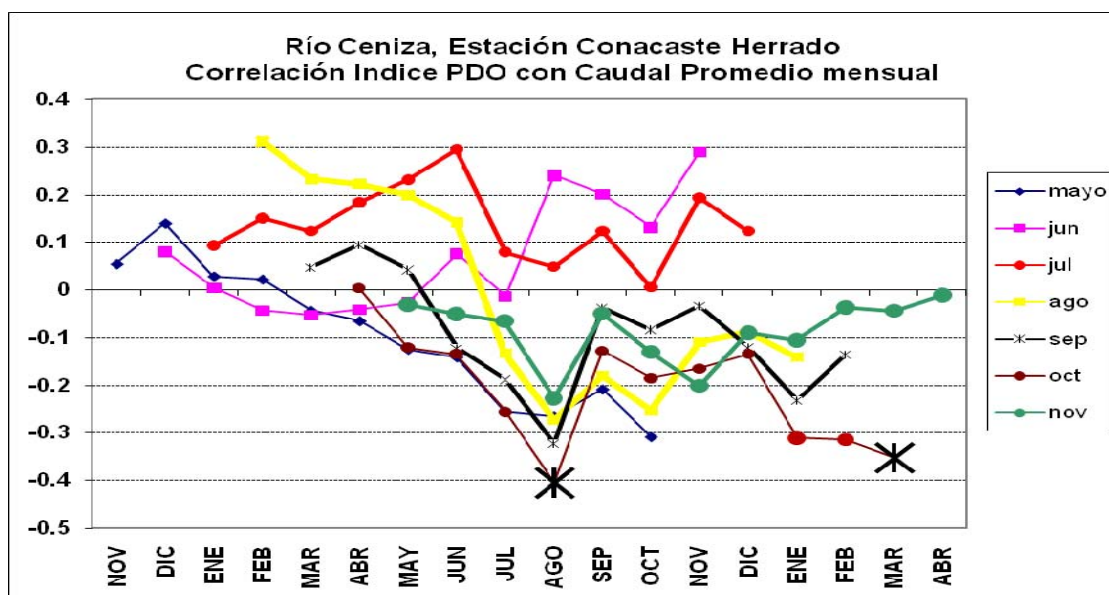


Figura 9.16. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vrs. PDO.

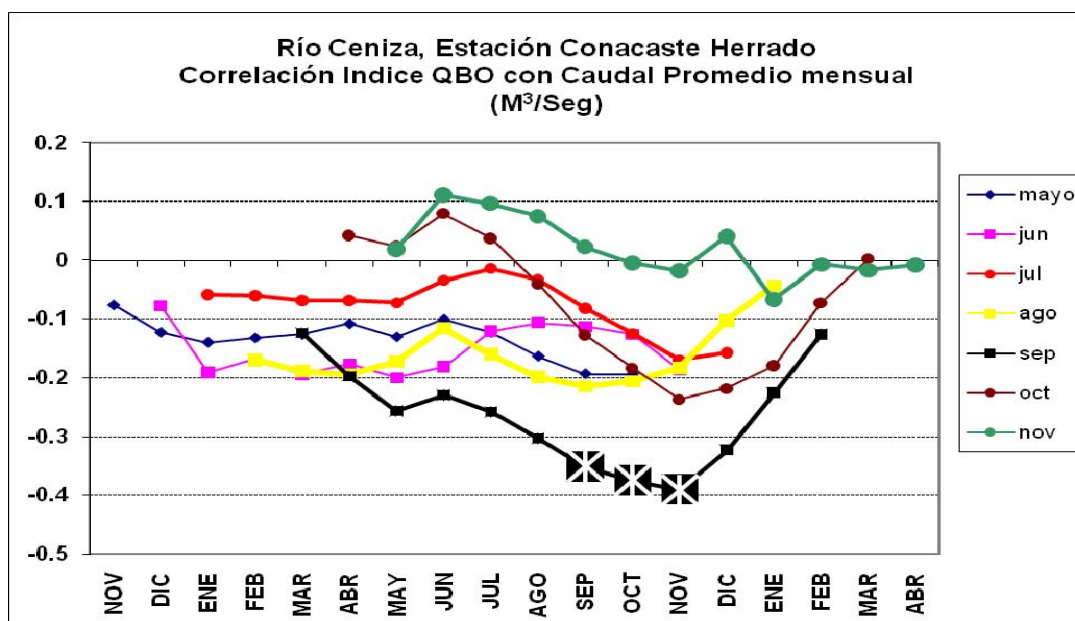


Figura 9.17. Correlación simples entre el caudal mensual de la estación Conacaste Herrado vs. QBO.

Estudios sin publicar de la hidróloga (Adriana Erazo del SNET), usando el CLIMLAB propiedad del IRI, indicaban que había un rango de coeficientes de correlación parecidos a los encontrados en este estudio con algún grado de significancia y también el Atlántico Tropical y Pacífico Tropical mostraron los mejores coeficientes.

Comunicación personal con Irina Krasovskaia de la Universidad de Oslo, sirvió para verificar que también encontraron relaciones parecidas a las de ésta investigación en estudios hechos en varios ríos de Costa Rica, específicamente relacionados al SOI o en su defecto la relación de los eventos extremos de inundación y tormentas asociados a La Niña y la disminución de estos durante años con eventos El Niño (Krasovskaia et al, 1999).

## **Correlaciones Canónicas de la lluvia del trimestre Mayo-Junio-Julio (MJJ) y la temperatura de la superficie del mar de los océanos vecinos, usando el software CPT-IRI**

Para el cálculo de correlaciones canónica se trabajó sólo para el período del trimestre mayo-junio-julio, MJJ, usando el “Climate Prediction Tool”, (CPT-IRI. Se han utilizado tres escenarios temporales de los predictores posibles:

- El período Nov-Dic-Ene-Feb-Mar-Abr para ver como se comporta la lluvia del trimestre respecto a los forzantes desde seis meses atrás.
- El período Nov-Dic-Ene de los predictando, y por último,
- El Período Feb-Mar-Abr de los predictando.

En los escenarios espaciales, se han elegido las zonas de temperatura superficial del mar según lo estudiado con las correlaciones simples de Pearson, los cuales fueron:

- ATN, Atlántico Tropical Norte.
- Niño 1+2
- Niño 3.4
- Además, un escenario que cubra las tres regiones simultáneamente para buscar la mejor correlación entre todos ellos.

El software CPT se configuró para cada escenario, de la siguiente forma:

### **Predictores:**

Como predictor se está utilizando el promedio de la temperatura del mar, SST, sea este trimestral o semestral, según sea el caso, desde el año 1855, tomado de la base datos del IRI (International Research Institute).

Dado que se está elaborando un análisis de correlación canónico, el software se le programa al menos 4 modos de EOF, función ortogonal empírica de la temperatura

superficial del océano, también tiene la habilidad de desarrollar un modelo de pronóstico, aunque en esta investigación no se utilizó ni se validó, pero si se considera el índice de bondad del mejor modo o patrón encontrado. Para que el software funcionara se le programó un período de entrenamiento de 37 años con 5 años de validación, de esta manera el período climatológico o de entrenamiento que se le programa al software es de 1960 a 1989.

Respecto a la ubicación espacial, como se mencionó antes, se toman 4 escenarios posibles, estos son:

- Escenario A: latitud 5S a 20N, longitud 60W a 10W, corresponde al índice ATN
- Escenario B: latitud 10S a 0N, longitud 80W a 90W, correspondiente a Niño 1+2
- Escenario C: latitud 5S a 5N, longitud 120W a 170W, corresponde a Niño 3.4
- Escenario D: latitud 10S a 20N, longitud 10W a 170W correspondiente a los 3 anteriores.

Mientras que los escenarios temporales son:

- Escenario 1: período desde Noviembre hasta Abril
- Escenario 2: período de Noviembre a Enero
- Escenario 3: período de Febrero a Abril

Con lo anterior, se tienen 12 diferentes posibilidades de comportamiento, numerados como A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2 y D3, que denotarán la ubicación temporal y espacial del fenómeno.

### **Predictandos.**

Para los predictandos, se utiliza el promedio del acumulado trimestral de la lluvia MJJ de las siguientes 12 estaciones, se buscaron las que tenían serie larga y menos datos faltantes:

1. A15, Estación Güija
2. A18, Los Andes
3. A37, Estación Santa Ana
4. B1, Chorrera del Guayabo
5. G3, Nueva Concepción
6. G4, La Palma
7. L4, Estación San Andrés
8. M24, Estación San Miguel,
9. S10, Estación de Ilopango
10. T6, Estación de Acajutla
11. U6, Estación de Santiago de María
12. Z2, Estación de San Francisco Gotera

El valor promedio de lluvia es del acumulado del trimestre Mayo-Junio-Julio de los años 1960 a 2006.

El software permite seleccionar un rango de modos para las funciones ortogonales empíricas máximas EOF; se seleccionó el rango entre 3 y 4 para que sea el programa el que calcule y muestre el mejor modo.

Al final del análisis de correlaciones canónicas se muestran los resultados en tabla.

Escenario A: latitud 5S a 20N, longitud 60W a 10W, corresponde al índice ATN.

### **ESCENARIO A1**

Este escenario corresponde al índice ATN con el periodo temporal de 6 meses Nov-Abr. Índice de bondad: 0.076



El CPT encuentra un patrón con una correlación canónica de + 0.3342 entre la lluvia trimestral y el ATN cuando este último tiene anomalías de la temperatura por arriba del valor promedio, con la forma siguiente:

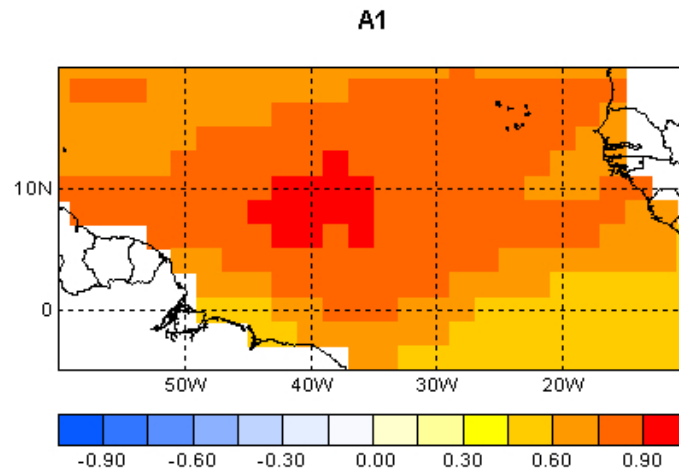


Figura 9.18. Patrón espacial del modo 1, anomalías de temperaturas del océano escenario A1.

Este patrón de color naranja o rojo positivo, significa que el mejor modo de la correlación corresponde para anomalías de temperatura positivas, conlleva al siguiente resultado de las estaciones:

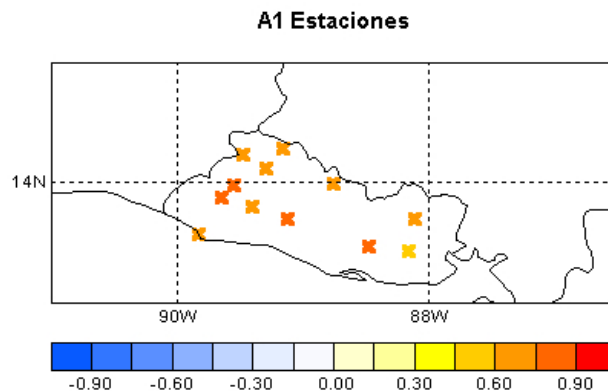


Figura 9.19. Patrón espacial del modo 1, anomalía de lluvia para escenario A1.

La figura del comportamiento de las anomalías de la lluvia muestra valores positivos, o sea lluvias por arriba de sus valores promedio relacionados con un ATN que registra también valores de temperatura positivos, hay una relación directa.

### ESCENARIO A2

Este escenario corresponde al índice ATN con el período temporal Nov-Ene. Sin embargo por algún motivo los resultados son casi idénticos al escenario A1 por lo que no se presentan.

### ESCENARIO A3

Este escenario corresponde al índice ATN con el período Feb-Abr.

Índice de bondad: 0.068

El CPT encuentra un patrón con una correlación canónica de + 0.068, con la forma siguiente:

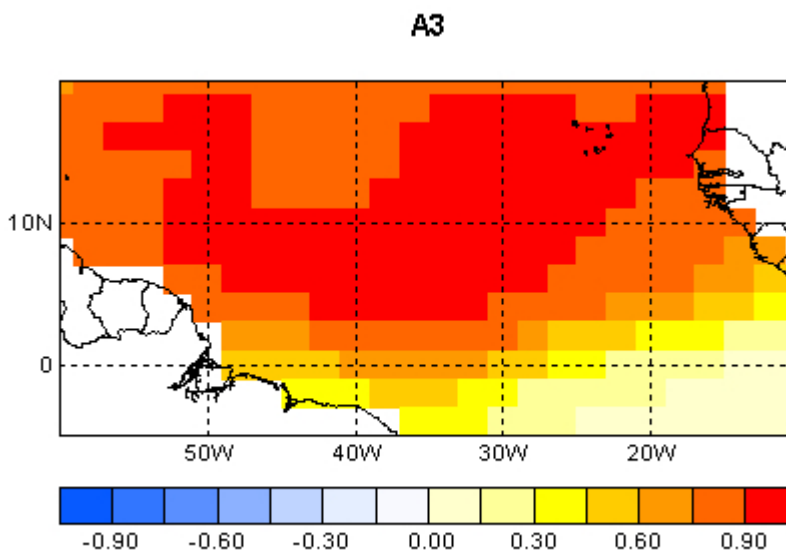


Figura 9.20. Patrón espacial del modo 3, anomalías de temperaturas del océano escenario A3.

Este patrón de color naranja o rojo positivo significa también un modo o régimen del ATN cálido y conlleva al siguiente resultado de las estaciones:

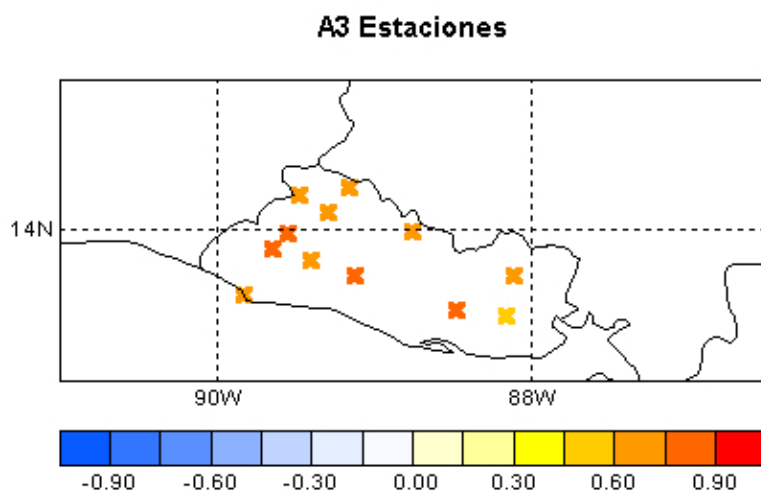


Figura 9.21. Patrón espacial del modo 3, anomalías de lluvia escenario A3.

Para el escenario A3, el comportamiento de la lluvia resulta con valores positivos en toda la red de estaciones usadas, o sea arriba de sus valores promedio en la medida que el ATN registre también valores de temperatura positivos, existe una relación directa.

En los 3 escenarios es posible apreciar que la lluvia en las estaciones responden de forma similar y directa al ATN, con un incremento de la lluvia en la medida que las temperaturas del agua sean por arriba de su valor promedio o anomalías SST positivas.

Escenario B: latitud 10S a 0N, longitud 80W a 90W, correspondiente a Niño 1+2

### ESCENARIO B1

Este escenario corresponde a Niño 1+2 con el periodo Nov-Abr.

Índice de bondad: -0.116

El CPT encuentra un patrón con una correlación canónica de 0.4273, con la forma siguiente:

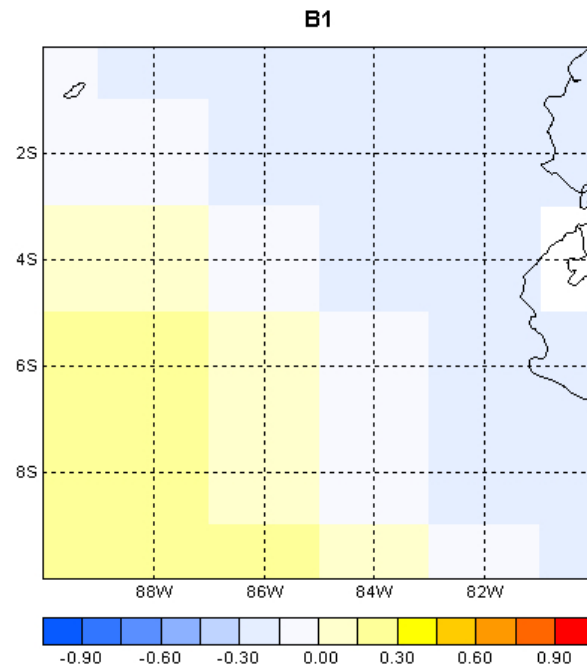


Figura 9.22. Patrón espacial del modo 1, anomalías de temperaturas del océano escenario B1.

El patrón de las anomalías en la temperatura de la región Niño 1+2 no es claro, pues las anomalías están muy cercanas a cero.

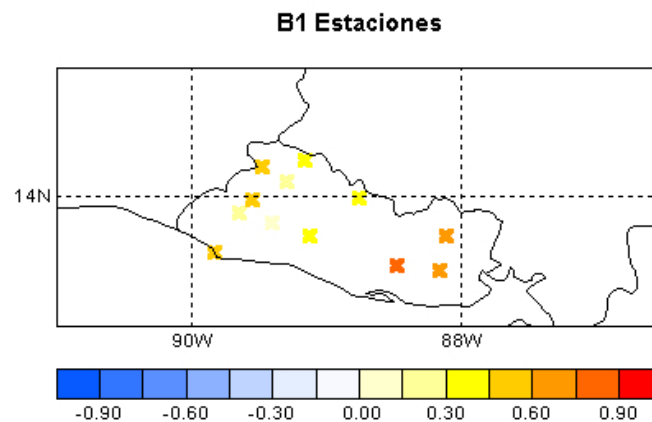


Figura 9.23. Patrón espacial del modo 1, anomalías de lluvia escenario B1.

El patrón de lluvias aparece positivo, sin embargo, es difícil explicar si este se debe a una región Niño 1+2 frío o cálido, o quizá será un período de transición.

## ESCENARIO B2

Este escenario corresponde a Niño 1+2 con el periodo Nov-Ene.

Índice de bondad: -0.116

El CPT encuentra un patrón con una correlación canónica de 0.4273, con la forma siguiente:

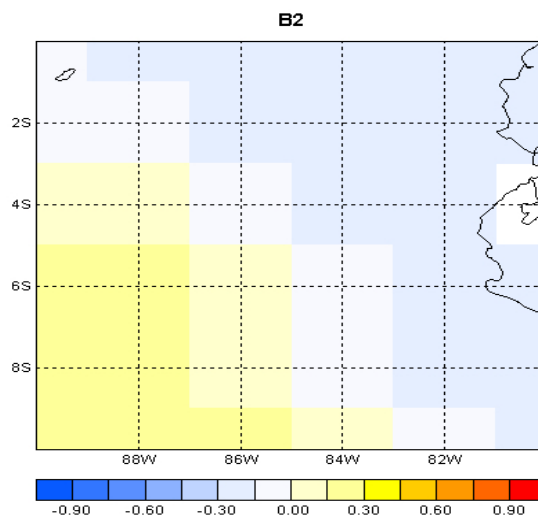


Figura 9.24. Patrón espacial del modo 2, anomalías de temperaturas del océano escenario B2.

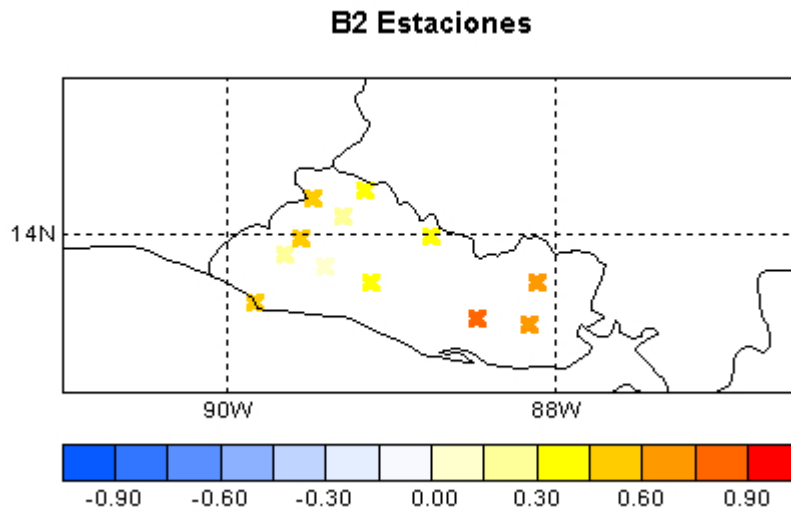


Figura 9.25. Patrón espacial del modo 2, anomalías de lluvia escenario B2.

El Patrón del escenario B2 es idéntico al B1, la lluvia aparece positiva, sin embargo es difícil explicar si este se debe a una región Niño 1+2 frío o cálido, o quizá será un período de transición.