



Bulletin de l'Institut français d'études andines

ISSN: 0303-7495

secretariat@ifea.org.pe

Institut Français d'Études Andines

Organismo Internacional

Miranda, Guillermina

La influencia del fenómeno El Niño y del índice de oscilación del sur en las precipitaciones de  
Cochabamba, Bolivia

Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998

Institut Français d'Études Andines

Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627333>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

## LA INFLUENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO Y DEL ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR EN LAS PRECIPITACIONES DE COCHABAMBA, BOLIVIA

Guillermina MIRANDA \*

### Resumen

Tradicionalmente se ha dado poca importancia al fenómeno El Niño y al Índice de Oscilación del Sur en la influencia de la distribución espacio-temporal de las precipitaciones que se registran en los valles de Cochabamba, principalmente, y de forma general en Bolivia.

El estudio se realizó en los valles Alto, Central y Bajo del departamento de Cochabamba, Bolivia, ubicados entre los 17°20' y 17°45' de latitud sur y de 66°05' y 66°20' de longitud oeste. Se utilizó la información de 20 estaciones meteorológicas, y las series de TSM del IOS.

Las series que se estudiaron fueron divididas en anual, mensual y diaria. Se aplicaron los análisis cualitativo y cuantitativo. Con la aplicación de "Series de Tiempo" se determinó el año hidrológico y las anomalías de las precipitaciones, ajustándose a un promedio móvil de 4 años para las estaciones que reciben la influencia remanente de los frentes del sur y de la Zona de Convergencia Intra tropical-ZCIT y de 5 años para el resto de las estaciones. Se concluyó que la influencia del fenómeno El Niño se da más en las precipitaciones registradas en Cochabamba y con menor incidencia en las precipitaciones registradas en Arani. La influencia del IOS se da más en las precipitaciones de Arani y en menor proporción en las precipitaciones en Cochabamba.

Lo cual implica que la influencia del fenómeno El Niño y del Índice de Oscilación del Sur se da en la distribución espacio-temporal de las precipitaciones registradas en los valles de Cochabamba. Esta anomalía afecta directamente la agricultura y de forma indirecta el incremento de los problemas socioeconómicos en el departamento de Cochabamba.

**Palabras claves:** *Fenómeno El Niño, Índice de Oscilación del Sur, precipitación en Bolivia, ENSO, variabilidad climática.*

### INFLUENCE DU PHÉNOMÈNE EL NIÑO ET DE L'INDICE D'OSCILLATION DU SUD SUR LES PRÉCIPITATIONS DE COCHABAMBA, BOLIVIE

### Résumé

On n'avait, jusqu'à présent, apporté que peu d'importance à l'influence du phénomène El Niño et de l'Indice d'Oscillation du Sud (IOS) sur les précipitations de Cochabamba et plus généralement de la Bolivie. L'étude a été réalisée à partir de l'information de 20 stations météorologiques des vallées hautes, centrales et basses du département de Cochabamba, situées

---

\* Centro de Análisis Espacial-Instituto de Ecología, La Paz-Bolivia Telf.: (519-2) 792416, Fax: 797511, e-mail: insteco@ie.rds.org.bo

entre 17°20' et 17°45' de latitude sud et 66°05' et 66°20' de longitude ouest en utilisant aussi les séries de TSM et de l'IOS. Les séries ont été étudiées au niveau annuel, mensuel et journalier, au niveau qualitatif et quantitatif. Une analyse des séries chronologiques a déterminé l'année hydrologique et les anomalies de précipitations, en calculant une moyenne mobile sur 4 ans pour les stations soumises à une influence rémanente des fronts du sud et à celle de la Zone de Convergence Intertropicale-ZCIT, et sur 5 ans pour le reste des stations. On a pu conclure que l'influence du phénomène El Niño était plus nette dans les précipitations enregistrées à Cochabamba qu'à Arani, alors que l'influence de l'IOS se fait davantage sentir à Arani qu'à Cochabamba. Ceci montre bien l'influence du phénomène El Niño et de l'IOS sur la distribution spatio-temporelle des précipitations des vallées de Cochabamba. Ces anomalies affectent directement l'agriculture et contribueront ensuite à l'aggravation des problèmes socio-économiques du département de Cochabamba.

**Mots-clés :** *Phénomène El Niño, Indice d'Oscillation du Sud, précipitation en Bolivie, ENSO, variabilité climatique.*

### **“EL NIÑO” PHENOMENON AND SOUTHERN OSCILLATION INDEX INFLUENCE ON THE PRECIPITATION IN COCHABAMBA, BOLIVIA**

#### **Abstract**

For a long time, the “El Niño” phenomenon and the Southern Oscillation Index (SOI) had been attributed as a factor of less importance on the time-space distribution of the registered atmospheric precipitation in the Cochabamba valley, mainly, and in Bolivia, in general.

This study had been carried out at the Alto (upper), Central (middle) and Bajo (lower) valleys in the Cochabamba department, in Bolivia. These valleys are located between 17°20' and 17°45' South, and between 66°05' and 66°20' West. The information from 20 meteorological stations, the SST and SOI series have been used in the study. The analysis was divided into yearly, monthly and daily series. Both qualitative and quantitative analyses were used. The hydrological year and anomalies in the precipitation were determined by the “time series” method; with an adjustment to a sliding four-year mean, which is the case of the stations under the influence of the Southern fronts and the ITCZ as well as a five-year mean for all the other stations.

The influence of the “El Niño” phenomenon is signaled by the precipitation at Cochabamba, and, in a lesser extent, at Arani. The SOI influence is more pronounced at Arani than in Cochabamba.

Therefore, we could conclude that the “El Niño” phenomenon and the Southern Oscillation Index influence are present in the time-space distribution of the registered atmospheric precipitation in the Cochabamba valleys, with agricultural and socio-economical consequences.

**Key-words.** *El Niño phenomenon, Southern oscillation index, Precipitation in Bolivia, ENSO, Climatic variability.*

### **INTRODUCCIÓN**

Tradicionalmente se ha dado poca importancia al fenómeno El Niño y al Índice de Oscilación del Sur, y a la influencia de la distribución espacio-temporal de las precipitaciones que se registran en los valles de Cochabamba, Bolivia.

En los años de 1982-1983 (Niño Extra fuerte) las zonas áridas y semiáridas del altiplano y de los valles interandinos, relacionados con la producción agropecuaria, sufrieron fuertes pérdidas en producción por la prolongadas sequía que en esa época azotaron el área.

Conocer la relación que existe del fenómeno El Niño e I.O.S. en las precipitaciones de los valles interandinos de Cochabamba, como causa probable de sequías y definir las características de la precipitación pre-Niño, Niño, post-Niño, pre-IOS, IOS y post-IOS, es el objetivo general de este trabajo.

### 1. FENÓMENO EL NIÑO

El fenómeno El Niño es un evento que ocurre en determinados años con manifestaciones especialmente patentes frente a las costas del Perú y con repercusiones a macroescala, causando cambios meteorológicos, oceanográficos y biológicos en todo el globo terráqueo (Pinto, 1985). Para Macharé y Ortlieb (1993), la definición de El Niño está basada en las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) observadas en ciertas estaciones de la costa peruana, como por ej. Puerto Chicama ( $7^{\circ}41' S$  y  $79^{\circ}26' W$ ). Aceituno (1993) indica que "Las siglas ENSO han de recobrar, para evitar confusiones, su sentido prístino, y designar los episodios cálidos en el Pacífico central y los cambios atmosféricos y oceánicos inherentes a la fase negativa de la Oscilación del Sur". En este trabajo se define que: El fenómeno El Niño es una variabilidad climática, acíclica, y que se presenta por las elevaciones anormales de temperatura superficial de aguas del Océano Pacífico, registradas en puerto Chicama-Perú, originando perturbaciones atmosféricas con efectos principalmente en las precipitaciones y temperaturas continentales.

### 2. ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR

Son variaciones de temperatura en el sureste del océano Pacífico (Tahiti) e Indonesia (Estación de Darwin) que generan una diferencia de presiones atópicas. A esta diferencia de presiones se la denomina Índice de Oscilación del Sur-IOS, y es el foco central para el estudio de las anomalías climáticas en muchas regiones (Wright, 1989). En 1982-1983 por ej. se produjeron presiones atmosféricas por encima del promedio en Darwin y bajas presiones atmosféricas en Tahiti (Rutllant, 1984, citado por Pinto, 1985).

### 3. ENSO

Kahya & Dracup (1993) Tapley & Waylen (1990) y otros indican que ENSO es la relación del fenómeno de El Niño con la diferencia de presiones negativa-IOS. Es la mejor ilustración de las interacciones complejas entre el océano y la atmósfera. Quispe (1993) señala que esta conexión no es inmediata.

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en los valles alto, central y bajo del departamento de Cochabamba, Bolivia, ubicados entre los  $17^{\circ}20'$  y  $17^{\circ}45'$  de latitud sur y de  $66^{\circ}05'$  y  $66^{\circ}20'$  de longitud oeste y una altitud promedio de 2 500 m.s.n.m.

La dinámica de los elementos del clima en los valles de Cochabamba se puede seguir con 43 años de registro continuo de precipitación y de 26 años para los otros elementos registrados en la estación meteorológica de AASANA (ubicado en el aeropuerto de Cochabamba). La dirección del viento es de SE, SW y N. El promedio

de temperatura es de 17°C. La presión barométrica de 750 mb. El promedio de precipitación es de 460 mm; la distribución de la precipitación está de acuerdo con el calentamiento terrestre que produce una depresión térmica, obligando a la Zona de Convergencia Intertropical-ZCIT a descender a latitudes más altas y a la invasión de masas marítimas frías de aire polar, que ocasionan los frentes fríos (surazos).

Los problemas que presentan estos valles son los períodos secos. En 1960 se registró 4 meses sin precipitaciones (abril a julio); posteriormente sucedieron granizadas e inundaciones. Las granizadas ocurren durante enero, febrero y marzo y las inundaciones se dan a orillas de la represa de La Angostura, río La Maica y de las torrenteras de la cordillera del Tunari.

## 5. METODOLOGÍA

Se utilizó la información de 17 estaciones meteorológicas (Cochabamba, Arani, San Benito, La Paz-El Alto, Oruro, Trinidad, Santa Cruz, Corani, Tarija, Capinota, Parotani, Pairumani, La Violeta, Tamborada, Tarata, Tunari y La Paz-San Calixto), ubicadas en el departamento de Cochabamba y en las áreas de influencia, además de la información de la temperatura superficial del mar-TSM registrado en Puerto Chicama, Perú y del Índice de Oscilación del Sur-IOS (registros de presiones de Tahití y Darwin). Para las relaciones se trabajó con las series anuales, mensuales y diarias de precipitación de Cochabamba-Cbba y Arani.

1. Para la evaluación de la consistencia y homogeneidad de las series, se empleó el método cualitativo (con visitas a las estaciones en estudio) y cuantitativo (mediante los métodos Racional Deductivo, Test de Helmert, análisis de doble acumuladas, consistencia de la media y la varianza aplicando pruebas de “t” y de “F” respectivamente).

2. Se aplicó series de tiempo, empleando el modelo multiplicativo y sus componentes de variación estacional (determinación del año hidrológico) y tendencia secular (períodos de superávit y déficit de precipitación, fases positivas y negativas de la TSM e IOS, respectivamente).

3. En la relación de la TSM e IOS con la precipitación de Cochabamba, se aplicó:

- Coeficiente de correlación, con las metodologías de Producto-momento, Cambio con respecto al anterior, Porcentaje con respecto al anterior y Coeficiente de correlación lineal. La prueba del coeficiente de correlación a través de la hipótesis nula y con un nivel de 0,05.
- Consistencia de la media, mediante la prueba de “t” Student, con un nivel de significancia del 0,05.
- Consistencia de la varianza, mediante la prueba de F con un nivel de 0,05.
- Intervalo de confianza para la media con una probabilidad del 95 %.
- Índice de humedad, indicador que refleja la variación de la cantidad de humedad que existe en un conjunto de datos de precipitación.
- Comparaciones entre la media, varianza y coeficiente de Variación, estadígrafos de tendencia central, medidas de dispersión y de dispersión relativa.

## 6. RESULTADOS

Después del análisis cualitativo y cuantitativo se seleccionaron las estaciones meteorológicas de Cochabamba, Arani, Corani, Tunari, Santa Cruz, Trinidad, La Paz-El Alto, La Paz-San Calixto, Oruro y Tarija; más la información de la temperatura superficial del Mar-TMS (Pto. Chicama) y de la presión atmosférica de Darwin y Tahiti -IOS; se prescindió de las demás estaciones porque presentaban errores aleatorios y sistemáticos, por lo tanto no existía homogeneidad ni consistencia en los registros de precipitación.

De acuerdo a las "Series de Tiempo", modelo multiplicativo, se tiene:

1. Con las Variaciones estacionales, el año hidrológico en Cochabamba empieza en agosto y finaliza en julio, con valores máximos en enero y mínimo en julio. En Arani el año hidrológico empieza en julio y finaliza en agosto.

2. Tendencia secular. Se determinó periodos que se encuentran por encima y por debajo del promedio de las series de precipitación, TSM e IOS.

### 6. 1. Análisis anual

La correlación de la información de precipitación anual (agosto-julio) de las estaciones meteorológicas Cochabamba y Arani con la TSM e IOS, mediante el método del coeficiente de correlación lineal, dio los siguientes resultados:

Estación	TSM	IOS
Cochabamba	0,42	0,085
Arani	0.27	0,092

El análisis de las series de precipitación de Cochabamba y Arani, con la TSM nos muestra que los eventos de 1957 (fuerte), 1982-1983 (extra fuerte) y del 1991-1992 (muy fuerte) para la precipitación de Cochabamba, han tenido mayor incidencia. Para la precipitación de Arani, los eventos más importantes se dieron en los años 1982-1983 (extra fuerte) y 1990-1991 (muy fuerte).

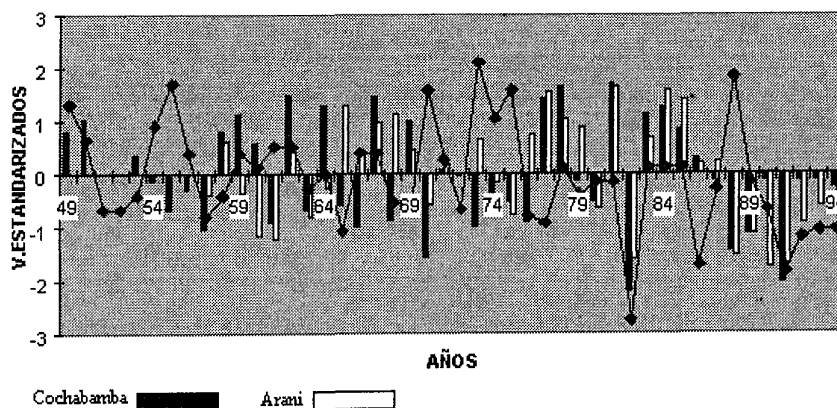


Fig. 1 - Comparación de las variaciones anuales del IOS con las precipitaciones de Cochabamba y Arani.

El análisis gráfico de las series de precipitación de Cochabamba y Arani, en relación con el IOS, nos muestra que los eventos del 1957, 1966, 1970, 1982, 1988, 1989 y 1991 para la precipitación de Cochabamba, son los que han tenido mayor incidencia. Para la precipitación de Arani, los eventos más importantes se dieron en los años 1961, 1982, 1988, 1989, 1990 y 1991.

## 6. 2. Análisis mensual

**Serie de TSM.** El promedio de 83 años de observación es de 17°C, con una desviación estándar del 1.2 y el promedio móvil que se ajusta es de 5 meses. En este estudio sólo se tomó en cuenta la fase positiva y se clasificó cada anomalía de acuerdo a la variación estándar y al tiempo de duración.

**Serie de IOS.** En el promedio de 130 años, de -0,1 mb, para este estudio sólo se tomó en cuenta la fase negativa y la clasificación se realizó de acuerdo a la desviación estándar y al tiempo de duración de cada anomalía.

**Cuadro 1 - Clasificación de las intensidades de las anomalías de los eventos.**

TSM		IOS	
Desviación Estándar	Clasificación	Desviación Estándar	Clasificación
0,0-0,5	NORMAL	0,0-0,2	NORMAL
0,5-0,7	DÉBIL	0,2-0,4	DÉBIL
0,7-1,1	MODERADO	0,4-0,6	MODERADO
1,1-1,7	FUERTE	0,6-0,8	FUERTE

De acuerdo a la anterior clasificación se tiene la magnitud de los eventos de la TSM e IOS en el siguiente cuadro:

**Cuadro 2 - Magnitud de los eventos (TSM e IOS).**

Evento	Desviación Estándar de TSM	Magnitud	Evento	Desviación Estándar de IOS	Magnitud
03/25-08/26	1,11	FUERTE			
12/26-08/28	0,57	DÉBIL			
11/28-04/31	0,88	MODERADO			
01/32-06/32	0,81	MODERADO	11/32-03/33	0,28	DÉBIL
01/39-05/39	0,41	NORMAL	06/34-10/33	0,09	NORMAL
12/39-07/40	0,56	DÉBIL	07/39-05/42	0,49	MODERADO
10/40-07/41	1,62	FUERTE	11/43-11/44	0,10	NORMAL

Evento	Desviación Estándar de TSM	Magnitud	Evento	Desviación Estándar de IOS	Magnitud
11/41-04/42	0,38	NORMAL	03/46-04/47	0,34	DÉBIL
12/42-07/43	0,79	MODERADO	02/48-09/49	0,10	NORMAL
02/44-07/44	0,39	NORMAL	04/51-03/52	0,27	DÉBIL
01/45-05/45	0,27	NORMAL	10/52-01/54	0,26	DÉBIL
12/46-04/47	0,36	NORMAL	03/57-05/58	0,30	DÉBIL
01/48-08/48	0,80	MODERADO	10/58-04/59	0,29	DÉBIL
12/48-06/49	0,68	DÉBIL	01/61-05/61	0,08	NORMAL
02/51-09/51	0,78	MODERADO	06/63-01/64	0,32	DÉBIL
12/51-04/52	0,13	NORMAL	01/65-07/66	0,46	MODERADO
01/53-08/53	0,83	MODERADO	10/68-04/70	0,20	NORMAL
01/57-06/58	1,11	FUERTE	03/72-04/73	0,43	MODERADO
01/59-06/59	0,60	DÉBIL	06/76-11/76	0,17	NORMAL
02/65-04/66	0,93	MODERADO			
01/69-07/69	0,72	MODERADO			
01/72-04/73	0,88	MODERADO	01/77-04/78	0,42	MODERADO
02/76-05/77	0,60	DÉBIL	10/78-02/79	0,09	NORMAL
12/79-05/80	0,38	NORMAL	10/79-04/81	0,14	NORMAL
09/82-09/83	3,03	EXTRA FUERTE	04/82-06/83	1,04	MUY FUERTE
12/86-07/87	1,06	MODERADO			
12/90-06/91	0,64	DÉBIL	12/89-04/90	0,23	DÉBIL
10/91-09/92	1,84	MUY FUERTE	01/91-07/92	0,60	FUERTE
01/93-08/93	0,66	DÉBIL			
01/94-06/94	0,19	NORMAL	01/94-05/95	0,41	MODERADO
12/94-04/95	0,29	NORMAL			

De la correlación de los eventos moderados, fuertes, muy fuertes y extrafuertes de la TSM e IOS con la precipitación de Cochabamba y Arani, previa clasificación de antes-**1**, durante-**0** y después **+1**, en periodos de tiempo similares a la duración de un evento, se tiene:

- Análisis de correlación. Los valores de "r" difieren de acuerdo con la metodología que se emplea. Así por ejemplo para el evento 09/82-09/83 (extra fuerte) de la TSM-Cbba. con la precipitación de Cochabamba, se tiene una correlación de  $r=0,07$  mediante el método Producto-Momento; de  $r=0,30$  con el método de Porcentaje Respecto al Anterior; y de  $r=0,37$  con la correlación Lineal. Para el IOS-Cbba. el valor más alto es de  $r=0,51$  con el método de Producto-Momento para el evento de 01/94-05/95.



- Con el empleo de la prueba del coeficiente de correlación, los valores de "r" de los métodos de Producto-Momento, Cambio con respecto al anterior, Porcentaje con respecto al anterior y lineal, se ubican dentro de la región de la  $H_0$ , lo que significa que no hay relación significativa entre la precipitación de Cbba. y Arani con la TSM. Los valores de "r" de la relación de precipitación con el IOS, mediante el método Porcentaje con respecto al anterior, están dentro de la región de rechazo de la  $H_0$ , lo que permite concluir que existe relación significativa entre la precipitación y el IOS.
- Consistencia de la media y la varianza. Ningún evento presenta diferencias significativas en sus medias. Existen diferencias significativas de los eventos en el análisis de la varianza con un nivel de 0,05, principalmente en las precipitaciones de Cochabamba, y con menor incidencia en las precipitaciones registradas en Arani.
- Intervalos de Confianza para la media de las precipitaciones. Este método no es el más aconsejado para los registros de Cochabamba; sin embargo para las precipitaciones de Arani es el que se recomienda.
- Índice de Humedad. Este método se adecúa al IOS con las precipitaciones de Cochabamba y para el fenómeno El Niño con las precipitaciones de Arani.
- Comparaciones entre el Coeficiente de Variación-CV, máximas precipitaciones y número de días con precipitación.

En el período Niño-1 el CV es mayor, las máximas precipitaciones mensuales son mayores y el número de días con precipitación es mayor en comparación con el período Niño-0.

Durante el período Niño-0, el CV disminuye, las máximas precipitaciones son menores y el número de días con precipitación disminuye en comparación con los períodos Niño-1 y Niño+1.

En el período Niño+1, en comparación con el período Niño-0, el CV es menor, las máximas precipitaciones se vuelven a presentar y el número de días con precipitación aumenta.

En el período IOS-1 el CV no tiene una tendencia clara; lo mismo sucede con las máximas precipitaciones mensuales, el número de días con precipitación es mayor en comparación con el período IOS-0.

Durante el período IOS-0, el CV y las máximas precipitaciones mensuales no presentan variación, pero el número de días con precipitación puede disminuir.

En el período IOS+1, el CV aumenta, las máximas precipitaciones permanecen constantes y el número de días con precipitación aumenta, en comparación con IOS-0.

### 6. 3. Análisis diario

#### 6. 3. 1. Consistencia de la media y la varianza.

El análisis entre las medias de los períodos Niño-1 con Niño-0 y Niño-0 con Niño+1 no difieren significativamente en ningún evento con excepción del evento 09/82-09/83. La diferencia entre las varianzas de los períodos Niño-1 y Niño-0 es

significativa con el nivel de significancia de 0,05 para las precipitaciones de Cbba, y no es significativa para las precipitaciones de Arani. Entre los períodos de Niño-0 y Niño+1, la diferencia entre las varianzas es significativa para las precipitaciones registradas en Cbba y Arani.

No hay diferencias significativas entre las medias de los períodos IOS-1 e IOS-0; la diferencia entre las medias se presenta en los eventos 04/82-06/83 y 09/91-02/92. En los períodos IOS-0 e IOS+1 existen diferencias significativas entre las varianzas de las precipitaciones de Cochabamba y Arani.

#### *6. 3. 2. Comparación entre el Coeficiente de Variación-CV, máximas precipitaciones y número de días con precipitación.*

Durante el período Niño-1 el CV es menor, las máximas precipitaciones se dan en este período y el número de días con precipitación es mayor en comparación con el período Niño-0. En el período Niño-0 el CV es mayor, las máximas precipitaciones diarias y el Número de días con precipitación disminuyen, en comparación con los períodos Niño-1 y Niño+1. Si comparamos el período Niño+1 con Niño-0 el CV disminuye, las máximas precipitaciones diarias se vuelven a presentar y el número de días con precipitación aumenta. Durante el período IOS-1, en comparación con el período IOS-0, el CV es inferior, las máximas precipitaciones diarias son inferiores y el número de días con precipitación aumenta. En el período IOS-0 el CV aumenta, las máximas precipitaciones diarias aumentan y el número de días con precipitación disminuye. El período IOS+1 se caracteriza porque el CV disminuye, las máximas precipitaciones diarias son inferiores y el número de días con precipitación aumenta en comparación con el período IOS-0.

### 7. CONCLUSIONES

Antes de realizar la interpretación de las series es necesario efectuar su análisis cualitativo y cuantitativo, para tener series homogéneas y consistentes. En este marco se eligieron las series de precipitación de las estaciones de Cochabamba y Arani en el área de estudio, y como apoyo a las estaciones de Corani, Tunari, Santa Cruz, Trinidad, La Paz (El Alto), La Paz (San Calixto), Oruro y Tarija, y las series de TSM e IOS. Y se rechazaron las series de las estaciones de Capinota, Parotani, Pairumani, La Violeta y Tarata porque se detectaron errores sistemáticos y aleatorios.

La Prueba de Helmert, para las estaciones que tienen precipitaciones menores a 800 mm, la considera como inhomogéneas y no así para las estaciones con precipitaciones superiores a 800 mm. Probablemente este hecho se debe a que la metodología se realizó en condiciones climáticas distintas a las de los valles.

El análisis de doble acumuladas, permite detectar inhomogeneidad y variabilidad en las series de precipitación.

Con el análisis de la media y de la varianza, se puede determinar que los quiebres que presentan las series son de la misma serie o que no pertenecen a la misma población, con un nivel de significancia del 5 %. En las series de TSM e IOS no se detectaron errores sistemáticos ni aleatorios, por lo que estas series se puede utilizar, con un 96% de confianza.

La aplicación de las series de tiempo permitió determinar el año hidrológico y las anomalías de las precipitaciones ajustándose a un promedio móvil de 4 años para las estaciones que reciben la influencia remanente de los frentes del sur y de la Zona de Convergencia Inter-Tropical-ZCIT (Cochabamba, Arani, Tunari, La Paz-San Calixto, Oruro y Tarija), y de 5 años para las estaciones de Corani, Santa Cruz, Trinidad y La Paz-El Alto.

Se clasificaron las anomalías de la TSM en su fase positiva y del IOS en su fase negativa, empleando la desviación estándar y del tiempo de duración de cada anomalía. Al relacionar la TSM e IOS se determinó que en el 70 % primero ocurre una alteración en la presión atmosférica de Tahití y Darwin y luego ésta se manifiesta en la TSM. La única oportunidad de coincidencia de ambas anomalías se presentó en el período comprendido entre 01/94 y 05/95.

### **7. 1. La consistencia de la media y la varianza**

En el **análisis anual** ningún evento presentaba diferencias significativas en sus medias; existen diferencias significativas de los eventos en el análisis de la varianza con un nivel de 0,05, principalmente en las precipitaciones de Cochabamba y con menor incidencia en las precipitaciones registradas en Arani. De acuerdo a los Intervalos de Confianza para la media de las precipitaciones, este método no se adecúa a los registros de Cochabamba, sin embargo para las precipitaciones de Arani es el más aconsejado.

Las estaciones que están ubicadas en la parte este (Santa Cruz, Corani y Trinidad) de la cordillera oriental de Bolivia, reciben durante una anomalía más precipitación que su promedio, y las estaciones que se encuentran al oeste (Oruro, La Paz-El Alto, La Paz-San Calixto) y sobre la cordillera (Tunari y Tarija) reciben menos precipitación en comparación con su promedio anual.

Fue necesario realizar el **análisis mensual** de la serie de TSM e IOS, especialmente la desviación estándar y el tiempo de duración de cada evento, para poder conocer y tener el tiempo exacto (meses) de cada evento. Si bien es cierto que Quinn (1993) Macharé y Ortlieb (1993) tienen identificados y clasificados los eventos de El Niño, estos son por años, en ningún estudio presentan las magnitudes de los eventos por meses. Por ejemplo, el evento del 1992 (Quinn, 1993), empezó en 10/91 y duró hasta 09/92, y el déficit de precipitación (Cbba.) en octubre fue de 88 %, noviembre 59 % y diciembre con 80 %. Sabemos que el papel de las precipitaciones es complejo, y por ese mismo hecho merece una evaluación mensual y diaria.

### **7. 2. Relación del fenómeno El Niño-TSM y del Índice de Oscilación del Sur-IOS con las precipitaciones de Cochabamba y Arani**

Según el análisis de correlación no existe correlación directa de las anomalías con las precipitaciones registradas en Cochabamba y Arani con la información mensual. De acuerdo a la consistencia de la media, ningún evento presenta diferencias significativas en sus medias. Existen diferencias significativas de los eventos en el análisis de la varianza con un nivel de 0,05, principalmente en las precipitaciones de Cbba y con menor incidencia en las precipitaciones registradas en Arani. La aplicación del método

de los Intervalos de Confianza para determinar la media de las precipitaciones no se adecúa a los registros de Cbba., pero sí resulta aconsejable para los registros de precipitaciones de Arani. Según el Índice de Humedad, este método se adecua al IOS con las precipitaciones de Cbba y para el fenómeno El Niño con las precipitaciones de Arani. De acuerdo a las comparaciones entre el Coeficiente de Variación-CV, máximas precipitaciones y número de días con precipitación, antes de un evento el CV es mayor, las máximas precipitaciones mensuales son mayores y el número de días con precipitación es mayor. Durante un evento, el CV disminuye, las máximas precipitaciones son menores y el número de días con precipitación disminuye. Después de un evento, el CV es menor, las máximas precipitaciones se presentan y el número de días con precipitación aumenta.

En el **análisis diario** la consistencia de la media no es significativa para determinar anomalías, pero la diferencia entre las varianzas es significativa con el nivel de significancia del 0,05 para las precipitaciones de Cochabamba y Arani, para ambas anomalías.

### **7. 3. Comparación entre el Coeficiente de Variación-CV, máximas precipitaciones y número de días con precipitación**

El CV es menor antes y después de una anomalía, las máximas precipitaciones y los días con más precipitación se dan antes y después de una anomalía.

El CV es inferior, las máximas precipitaciones y el número de días con precipitación disminuye durante la anomalía.

La influencia del fenómeno El Niño se da más en las precipitaciones registradas en Cochabamba y con menor incidencia en las precipitaciones registradas en Arani. La influencia del IOS se da más en las precipitaciones de Arani y con menor proporción en las precipitaciones en Cochabamba. Probablemente este hecho se da por la ubicación de la estación meteorológica de Arani; esta zona está influenciada por la apertura en la cordillera de “pasos de cordillera”, que permiten el ingreso de las masas de humedad provenientes del sur. En cambio Cochabamba recibe los remanentes de la ZCIT y del sur, sumándose a este hecho el alto grado de partículas de polvo, ocasionando un mesoclima influenciado por los contaminantes que, en ocasiones, parecería que forman una capa de cristal a la manera de un invernadero.

La diferencia que existe entre el análisis mensual y diario radica, fundamentalmente, en que al procesar los datos mensuales de las precipitaciones, se anulan las fluctuaciones que existen en el transcurso del mes, lo que implica que las variaciones que existen en estos análisis se dan principalmente en el coeficiente de variación y en la varianza, por lo que el análisis de la varianza con una significancia del 5 % es el método más apropiado para relacionar anomalías con información mensual y diaria.

Se puede concluir, entonces, que la influencia del fenómeno El Niño y del Índice de Oscilación del Sur se da en la distribución espacio-temporal de las precipitaciones registradas en los valles de Cochabamba. Lo que implica que la anomalía afecta directamente la agricultura que no dispone de agua de riego y de forma indirecta se incrementan los problemas socioeconómicos en el departamento de Cochabamba.

### Agradecimientos

Al Dr. Werner Hanagarth, por sus comentarios y sugerencias, valioso aporte por cierto, y al Instituto de Ecología, por brindar todo su respaldo y apoyo a la investigación, gracias.

### Referencias citadas

- ACEITUNO, P., 1993 - El Niño, l'Oscillation Australe, et ENSO : des mots qui prêtent à confusion pour une interaction complexe entre l'océan et l'atmosphère. *La météorologie*, **8**(3): 44-46.
- KAHYA , E. & DRACUP, J., 1993 - U.S. Streamflow Patterns in Relation to the El Niño/ Southern Oscillation. *Water Resources Research*, **29**(8): 2491-2503.
- MACHARÉ, J. & ORTLIEB, L., 1993 - Registro del fenómeno El Niño en el Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **22**(1): 35-52.
- PINTO, M., 1985 - Efectos biológicos de El Niño. *Boletín del grupo de estudio del Medio Ambiente*, **2**( 2) 10-13; Arica, Chile: Universidad de Tarapacá.
- QUISPE, J., 1993 - Variación de la temperatura Superficial del mar en Puerto Chicama y el Índice de Oscilación del Sur: 1925-1922 *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **22**(1): 111-124.
- TAPLEY, T. & WAYLEN, ., 1990 - Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Perú. *Hydrological Sciences*, **35**: 4-8.
- WRIGHT, P., 1989 - Homogenized Long-Period Southern Oscillation Indices. *International Journal of Climatology*, **9**: 33-54.