



Condiciones de sequía y precipitaciones en América del Sur durante el período 2004 al 2006.

Introducción. En *La sequía y sus causas y efectos*, [Tannehill \(1947\)](#) escribió: "No tenemos una buena definición de lo que es la sequía. Podemos verazmente decir que escasamente conocemos una sequía cuando la vemos. Le damos la bienvenida al primer día con sol después de una racha lluviosa. Los días sin lluvia continúan durante un tiempo y nos sentimos encantados de tener tan buen tiempo durante un período prolongado. Esto se mantiene y ya nos preocupamos un poco. Unos pocos días más y estamos en problemas. El primer día sin lluvia en un período de buen tiempo contribuye tanto como el último día con la sequía, pero nadie sabe cuán grave será hasta que el último día seco haya pasado y las lluvias vuelvan de nuevo... no estamos seguros al respecto hasta que las cosechas se hayan secado y muerto".

La dificultad para reconocer el comienzo o final de una sequía radica en la falta de una definición clara de la misma. La sequía puede ser definida por las cantidades de lluvia, las condiciones de la vegetación, la productividad agrícola, la humedad del suelo, los niveles en reservorios y los caudales o impactos económicos. En los términos más básicos una sequía implica un déficit significativo en la disponibilidad de humedad debido a lluvias menores que lo normal. Sin embargo, aún esta simple definición se ve complicada cuando se intenta comparar las sequías en regiones distintas.

La sequía es una situación anómala del clima en la cual la disponibilidad de agua es insuficiente para satisfacer las distintas necesidades de las poblaciones de seres humanos, plantas y animales. En muchas regiones esta característica es bastante normal y en otras es un fenómeno recurrente.

La sequía es una situación temporal a diferencia de la aridez que es la escasez de lluvias como característica permanente del clima de una región. Una precipitación que para una zona puede considerarse aceptable y no de sequía, para otra región esa misma precipitación puede ser insuficiente y provocar una situación de sequía.

Para cada lugar debe darse una definición de sequía basada en su historia climatológica. Existen otros factores climáticos que agravan la severidad de una sequía y que son asociados con ella, como son altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa.

La sequía es considerada como un desastre natural, originado por la deficiencia en el régimen de la precipitación en un periodo extendido de tiempo. Dicha deficiencia ocasiona una escasez de agua para el desarrollo de actividades de grupos o sectores de la población.

Basados en diversas disciplinas científicas o en las actividades económicas que la sequía afecta, como la agricultura, ganadería, industria, recreación, turismo, etc, se han establecido varias definiciones, desde diversos puntos de vista.

Sequía Meteorológica. Se define generalmente según el grado de sequedad, en comparación con algún promedio y la duración del periodo seco, considerando las distintas regiones y sus precipitaciones. Es decir que ocurre durante uno o varios meses cuando hay una ausencia prolongada, una deficiencia



marcada o una pobre distribución de la precipitación pluvial que afecta adversamente a las actividades humanas.

Las definiciones de la sequía meteorológica se deben considerar como específicas de una región considerando las condiciones atmosféricas y climáticas propias de cada región

Sequía Agrícola. Ésta se presenta cuando no hay suficiente humedad en el suelo para satisfacer las necesidades mínimas de las plantas, en sus distintas épocas de germinación y crecimiento. La sequía agrícola sucede después de la sequía meteorológica y antes de la sequía hidrológica y suele ser el primer factor que afecta la agricultura.

La sequía agrícola liga varias características de la sequía meteorológica (o hidrológica) a los impactos agrícolas, centrándose en la escasez de la precipitación, diferencias entre la evapotranspiración real y potencial, el déficit del agua del suelo, el agua subterránea reducida o los niveles del depósito, y así sucesivamente. La demanda del agua de la planta depende de condiciones atmosféricas que prevalecen, de características biológicas de la planta específica, de su etapa del crecimiento y de las características físicas y biológicas del suelo. Una buena definición de la sequía agrícola debe poder explicar la susceptibilidad variable de cosechas durante diversas etapas del desarrollo de la cosecha, de la aparición a la madurez.

Sin embargo, si la humedad de la tierra vegetal es suficiente para los requisitos tempranos del crecimiento, las deficiencias en humedad del subsuelo en este primer tiempo, pueden no afectar la producción final si se llena la humedad del subsuelo mientras que progresa la estación de crecimiento o si la precipitación satisface el agua que la planta necesita.

Sequía Hidrológica. Esta se refiere a las insuficiencias en el agua superficial y subterránea. Esta sequía, no es apreciada de inmediato sino cuando las precipitaciones se reducen durante un largo tiempo y los niveles de los ríos, embalses y lagos disminuyen. Esta sequía suele ocurrir tras la sequía meteorológica y agrícola. Como en toda sequía, el clima es el primer factor que contribuye a esta sequía hidrológica. Los cambios en los usos de la tierra pueden alterar las características hidrológicas y por tanto incidir en la sequía hidrológica.

La sequía hidrológica se asocia a los efectos de períodos de déficit de la precipitación en el abastecimiento de agua superficial o subsuperficie del suelo. Las sequías hidrológicas son generalmente fuera de fase, se retrasan a la ocurrencia de sequías meteorológicas y agrícolas. Toma en cuenta además de las deficiencias de la precipitación, los componentes del sistema hidrológico tales como humedad del suelo y niveles del agua subterránea y del depósito.

Consecuentemente, estos impactos son fuera de fase con impactos en otros sectores económicos. Por ejemplo, una deficiencia de la precipitación puede dar lugar a un agotamiento rápido de la humedad del suelo que es casi inmediatamente perceptible a los agricultores, pero el impacto de esta deficiencia en niveles del depósito puede no afectar la producción de energía hidroeléctrica o las aplicaciones recreativas por muchos meses.

La diferencia de estos tres tipos de sequía se pone de manifiesto a través de los impactos que ocasionan. Cuando la sequía comienza, el sector agrícola es generalmente el primer afectado al estar ligado a la humedad del suelo; si la escasez de precipitaciones continúan, acabarán siendo afectados los consumidores que dependen del agua superficial o subterránea.



En la sequía no hay que olvidar, que ésta es provocada tanto por la propia escasez del recurso agua como por la diferente demanda que de ella se haga, es decir, habrá sequía cuando no se pueda satisfacer la demanda de agua con los recursos disponibles.

En el diseño y gestión de un sistema de abastecimiento de agua, hay que considerar y tener en cuenta la probabilidad y frecuencia de que ocurran periodos de sequía, valorando el riesgo que estos hechos pueden ocasionar.

Generalmente la población entiende el concepto de la sequía, como un período prolongado con déficit de precipitación dando como resultado el daño extenso a las cosechas y la pérdida de producción.

Para determinar el inicio de la sequía, es necesario especificar el porcentaje con que los acumulados de lluvias se desvían del promedio de precipitación o de una cierta otra variable climática sobre un cierto período. Esto se realiza comparando la situación actual con el promedio histórico, basado a menudo en un período de 30 años del expediente de precipitación. El umbral identificado como el inicio de una sequía se establece generalmente algo arbitrariamente, más bien que en base de su relación exacta a los impactos específicos.

1.1 Métodos para cuantificar la sequía.

Para cuantificar la sequía se ha desarrollado una cantidad de diferentes índices de sequía, cada uno con sus aciertos y desaciertos. Dos de los más comúnmente usados son el **Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)** y el **Índice Estándar de Precipitación (SPI)**.

- Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI)

El Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) ha sido el índice de sequía más comúnmente usado internacionalmente. Fue desarrollado para medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Los valores del PDSI se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas. Los valores varían desde -6.0 (sequía extrema) a +6.0 (condiciones extremas de humedad), y han sido estandarizadas para facilitar comparaciones de región en región. Este índice de sequía ha sido usado para evaluar el impacto de la sequía en la agricultura. Debido a la escala de tiempo considerada en este índice, el mismo no es adecuado para la determinación de sequías hidrológicas más extensas tales como aquellas que impactan el volumen de los caudales, reservorios y acuíferos. El PDSI trata toda la precipitación como si fuera lluvia, de modo tal que este índice no es útil en altas latitudes, particularmente en el invierno, cuando la mayoría de la precipitación ocurre como nieve.

- Índice Estándar de Precipitación (SPI)

El Índice Estándar de Precipitación (SPI) fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para el monitoreo de la misma (McKee et al., 1993). El SPI es una medición de la sequía más simple que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) y se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado. Una característica clave del SPI es la flexibilidad de medición de la sequía en distintas escalas temporales. Debido a que las sequías tienen una gran variación en la duración, es importante detectarlas y monitorearlas en una variedad de escalas temporales. Las sequías de corto término son medidas por instrumentos meteorológicos y son definidas de acuerdo a la climatología regional específica. Las sequías de importancia para la agricultura resultan en déficit de la humedad del suelo y las sequías de tres a seis meses pueden



causar un gran impacto. Las sequías más prolongadas (de meses a años) pueden tener impactos significativos sobre las reservas de agua superficial y subterránea.

Los valores de SPI se derivan comparando la precipitación acumulada total para una estación o región en particular durante un intervalo de tiempo específico (por ejemplo: el último mes, los últimos 3 meses, los últimos 6 meses) con el promedio de la precipitación acumulada para ese mismo intervalo todo lo largo de lo que dure el registro climático.

Por ejemplo, la precipitación total del mes de mayo en cualquier año dado para una región climática dada, es comparada con el promedio total de precipitación para esa región de todos los meses de mayo del registro 1895 - 1998. La severidad de una sequía puede ser comparada con la condición promedio para una estación o región en particular. Los valores varían desde 2 o más (extremadamente húmedo) a -2.00 o menos (extremadamente seco) con las condiciones casi normales en un rango de 0.99 a -0.99.

Los valores de clasificación para los valores SPI son:

Valores SPI:	Categoría de la sequía:
2.00 o más	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-2.00 o menos	Extremadamente seco

Se define una sequía cuando el SPI es continuamente negativo y alcanza un valor de -1.0 o inferior, y continúa hasta que el SPI se torna positivo. La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del período. La magnitud de la sequía se mide sumando los valores del SPI durante los meses de la sequía.

1.2 Sequías recurrentes en América del Sur en los últimos años.

En años recientes se han presentado recurrentemente en América del Sur largos períodos de sequía, relacionados generalmente por las frecuentes apariciones de el evento ENOS en sus fases cálidas (El Niño/Oscilación del Sur) o frías (La Niña/Oscilación del Sur).

1999. Condiciones climáticas muy secas se presentaron en Paraguay y Uruguay, las que se extendieron hasta fines del año. Por el contrario se presentaron severas inundaciones en diciembre en las costas de Venezuela, lo cual provocó la muerte de miles de personas. Mientras que las costas de Brasil presentaron mezclas de zonas secas y húmedas, fig.1.



Annual Precipitation Anomalies 1999

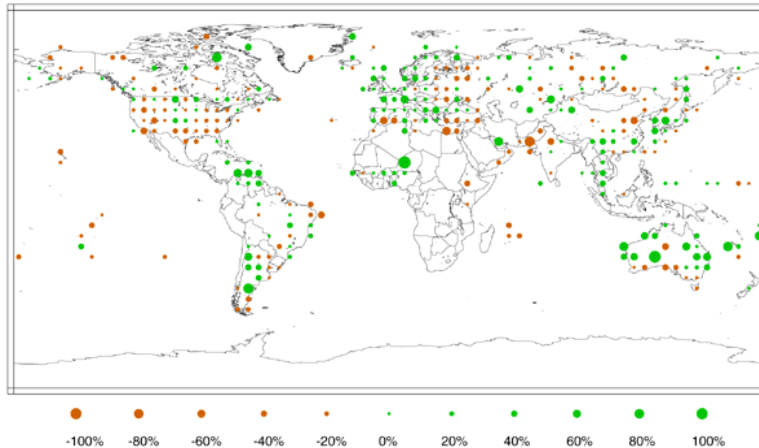


Fig. 1. Los puntos color café representan zonas con déficit de precipitación y los verdes zonas muy húmedas (cortesía NOAA).

2001. Como en los años 1999 y 2000 los patrones de precipitación en muchas áreas del planeta continuaron influenciados por la presencia de La Niña, sobre todo en los primeros meses del año. Pero hacia el mes de junio fue disminuyendo con el fin de la fase fría del ENOS (El Niño/Oscilación del Sur).

En particular el clima en América del Sur se caracterizó por una gran variabilidad, la mayor parte de Brasil sufrió de una severa sequía desde diciembre del 2000 hasta mayo del 2001. El verano tan seco se debió a una disminución notable de la actividad convectiva a la Zona de Convergencia de Suramérica (ZCS), siendo esta la temporada de lluvias para el sureste y centro de Brasil, por lo que este déficit de lluvias causó una situación crítica en la producción de energía eléctrica en esta región, ya que depende fundamentalmente de las hidroeléctricas. El tiempo seco continuó durante todo el otoño presentando grandes déficit de precipitación en zonas del oeste y noroeste de Brasil que llegaron hasta valores de 400 milímetros por debajo de lo normal.

2002. Este año fue el segundo consecutivo de severa sequía en partes de América del Sur. En octubre el gobierno de Paraguay emergencia nacional ya que unos 5000 habitantes fueron afectados por la falta de alimentos. Por otra parte, algunas lluvias en enero y febrero aliviaron algo la sequía persistente en el occidente de Brasil, pero el tiempo seco volvió a dominar grandes sectores de Brasil durante el mes de marzo, fig.2.

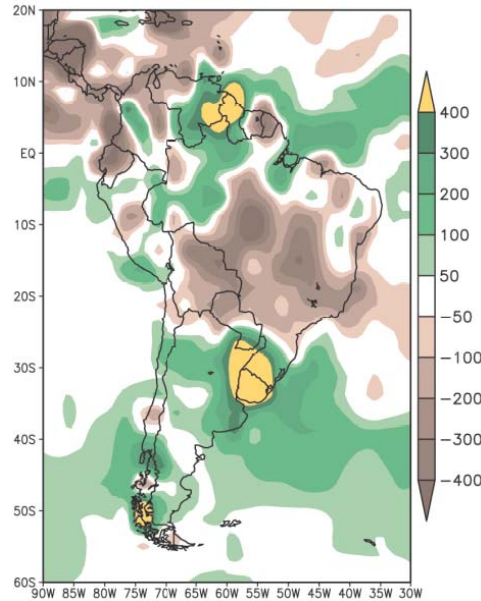


Fig. 2. Anomalías de precipitación para el año 2002 según CAMS combinado con información satelital y pluviómetros. La anomalía se obtiene de una base de datos desde 1979 hasta 1995.

2003. En Suramérica el año se caracterizó por grandes extremos de clima húmedo y seco. Condiciones secas muy por debajo de lo normal prevalecieron en la mitad nordeste del continente con excepción del extremo nordeste de Brasil, el sur de Chile y el oeste de Argentina. Las condiciones secas más extremas se localizaron del sureste al noroeste de Brasil y en el sureste de Colombia. Estas regiones sufrieron un déficit de casi el 59% del promedio anual, o sea, unos 300 a 700 milímetros, fig.3.

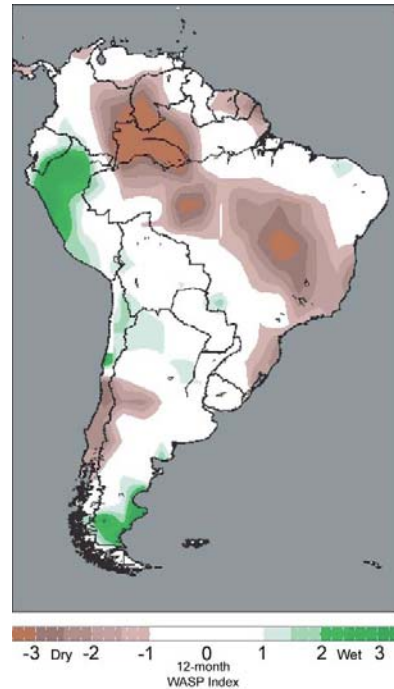


Fig.3 Media estandarizada de anomalías mensuales de precipitación en el año 2003. Las anomalías se determinaron de una base de datos desde 1961 a 1990. Datos tomados de CAMS-OPI (cortesía de NOAA/CPC).

2004. En este año la lluvia tuvo una altísima variabilidad con valores por encima del promedio histórico en la mayor parte del continente. Las mayores anomalías positivas fueron medidas a lo largo de la Cordillera de los Andes, sobre todo en el noreste de Bolivia, algunas partes de Chile y en el noreste de Brasil. El año comenzó con lluvias torrenciales en el noreste de Brasil lo que trajo como consecuencia graves inundaciones en los meses de enero y febrero, seguido de déficit de precipitaciones desde abril hasta junio. En Colombia intensas lluvias comenzaron en octubre y siguieron durante todo noviembre generando inundaciones y deslizamientos de tierra en 24 de 33 departamentos del país. En el sur del continente continuó la intensa sequía que comenzó en el 2003 y se extendió hasta los primeros meses de 2004, sin embargo para fines del año un excedente de precipitación se observó en la mayor parte de las zonas afectadas por la sequía, aunque no logró superar el déficit ya existente en la mayoría de las regiones agrícolas de Argentina y Uruguay, fig.4.

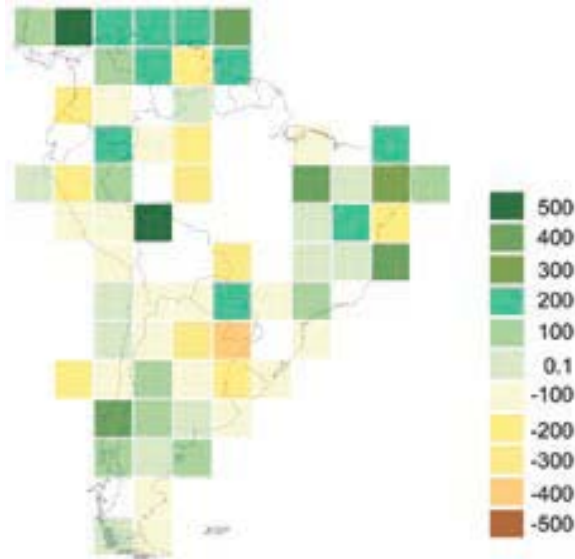


FIG. 4 Anomalías de precipitación anual en milímetros para el año 2003 calculado con los valores medios de una base de datos del período 1961-90. (fuente: GHCN global gridded products).

2005. El foco de alarma de la falta de lluvias fueron la región del Chaco y el sur de Paraguay donde prevalecía la intensa sequía que duró hasta la primavera del 2005. El río Uruguay redujo significativamente sus niveles de agua lo cual impactó severamente en la producción de energía de las hidroeléctricas. Las fuertes anomalías de precipitación registradas en la parte sur del continente entre octubre y diciembre afectaron la agricultura en las regiones más productivas. En el sur de Brasil desde diciembre de 2004 hasta marzo de 2005 se registraron entre 100 a 500 mm por debajo de lo normal lo cual produjo una intensa sequía que dejó fuertes pérdidas en la agricultura. El sureño estado de Rio Grande do Sul fue el más afectado, pero las lluvias que se presentaron en mayo aliviaron en algo la sequía produciendo a su vez inundaciones en algunas ciudades del estado. Los daños que produjo la sequía del 2005 en el sur de Brasil fue considerable: 2 millones de personas fueron afectadas por la escasez de agua, se perdieron 13 millones de toneladas de productos agrícolas y se calculan en el orden de \$3 billones de dólares las pérdidas económicas, fig.5.

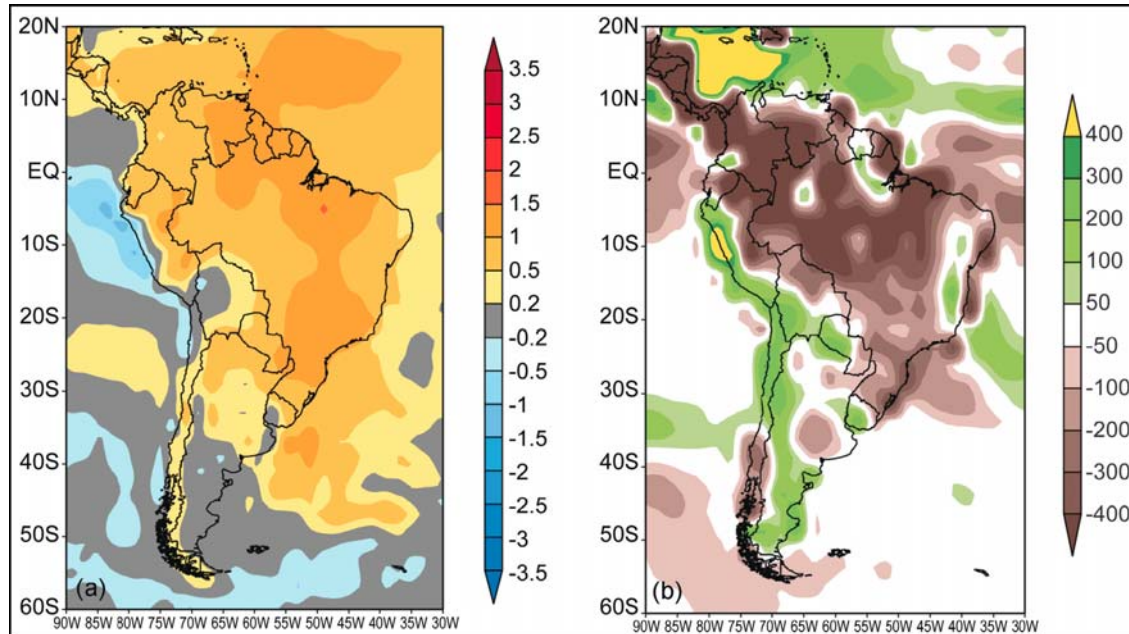


FIG. 5. Anomalías de temperatura en América del Sur (izquierda) y precipitación (derecha) durante el 2005 (fuente: de CAMS-OPI).

Como se observa en la figura 5 las anomalías negativas o déficit de precipitación cubren una extensa área que abarca casi toda Centroamérica y América del Sur lo cual no deja dudas sobre la influencia en las mismas de fenómenos de gran escala de la circulación general de la atmósfera y donde no hay influencia alguna de cuestiones locales. Cabe señalar la fuerte anomalía negativa de la temperatura del mar observada casi todo el año frente a las costas de Perú y Ecuador, fig.5 (izquierda), que corresponde al desarrollo de una fase fría del ENOS, o sea, de La Niña y como es conocido tanto El Niño (fase cálida) como La Niña (fase fría) son fenómenos perturbadores del balance de energía de la atmósfera que se refleja fundamentalmente en producir grandes variaciones en las precipitaciones a nivel mundial.

1.3 Comportamiento de la precipitación en Brasil desde 2004 hasta 2006.

El período que se analiza ha presentado mucha variabilidad en el comportamiento de las precipitaciones sobre el territorio de Brasil y en esto han intervenido diversos factores ligados a la circulación general de la atmósfera, sobre todo el comportamiento de las fases frías y cálidas del evento ENOS, mencionado arriba.

Particularmente en el sur de Brasil fue donde más marcado se observó la variabilidad en las precipitaciones, por lo cual se realizó un minucioso análisis mes por mes de los períodos de temporal de lluvias desde el año 2004 hasta el 2006 aplicando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

El SPI fue calculado en base a la metodología propuesta por McKee, 1993, y utilizando un código FORTRAN desarrollado por Guttman, 1999. Fue planteado y visualizado en el **GLOBAL SPI ANALYSES** de The International Research Institute for Climate and Society (IRI).

Temporal 2004-2005 (Septiembre 2004-Abril 2005).



El temporal comenzó con condiciones normales de precipitación para los meses de septiembre, octubre del 2004 y noviembre del 2004, como se observa en las figuras que representan el cálculo del SPI. Sin embargo, en diciembre se presentan condiciones secas moderadas a severas en gran parte de la región. Luego en enero hay un retorno a las condiciones normales y de nuevo en febrero se regresa a un escenario seco, el cual se estabiliza hacia fines del temporal, o sea, en marzo y abril, figuras 6 a la 13.

Temporal 2005-2006 (Septiembre 2005-Abril 2006).

Un temporal que comienza muy húmedo en los meses de septiembre y octubre lo que permite clasificarlo como de moderado a severamente húmedo de acuerdo con la escala del SPI. A partir de diciembre las condiciones se tornan entre normales a moderadamente secas hasta fines del temporal en el mes de abril, figuras 14 a la 21.

El análisis anterior permite confirmar la variabilidad extrema de las condiciones atmosféricas en la región de estudio y su estrecho vínculo con la variabilidad climática existente en la circulación general de la atmósfera a nivel del planeta. Es oportuno señalar las señales evidentes que prevalecieron desde fines del 2005 del inicio de un evento ENOS frío (La Niña) frente a las costas de Perú y Ecuador y El Niño débil que se presentó desde junio del 2004 hasta marzo del 2005.

Las anómalas características de los temporales de lluvia en la región estudiada llamaron la atención de algunos sectores de la población y comenzaron a surgir rumores de que la lluvia disminuía por la puesta en operación en algunas zonas agrícolas de un sistema de lucha antigranizo basado en un sistema de ondas de choque ionizantes producido por una especie de cañón que es un aparato difusor de seis metros de altura. Este sistema produce una onda sónica que es lanzada a la atmósfera y que puede crear ondas de choque que interfieren en la cristalización del hielo dando como resultado una lluvia fina en lugar de granizo.

Basado en lo anterior se hizo un detallado análisis del comportamiento de la lluvia en un área agrícola donde están instalados algunos de estos cañones, como son Ciudad Vacaria (28.50°S y 50.96°W), Ciudad Bom_Jesús (28.67°S y 50.42°W) y no se observó déficit de precipitaciones en los últimos años en alguno de ellos, todo lo contrario, como se observa en los promedios de lluvias de los últimos años, todos los registros se encuentran muy por encima de la media histórica, figuras 22 y 23. También es evidente en estas gráficas como a lo largo de más de 100 años hay períodos húmedos, secos y normales, de una forma recurrente.

Conclusiones.

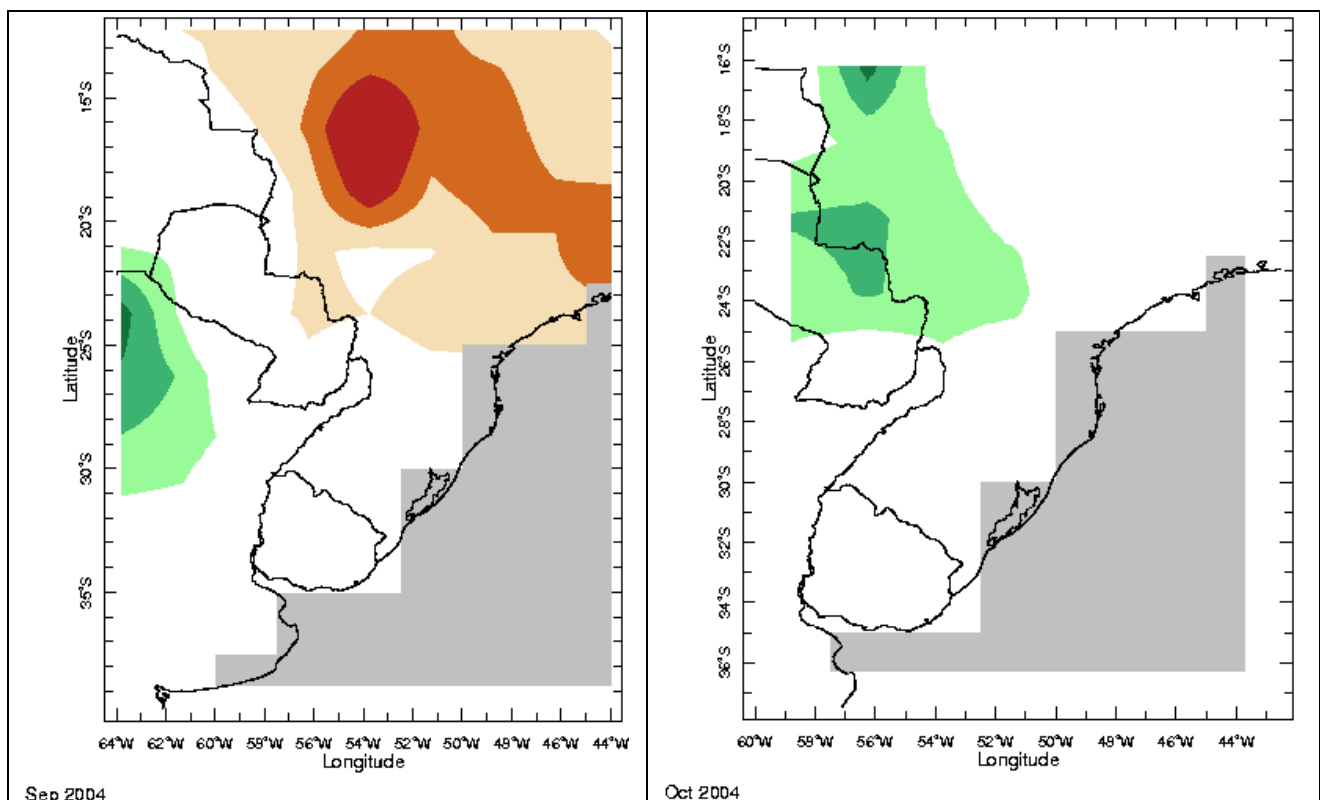
- 1. Los períodos secos y húmedos se presentan de una manera recurrente vinculados estrechamente a la variabilidad climática y a los fenómenos de gran escala como la Niña o el Niño.**
- 2. La zona sur de Brasil ha presentado en los últimos años una variabilidad climática extrema con largos períodos de sequía y otros de precipitaciones abundantes.**
- 3. No tiene fundamento científico alguno afirmar que un sistema de cañones antigranizo basado en ondas de choque, pueda modificar el clima de una región.**
- 4. En las zonas del sur de Brasil donde se han situado cañones antigranizo no se registran déficits de precipitaciones significativos.**

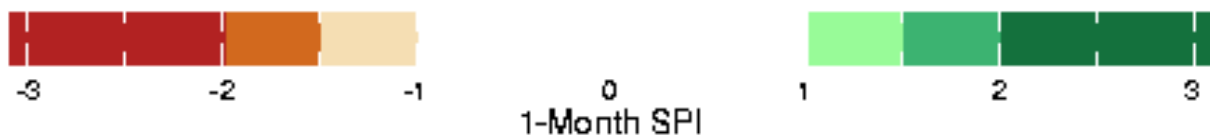
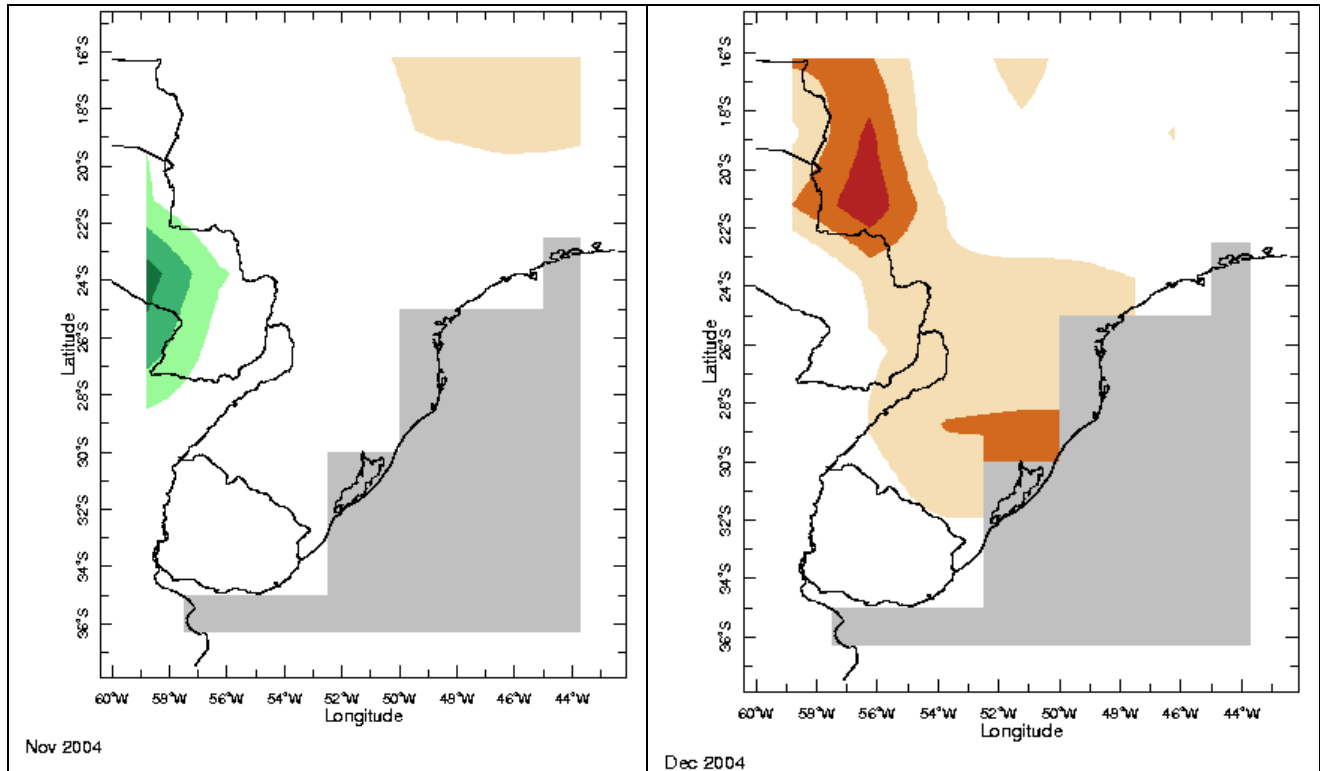
Bibliografía



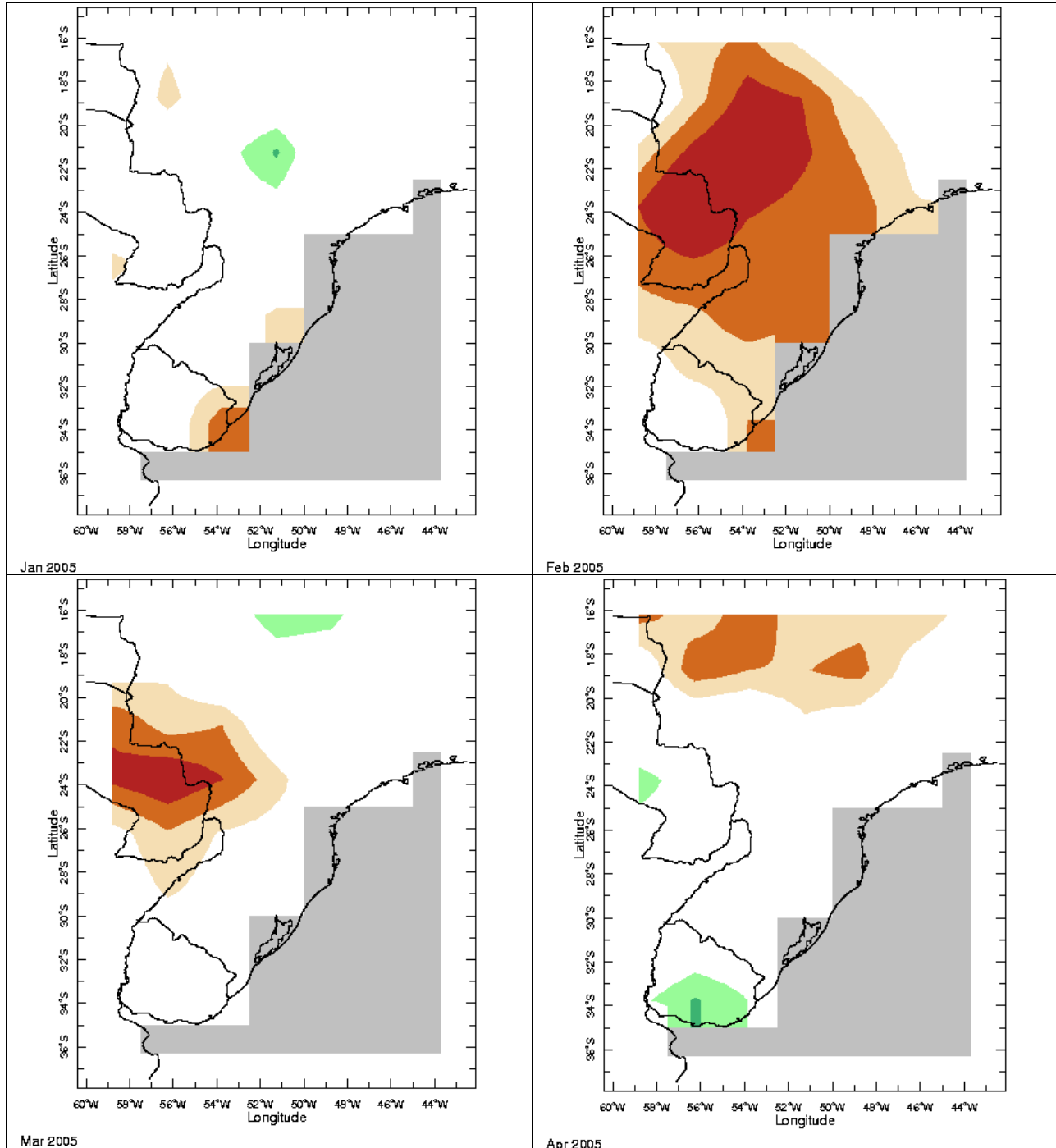
Guttman, N.B., 1999; Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. J. Amer. Water Resour. Assoc. 35(2), 311-322.

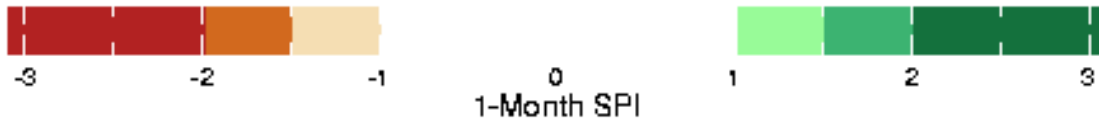
McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kliest, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA., American Meteorological Society, Boston MA. 179-184.



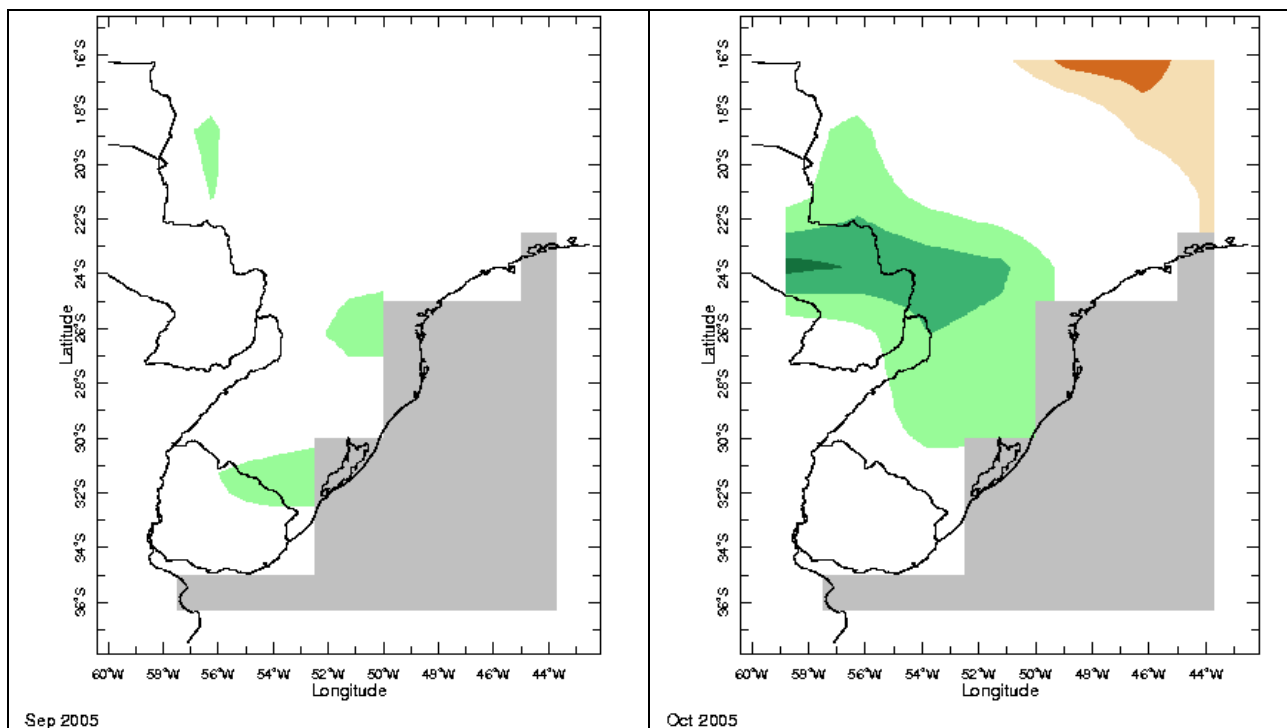


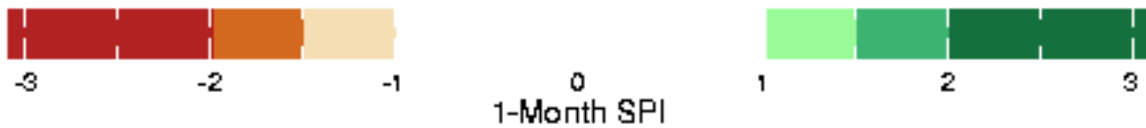
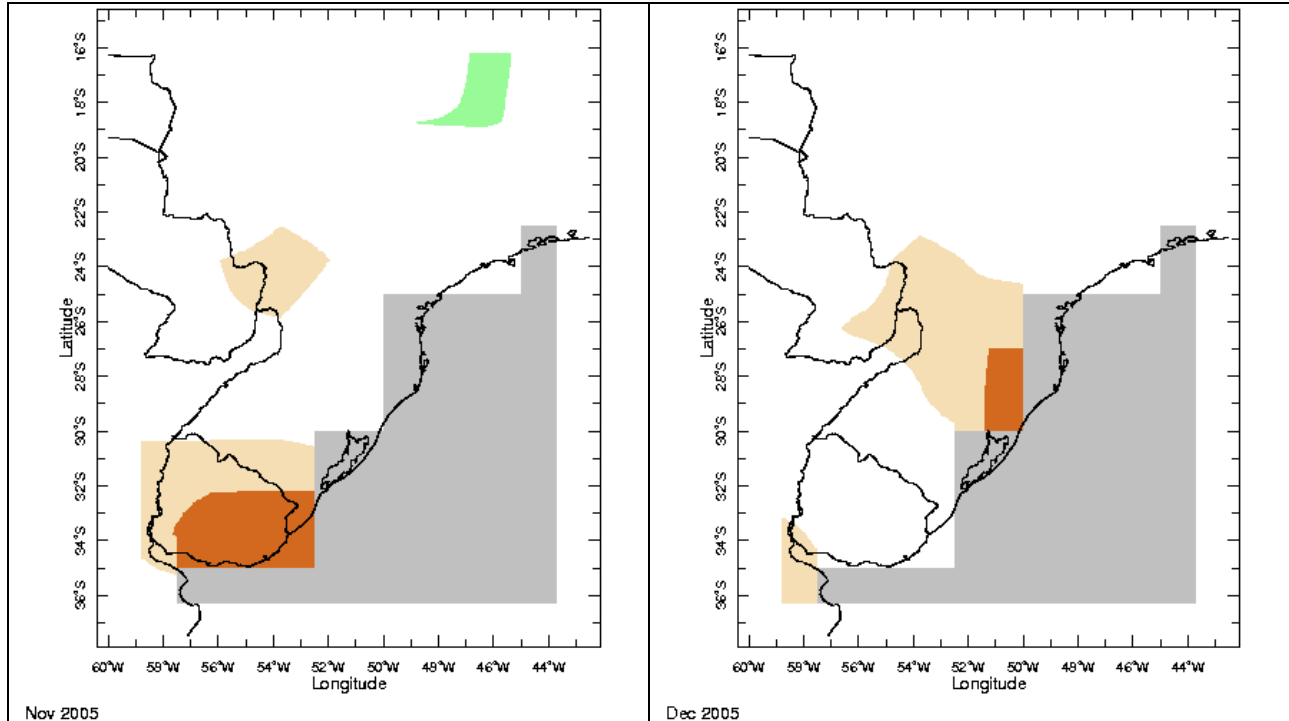
Figuras 6, 7, 8, 9 Índice SPI los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2004 para la región sur de Brasil



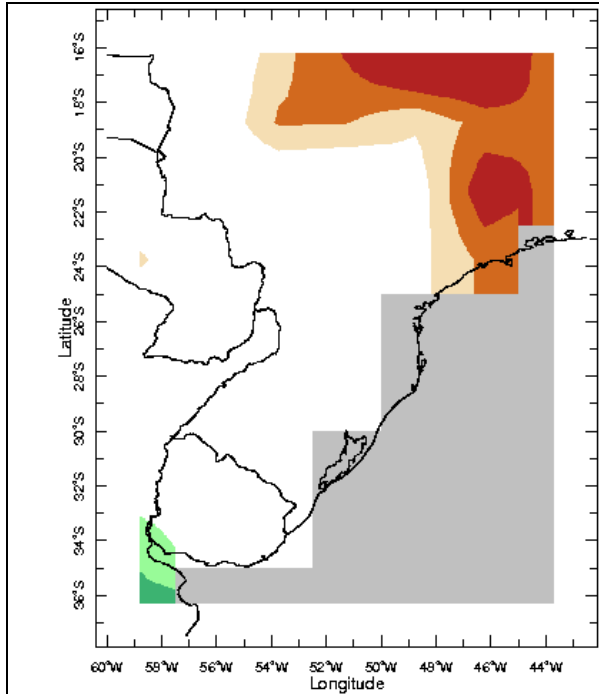


Figuras 10, 11, 12, 13 Índice SPI los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2005 para la región sur de Brasil

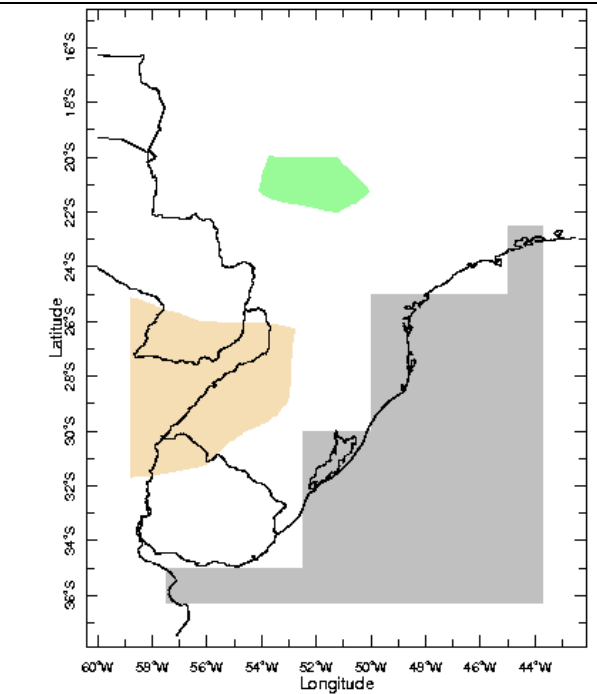




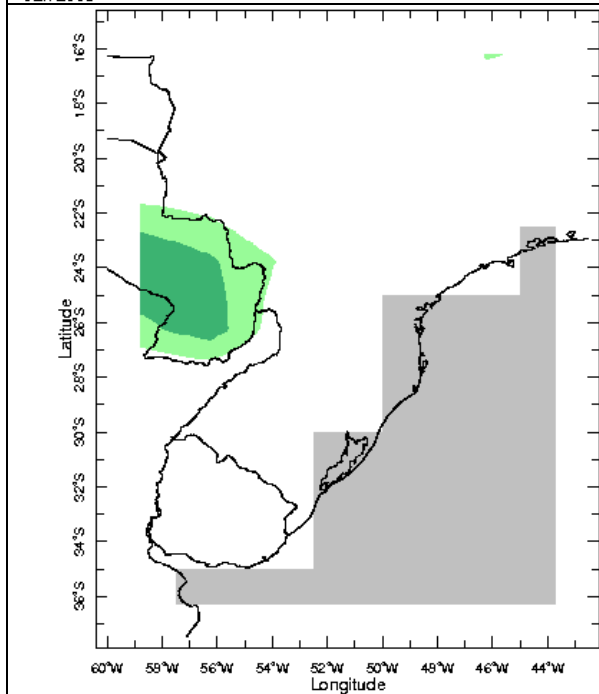
Figuras 14, 15, 16, 17 Índice SPI los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2005 para la región sur de Brasil



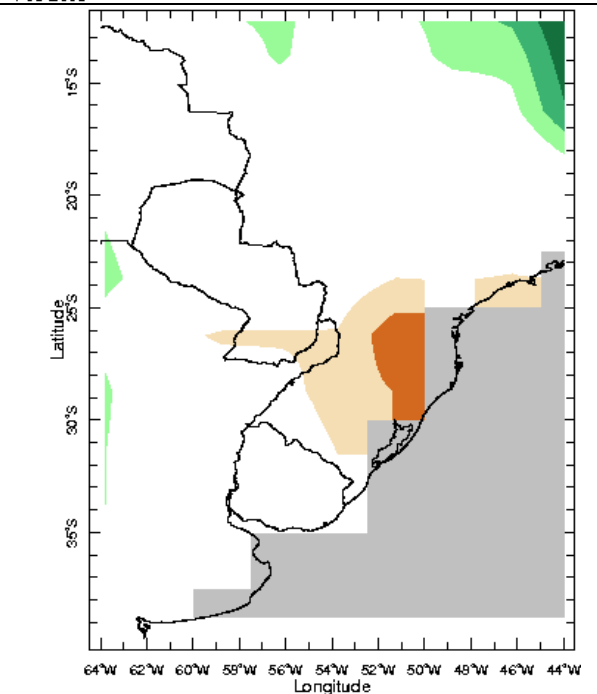
Jan 2006



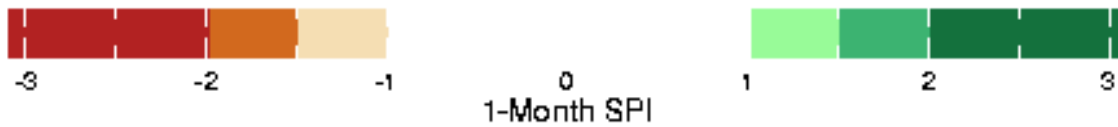
Feb 2006



Mar 2006



Apr 2006



Figuras 18, 19, 20, 21 Índice SPI los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2006 para la región sur de Brasil

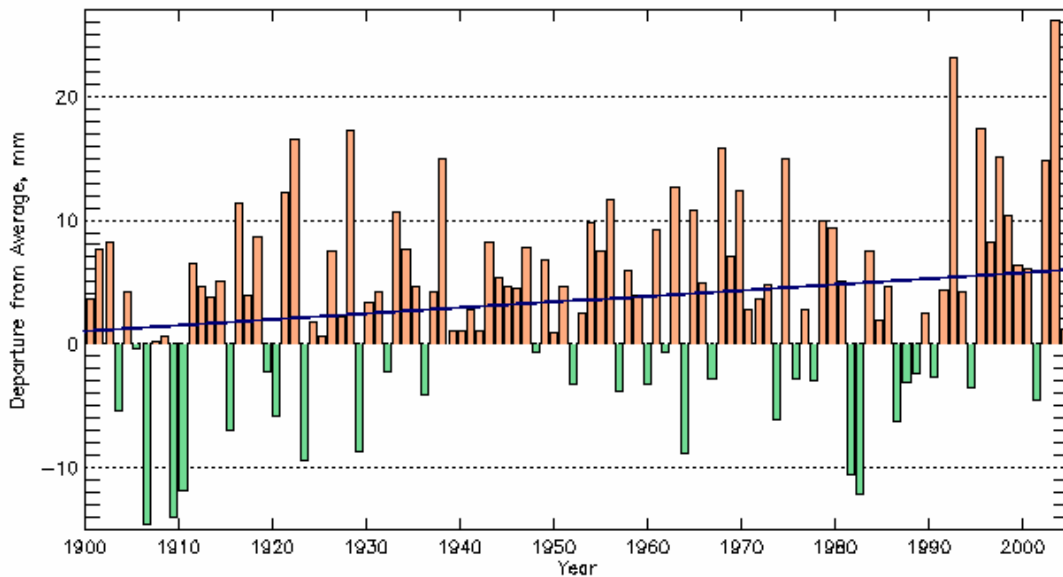


Fig.22. Anomalías de precipitación en Ciudad Vacaria para el mes de noviembre, desde 1900 hasta 2005 (cortesía NCDC/NOAA)

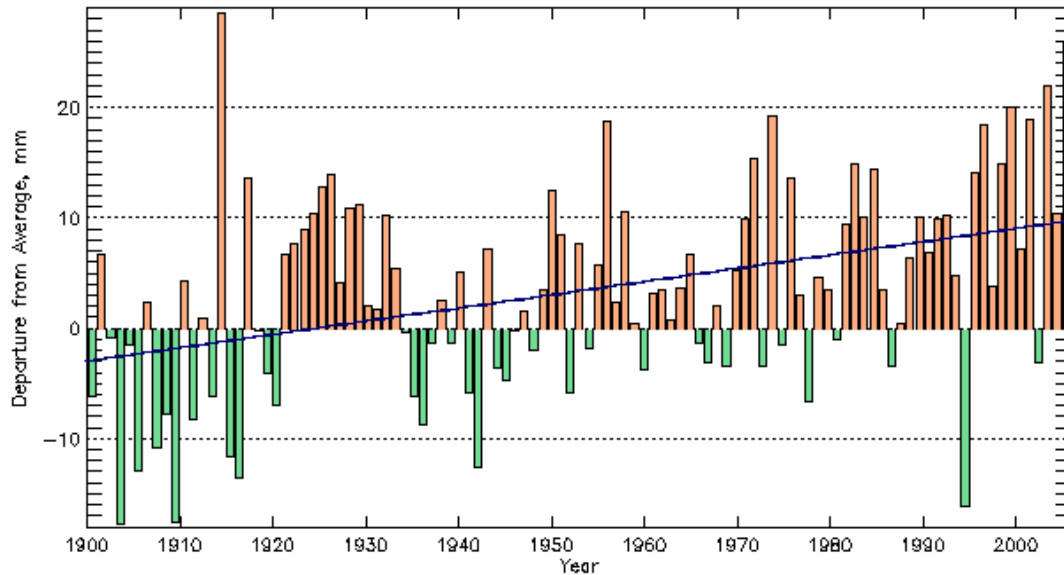


Fig.23. Anomalías de precipitación en Ciudad Bom_Jesús para el mes de enero desde 1900 hasta 2005 (cortesía NCDC/NOAA).

Informe preparado por:

Dr. Angel R. Meulenert Peña
Director del Instituto de Astronomía y Meteorología
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México
Doctorado en Climatología y Física de la Atmósfera
En el Centro Hidrometeorológico de la ex URSS
Meteorólogo Nivel I de la OMM (Organización
Meteorológica Mundial).
Guadalajara, Jal. México, Julio 2006.