

Nombre del Proyecto

“Análisis Estadístico de la Variabilidad Climática y sus Impactos en Paraguay”

Investigador Principal

**Ing. Lucas Federico Chamorro Vega
Profesor Adjunto de Probabilidad y Estadística
FIUNA**

Universidad Nacional de Asunción

Periodo que cubre el informe:

Desde: 15/04/10

Hasta: 03/12/10

1- RESUMEN

“Análisis Estadístico de la Variabilidad Climática y sus Impactos en Paraguay”

La variabilidad climática sin duda afecta cíclicamente a las actividades humanas en todo el mundo, y nuestra región y en especial nuestro país no permanece aislado de dicha situación, del clima y su variabilidad, objeto de estudio de esta investigación, que de algún modo afecta tanto los centros o núcleos urbanos y medios rurales, comprometiendo la agricultura y la producción de alimento para consumo local y exportación, transporte fluvial, terrestre y aéreo, obras de infraestructura y de ingeniería en general.

Otra actividad que puede verse inserta en sus impactos es el de generación hidroeléctrica, en la cual se centró especial énfasis dado el interés a nivel global, regional y en especial nacional teniendo en cuenta a la soberanía energética como política nacional de los últimos tiempos, así también la que se ve imbuida en la afectación es la transmisión de energía eléctrica, igualmente la afectación social es potencialmente alta, tomando de referencia a las crecidas de las zonas inundables tanto por los grandes ríos como de los afluentes (desastres naturales, salud), sin soslayar a la biodiversidad y ecosistemas.

Los cambios en los regímenes de precipitación tanto de excesos como déficit, los cuales están asociados a forzantes climáticos como el fenómeno del Niño y las Oscilaciones Decadales del Océano Pacífico hacen que sea posible investigar o analizar esas causas o efectos, basándonos en la obtención de relaciones entre las variables climáticas de los registros locales históricos como los regionales. Las relaciones estadísticas determinadas nos dan un comienzo de gran utilidad para poder alcanzar cierto grado de certidumbre en el conocimiento de los fenómenos físicos asociados, así como tener un mejor conocimiento de base para un sistema predictivo con fines de planificación.

Las variables climáticas regionales como la precipitación relacionadas con otras variables que tienen la habilidad de explicar la variabilidad de las primeras (como por ejemplo variables derivadas del análisis de temperatura de superficie del mar o índices de gran escala o de circulación atmosférica planetaria), pueden tener cierto potencial para desarrollar escenarios Hidrológicos de los próximos 10 o 20 años, para caudales del río Paraná por ejemplo, esta metodología se basa en los cambios de baja frecuencia de la temperatura de superficie del mar en regiones que están relacionadas con las lluvias.

Permitiendo de esta manera al desarrollo y fortalecimiento de las capacidades en detectar relaciones asociadas a la variabilidad climática, y lograr un enfoque más integral y luego así interpretar sus potenciales impactos en los diversos sectores económicos y sociales, identificando las posibles respuestas a los efectos negativos y el potenciamiento de los aspectos positivos.

Por lo tanto las estimaciones cuantitativas de los efectos de la variabilidad climática son esenciales para comprender y resolver problemas potenciales de recursos hídricos, como el suministro de agua para uso doméstico, o el manejo de maximización del aprovechamiento del recurso agua en la hidrogenación entre otros.

Se llevó adelante la recopilación de datos e informaciones climáticas disponibles en los centros nacionales y regionales de toma de datos, con cuales se elaboró una base de datos consistida, y de esta manera se aplicaron las herramientas estadísticas que alcanzaron a encontrar relaciones causa – efecto, arrancando por una estadística descriptiva a fin de caracterizar los campos en estudio y luego avanzando hacia el análisis de las series y caracterizaciones de las muestras (estadística inferencial) y luego determinando la regresión y los grados de correlación hallados entre las variables climáticas analizadas.

Los resultados emergentes caracterizaron que para períodos de fenómenos del Niño y la Niña de intensidad moderada a intensa, durante las mismas se manifiestan variabilidades extremas en los recursos hidrometeorológicos e hidrológicos, los cuales impactan en la infraestructuras y en sus operatividades, por tanto su grado de predictibilidad de las variaciones o dispersiones, en especial en las frecuencias analizadas, es auspicioso para propósitos de planificación y sistemas de mantenimiento.

2 – CUERPO PRINCIPAL DEL INFORME

INTRODUCCIÓN

El Niño / Niña oscilación del sur es un fenómeno cuasi periódico del patrón climático, que se extiende a lo largo del Océano Pacífico Ecuatorial, con un promedio anual de cada 5 años, pero el período varía entre los 3 y 7 años. El mismo está caracterizado por las variaciones de la temperatura superficial del océano, periodos de calentamiento y enfriamiento, denominándose El Niño y la Niña respectivamente, y por las variaciones de presión del aire superficial entre el Este y el Oeste del Pacífico, del cual deriva la nomenclatura de Oscilación del Sur, ambos parámetros acoplados determinan el ENSO (El Niño Oscilación del Sur).

Las anomalías de signos opuestos entre los años (-) (con anomalías predominantemente secas) y (0) (con anomalías predominantemente húmedas), es el resultado de la tendencia de eventos La Niña y El Niño que ocurren en años adyacentes y es indicativo de una componente bianual de la Oscilación del Sur (ver Figura 1). La evolución de anomalías de precipitación durante el ciclo de EL Niño es el resultado de la interacción de anomalías de gran escala y baja frecuencia asociadas a EL Niño y del ciclo anual local de precipitación y

su mecanismos, que son comunes en la parte oeste de la región sur de Brasil, nordeste de Argentina y Paraguay. (A. M. Grimm, 1998)

La fase caliente del ENOS o ENSO, la mayor parte de Paraguay recibe lluvia por encima de lo normal desde septiembre a mayo, mientras que durante la fase fría del ENOS predomina lluvia por debajo de lo normal en el período de septiembre a noviembre en gran parte del país, y como también entre los meses de marzo a mayo en el norte, centro y sur de la región oriental. (Vazquez, 1998) (Ver Figura 2 y 3)

La correlación lineal múltiple entre las anomalías de caudales en Posadas durante el trimestre octubre-diciembre, las anomalías del Niño 3 durante abril-mayo y las anomalías de la temperatura de la superficie del océano Atlántico en la región comprendida $20^{\circ} \text{ S} - 5^{\circ} \text{ S}$ y $25^{\circ} \text{ O} - 40^{\circ} \text{ O}$ durante el trimestre julio – septiembre, arroja un coeficiente de correlación de 0,75. Estos resultados demuestran que existe una clara relación entre el Niño y los caudales y volúmenes de los ríos de la cuenca del Plata durante el verano y otoño. Esta relación tiene a vez un marcado impacto sobre la generación hidroeléctrica. (G. J. Berri, 1998)

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) sería el marco de fondo, desde el punto de vista oceanográfico y atmosférico, para otras oscilaciones de menor período, tal como el ENOS (El Niño/Oscilación del Sur). Las fases cálidas de la ODP están correlacionadas con el fenómeno de El Niño y, por el contrario, las fases frías, con La Niña.

Por su parte, el ENOS se compone de dos fases: las fases cálida y fría, conocidas popularmente como El Niño y La Niña, respectivamente. Ambos fenómenos tienen una duración mucho más corta que las fases de la ODP. La duración típica de las fases del

ENOS oscila entre 1 y 2 años, mientras que las fases de la ODP son del orden de 20 a 30 años.

Las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano sucederían cuando la ODP y el ENOS estén en fase. Es decir, cuando la fase cálida de la ODP coincida con el fenómeno de El Niño y, la fase fría, coincida con el fenómeno de La Niña.

Los fenómenos de El Niño tenderían a ser más débiles e infrecuentes, mientras que los fenómenos de La Niña serían más recurrentes, siempre y cuando la fase negativa (fría) de la ODP predomine durante los próximos años.

La última fase fría de la ODP estuvo activa de 1940 a 1970, durando aproximadamente 30 años. Sin embargo, es interesante mencionar que la última fase positiva de esta misma oscilación estuvo acoplada recurrentemente con fenómenos de El Niño en la década de los años noventa y a partir del año 1999 estaríamos ante una ODP negativa. Ver figura 4

Así a fin de comprobar los impactos en la hidrogenación, se analizó especialmente la Cuenca correspondiente al Paraná, dado el gran aprovechamiento que tiene la misma y como caso específico el de la Central Hidroeléctrica Yacyreta (CHY).

CARACTERISTICAS DEL RIO PARANA

El Río Paraná, que nace en Brasil en la confluencia de los Ríos Paranaíba y Grande, unos 1.100 Km aguas arriba del aprovechamiento, es sin duda el río más importante del sistema hidrográfico del Río de la Plata, y es considerado como uno de los 7 mayores ríos del mundo debido a su caudal, a la extensión de su área tributaria, y a la longitud de su curso. A su vez esta cuenca es la segunda en importancia de Sudamérica. Siguiendo el curso del

Paranaíba que es afluente principal, la longitud total aguas arriba alcanza los 2.300 Km aproximadamente.

La cuenca de aporte de Yacyretá tiene una extensión de casi 1.000.000 Km². A pesar de esta dimensión, desde el punto de vista hidrográfico es extraordinariamente homogénea por su uniformidad climática y geológica. La mayor parte de la misma se encuentra en zonas climáticas tropicales y subtropicales, sujetas a fuertes lluvias. Desde el punto de vista hidrológico se la divide en dos partes: La Cuenca Superior y la Inferior.

La Cuenca Superior es la que se encuentra aguas arriba de lo que eran los Saltos del Guairá. Está enteramente en el Brasil, y cubre unos 840.000 km². Está constituida por una extensa red de tributarios que se originan en las montañas del Sur – Este Brasileño. La porción Nor-Este, en forma de un gran anfiteatro, contribuye con la mayor parte del caudal del Paraná (en términos medios se genera el 77% de los derrames afluentes a la CHY).

La cuenca Superior está conformada por mesetas escalonadas con superficies planas cortadas abruptamente por empinadas escarpas. Consecuentemente, los cauces fluviales son característicamente escalonados, con tramos de pendiente relativamente baja, interrumpidos por rápidos y cascadas. Por su extensión y por su pendiente su reacción es relativamente lenta.

La Cuenca Inferior cubre un área del orden de los 135.000 Km²., y es geomorfológicamente similar a la Cuenca Superior. El Río Iguazú es el afluente más importante de la Cuenca Inferior (en términos medios aporta el 13 % de la afluencia a la CHY). Su cuenca tiene la forma de un rectángulo alargado, con una pendiente pronunciada, que se suaviza a medida que el río se acerca al Paraná. Su reacción es rápida.

La Cuenca Intermedia es una sub-cuenca de la Inferior, que tiene una superficie aproximada del orden de los 35.000 Km² y es la comprendida entre la confluencia del Río Iguazú con el Paraná y el eje establecido por las ciudades de Encarnación – Posadas.-

Desde principio de los años sesenta se aceleró fuertemente el ritmo de construcción de presas en toda la cuenca.

En la actualidad, en el conjunto de estas presas se cuenta con un volumen de almacenamiento útil superior al 25% del derrame medio anual del Río Paraná en el Eje Encarnación- Posadas.

La presencia de las presas en la cuenca tiene fundamentalmente dos efectos principales y en cierta medida contrapuestos. Estos efectos son los siguientes:

Regulación del caudal por llenado y vaciado del volumen útil.

Reducción del tiempo de concentración de los aportes de las subcuencas y reducción del tiempo de traslación de crecidas.

La regulación del caudal tiende a aumentar los caudales mínimos y a disminuir los caudales de pico. La reducción de los tiempos de concentración y traslación provoca que los hidrogramas de crecidas sean de forma menos suave, con picos más altos.

Paralelamente con la construcción de las presas, la cuenca sufrió también otras modificaciones importantes que pueden estar influyendo en las características de sus derrames. Fundamentalmente, se ha alterado el uso del suelo debido a la masiva deforestación y a la práctica de técnicas agrícolas intensivas. (Harza et al,1998)

El Río Paraná ha transformado sus descargas históricas. Por ejemplo en la actualidad no son esperables caudales afluentes en el entorno del mínimo histórico.

A partir de la decisión de operar el embalse de la CHY a cota reducida (76 msnm), surgen las características singulares de manejo de la misma, complementados por la operación de dos

vertederos y otras estructuras de la CHY, la cual, en términos generales, es lo que técnicamente se denomina una “central de pasada”.

El volumen total de embalse a cota 80 (12000 Hm³) es pequeño respecto al aporte medio anual del río (391 Km³). Si definimos al coeficiente de regulación como la relación entre el volumen útil del embalse y el volumen medio anual aportado por el río, se tiene para Yacyretá un coeficiente menor al 0.2 %. Este valor está en el mismo entorno que el de Itaipú sobre el mismo río y del orden de 10 veces menor a los coeficientes del embalse de Salto Grande sobre el río Uruguay y 100 veces menor al embalse del Chocon sobre el río Limay (RA).-

Se deduce claramente que no resulta posible regular el río Paraná a partir del embalse de Yacyretá.

Así mismo, con las turbinas en operación y en la medida que aumenta el caudal afluente, la prioridad de los criterios de descarga imponen en primer lugar el requerimiento del caudal mínimo ecológico del Brazo Aña Cua, en segundo lugar y hasta agotar su capacidad, se descargará por las turbinas de la Central. Por último toda excedencia que supere el caudal de saturación de la Central, en primera instancia se derivará a través del Vertedero Brazo Aña Cua y luego, según su magnitud, también por el Brazo Principal, surgiendo las modalidades operativas según la afluencia imperante, para las descargas que en consecuencia se operen como por ejemplo a) producto de la modulación de potencia y sin agotar la plena capacidad de la central, que para propósitos de este análisis lo clasificaremos en empuntada (restringida con rpf – regulación primaria de frecuencia - y rsf-regulación secundaria de frecuencia, máxima carga con rpf) y b) plena carga y sin modulación (máxima carga sin rpf, máxima carga con riesgo de vertimiento y máxima carga con vertimiento)(Chamorro, XIV ERIAC, 2010). Ver figura 5

PROBLEMÁTICA A RESOLVER

Dada la caracterización de los fenómenos climáticos como el Niño, la Niña, años neutro y fenómenos de más largo plazo como la Oscilación Decadal del Pacífico catalogados en

positivo y negativo, contando además con índices hallados por centros de referencia mundiales sobre el clima con antecedentes de largo periodo de tiempo, y además con la información local de datos de lluvia, caudales y otros, se verifico la aplicabilidad de las técnicas estadísticas para su análisis en el ámbito de la región del Paraguay, en especial la de los Recursos Hídricos y entre ellas se centro en las de precipitación y por otro a la de caudales (Ver Figura 6) y estas aplicadas a la de una Central Hidroeléctrica del Río Paraná.

El proyecto pretende adicionar conocimientos a fin de favorecer la potencialidad de la Predictibilidad Climática, a objeto de entender la mayoría de las consecuencias de los escenarios de “VARIABILIDAD” Climática y en especial de los forzantes como el ENOS, y sus caracterizaciones presentadas por el conocimiento de los cambios en valores medios, cambios en los eventos extremos, cambios en las frecuencias y sumado además la incertidumbre asociada por procesos observacionales, los cuales serían de utilidad para los centros operativos nacionales que se encargan de la elaboración de los escenarios climáticos y los que aplican dichos resultados a la agricultura, navegación así como también a la hidrogenación que es el centro de aplicación de esta investigación, y otras de riego, obras de infraestructura, transporte, emergencias, etc, de esta forma mejorarían las planificaciones de corto, mediano y largo plazo , a fin de tener en cuenta inclusive en las políticas públicas que entre otras persiguen el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y propender al desarrollo integral teniendo como base un conocimiento que brinde menor incertidumbre en relación a la variabilidad climática. El conocimiento de la variabilidad está íntimamente ligado a sus impactos desde el punto de vista climático, los cuales se constituyen entre otros como la precipitación, la temperatura y caudales los cuales se constituyen entre los principales objeto de lo alcanzado en esta investigación.-

A) OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

Con esta investigación se pretende alcanzar los grados de relación y algoritmos lineales entre los parámetros del ENOS, ODP que existen con los del clima local, y de esta forma lograr mejores predictores en el contexto de la variabilidad climática de Paraguay, en especial a los hidrometeorológicos e hidrológicos y a aplicado a la operatividad realizada de una Central Hidroeléctrica en el río Paraná, para este caso especial la de Yacyreta (CHY), a fin de estar mejor preparados ante los eventos climáticos extremos recurrentes.

B) OBJETIVO(S) GENERAL(ES)

Determinar los patrones de anomalías de las variables climáticas utilizando técnicas estadísticas, asociados a eventos el Niño y con las fases de la Oscilación Decadal del Pacífico, identificando y proveyendo información actualizada de los impactos correlacionados a los eventos extremos ocasionados en los periodos climáticos particularizados.

C) OBJETIVO(S) ESPECIFICO(S)

- 1) Recopilar datos e informaciones climáticas disponibles a nivel nacional y regional.
- 2) Aplicar las técnicas estadísticas de exploración con fines prácticos de mejorar la predictibilidad y de interés socio – económico nacional y de desarrollo de investigación.
- 3) Desarrollar y formar capacidades en el tema de variabilidad climática y sus efectos en Paraguay.

- 4) Intercambiar conocimientos desde la perspectiva de multidisciplinariedad del proyecto, y abordando la necesidad de instalar el tema en las políticas públicas frente a las vulnerabilidades socio-económicas.
- 5) Encontrar relaciones estadísticas que infieran usos potenciales aplicados a los recursos hídricos y la generación hidroeléctrica con los impactos del clima.

MATERIALES Y MÉTODOS

A fin de cumplir con los objetivos previstos se basó el estudio en datos de temperatura superficial del mar (SST), índice de oscilación del (IOS), precipitación mensual de una serie de años, serie de caudales de los ríos Paraguay y Paraná y con la aplicación de la metodología de regresión para el caso de precipitación y grado de correlación, así como coeficientes de determinación. (Spiegel, 1991)

Para el caso de caudales, se determinó el análisis de la serie, analizando con las medias móviles, así como su correlación con los períodos de fases de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) (Wilks, 1995) y de los resultados se analizaron con los modos operativos de la CHY.

A fin de implementar el análisis se caracterizó y se asumió las caracterizaciones de los centros climáticos especializados del Fenómeno del Niño y la Niña contra los valores de SST e IOS, a fin de correlacionar por el método de Pearson (Miller et al, 1992) y así determinar el grado de correlación y la posible influencia de éstos en la Precipitación en el Paraguay, por otro lado se calculó además la ecuación de regresión lineal a nivel anual entre los parámetros nombrados. Además del período anual, se analizaron el promedio en los períodos estacionales (DEF, MAM, JJA, SON) de la Precipitación versus el IOS y de la Precipitación versus el SST. Además del análisis anterior implementado se realizó

exploraciones mes a mes para la serie de años de datos con que se contaba, la cual consistió en información de la SST desde el año 1856 al año 2010, y los datos de IOS desde el año 1876 al año 2010, así como los datos de precipitación a nivel mensual en especial de la estación de Asunción desde el Año 1880 hasta el año 2000.

Por otro lado se analizó a nivel de series la influencia del ODP en los datos climáticos, determinándose mediante medias móviles de 10 y 20 años a fin de observar la influencia o presencia del ODP, y por otro lado la relación del ODP con el ENSO, por ejemplo se calcularon para el periodo de años Niña de los años con ODP (+) (promedios anuales) en la SST contra el análisis de un mes determinado para los Años Niña con ODP (+) de las precipitaciones o sea se tomaron tanto las precipitaciones como las SST para un campo muestral determinado o condicionado por el forzante ENSO y el de ODP, igual análisis se procedió para la obtención de relaciones de precipitaciones contra el índice de oscilación del sur.

Así mismo se calcularon las bandas de ajuste para un nivel de confianza del 95% para las regresiones lineales determinadas (Linsley, 1982), tanto para los de precipitación vs SST como los de precipitación vs IOS.-

Por otro lado para determinar la influencia de los factores climáticos en la operatividad de la CHY, se realizó el análisis para establecer el grado de relación de los casos ENSO y las modalidades operativas de la CHY que tengan alguna vinculación, para evaluar el predictor y el predictando. Se utilizó para ello la serie de informaciones de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), especialmente el Índice Oceánico del Niño (ONI), el Índice Multivariado ENSO y SST (temperatura superficial del mar) Niño 3.4 (denominado así por el área que ocupa en el Océano Pacífico), y por el otro la serie de

caudales del río Paraná (1901-2009) a la altura del Eje Encarnación Posadas, y también las modalidades operativas de la CHY(1998-2009).

Se utilizaron funciones lógicas para aislar los casos de interés, se elaboraron matrices de contingencia en función a una estadística previamente elaborada, un análisis de consistencia, un número de casos asociados un factor con el otro y finalmente el grado de relación entre los parámetros definidos, las cuales arrojaron los resultados estimados a priori.

Etapas I : La implementación de esta investigación se llevó a cabo primeramente con la recopilación de las informaciones disponibles, así como los datos en formato papel y digital, los de formato papel se digitalizaron de acuerdo a su orden de importancia, teniendo en cuenta, a que no coincida con información digital disponible, además se recopilaron el mismo carácter de informaciones pero de formato digital disponibles en internet, y a continuación se validaron esas informaciones, las cuales se contrastaron con la bibliografía disponible.

Etapas II: Con la información disponible, se aplicaron las metodologías estadísticas a las informaciones de datos de la temperatura de la superficie del mar, índice de oscilación del sur, precipitación, caudales y modos operativos en la Central Hidroeléctrica usada de base.

Etapas III: Luego con la investigación bibliográfica y de los resultados de la aplicación de las técnicas estadísticas objetivizadas para los datos hallados, se elaboraron las conclusiones alcanzadas en la presente investigación.

RESULTADOS OBTENIDOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron de acuerdo a lo pretendido por la metodología consistente en cuadros y figuras alcanzadas, luego de la aplicación de las técnicas estadísticas:

- 1) Gráficos de Precipitación vs SST dado en función de los años ENSO y ODP
- 2) Gráficos de Precipitación vs IOS dado en función de los años ENSO y ODP
- 3) Matriz de Contingencia de los Años ENSO vs Operatividades de la CHY
- 4) Gráficos de Series de distribución temporal del parámetro de precipitación y de caudales asociados a los forzantes intervinientes como el ENSO y la ODP
- 5) Base de Datos de Precipitación, Caudales, IOS, SST y ODP asociadas.

Las graficas de los parámetros relacionados nos indican en primer lugar la relación inversa existente entre la SST y el IOS (Ver figura 7 y 8) , por otro lado cuando el forzante Niño y con ODP neutro por ejemplo, en la relación precipitación y sst, al aumento de la sst tenemos aumento de la precipitación, es decir son directamente proporcionales, lo cual se puede observar en la pendiente de la recta de regresión lineal y por el otro al relacionar la lluvia contra el IOS , son inversamente proporcionales, lo cual también se grafica en la pendiente de la recta y comparando entre ambos tiene mejor coeficiente de determinación la del IOS, y mejor en la primavera que en el verano(Ver figura 7 y 10).

Por otro lado el análisis de la serie en el promedio móvil de 10 o 20 años nos indica que para años ENSO las precipitaciones en términos medios a lo sumo aumenta un 100 % respecto de la media mensual anual (Ver figura 9)

Teniendo de referencia a investigaciones anteriores y a las propias se comprobó la correlación existente entre las precipitaciones en la cuenca del Paraná ya sea por exceso o déficit de las mismas según sea Niño o Niña respectivamente. Las consecuencias del

impacto de las precipitaciones se traduce en mayor o menor escorrentía o caudales en el río Paraná (Ver Figura 12), sin perder de vista, entre otros a factores acotantes de la escorrentía como la cadena de embalses de la cuenca sobre todo a la altura de la CHY, siendo esta la última de la cascada de más de 59 centrales hidroeléctricas, y por el otro el grado de uso de suelo (deforestación, agricultura), y en menor grado el cronograma paulatino de elevación del embalse de la CHY.

El análisis final comprendió evaluar los años ENSO coincidentes desde el inicio del periodo operativo de la CHY con todas las máquinas puestas a disposición hasta fines del 2009, encontrándose que durante dicho periodo se presentaron situaciones de ENSO débil, moderado y fuerte, siendo estos dos últimos los que arrojaron mejores resultados. Ver Cuadro 2

Utilizando al ONI como índice predictor para el caso hidroeléctrico y especialmente para los casos de ENSO (de moderado y a fuerte, los casos de débiles así como neutro arrojaron poca significancia o aleatoriedad en los resultados), tanto para los casos del fenómeno cálido El Niño, como para los fenómenos fríos La Niña, los resultados fueron alentadores, en el sentido de encontrar una linealidad entre dichos índices y las formas operativas de la CHY (Ver figura 13) , resultando que para el 94% del tiempo durante el período EL Niño (sobre los casos considerados 2009,2002) se operó a máxima carga y /o con vertimiento y durante el 91 % del tiempo durante el período de la Niña (2007,1999) se operó en empuntada o restringida, es decir que los caudales altos en el periodo Niño pesan y en los caudales bajos en el periodo Niña (Ver Cuadro 3), correspondiéndose con una producción plena y no plena, de lo que podemos concluir que cuando los fenómenos son intensos o moderados las formas operativas de la CHY están sesgadas por la influencia de este fenómeno climático en forma significativa, sin embargo cuando el fenómeno es débil los

guarismos cambian a proporciones que se aproximan una a otra, igual situación se presenta en años denominados como neutro. Los resultados son de importancia sobre todo para la planificación de los paquetes energéticos estacionales y los programas de mantenimiento de las unidades generadoras cuando los índices climáticos son moderados y/o fuertes.

CONCLUSIONES

Con los resultados alcanzados podemos concluir que los forzantes climáticos regionales tienen significancia en el clima local, tanto a nivel hidrometeorológico como hidrológico entre otros, los índices planetarios o globales nos brindan una tendencia hacia donde se sesgará nuestro clima local en el Paraguay, por lo tanto su uso apropiado sería de gran utilidad a nivel social, económico y ambiental en el territorio nacional.

Este conocimiento de aporte incipiente sobre todo en las relaciones y gradaciones de las mismas con la cuantificación específica en cada sector o rama implicaría una reducción de las incertidumbre que de por sí ya son varias cuando tratamos con fenómenos climáticos y sobre asociar las mismas a otras actividades se acrecientan aún más, pero la variabilidad climática presentada por el ENOS, cuya variabilidad de mayor frecuencia con respecto la ODP de menor frecuencia, es altamente significativa para el caso específico de la hidrogenación, con respecto a los sistemas en su situación de pleno uso, donde el factor clima con respecto al mismo es el que impacta en la variabilidad de la misma, con la variabilidad extrema de los forzantes ENSO también se produce la extrema variación en esos sistemas, lo que brinda un auspicio predictor para los tomadores de decisión, así como los planificadores y sectores de mantenimiento, extendiendo este esquema de análisis a otras ramas específicas de la ingeniería, la misma sería de gran utilidad para dar mayor

eficiencia para el uso de infraestructuras, favoreciendo sus operatividades y mantenimiento de los mismos.

Consecuentemente, la producción de energía eléctrica en MERCOSUR es potencialmente vulnerable al Clima, a sus cambios y variaciones, siendo esta una de las regiones del mundo de mayor vulnerabilidad, y en especial dado se ve disminuida su potencial de generación en los momentos de sequías.

LITERATURA CITADA

- Barros, Vicente (et al). 2006. El Cambio Climático en la Cuenca del Plata. Buenos Aires Argentina. 232 p.
- Barros, V. : El Cambio Climático Global. *Ed Libros del Zorzal* Buenos Aires 172 pp.
- Berri, G. J. El Niño y Algunos de sus Efectos Sobre los Recursos Hídricos en la Argentina, 1998.
- Chamorro, L.F. HIDROGENERACION – VARIABILIDAD CLIMATICA – ESCENARIOS, 2007
- Chamorro, Lucas. –EL ENSO EN EL RIO PARANÁ Y SUS SEÑALES EN LA OPERATIVA DE LA GENERACIÓN HIDROENERGÉTICA DE LA CHY- XIV ERIAC, 2010
- Grimm, A. M. , Influencia de El Niño sobre las lluvias del sur de Brasil, 1998
- Harza y Consorciados; CIDY Consultores Internacionales de Yacyretá. Manual de Operación y Mantenimiento, Manual de Operación del Embalse, VOL. II – Rev 2., 1998
- Linsley, Ray Jr. (et al). 1982. Hydrology For Engineers. U.S.A. 508 p.
- Miller, Irwin(et al). Probabilidad y Estadística para Ingenieros. 1992. México. 624 p
- Murray R, Spiegel. Estadística. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid. España. 1991
- Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos de George C. Canavos Mc Graw Hill, 1996
- Statistical Methods in the Atmospheric Sciences-Daniel S. Wilks,1995
- Vazquez M. A, La variabilidad de la precipitación en Paraguay y los eventos El niño/ Oscilación Sur (ENOS), 1998

ANEXOS

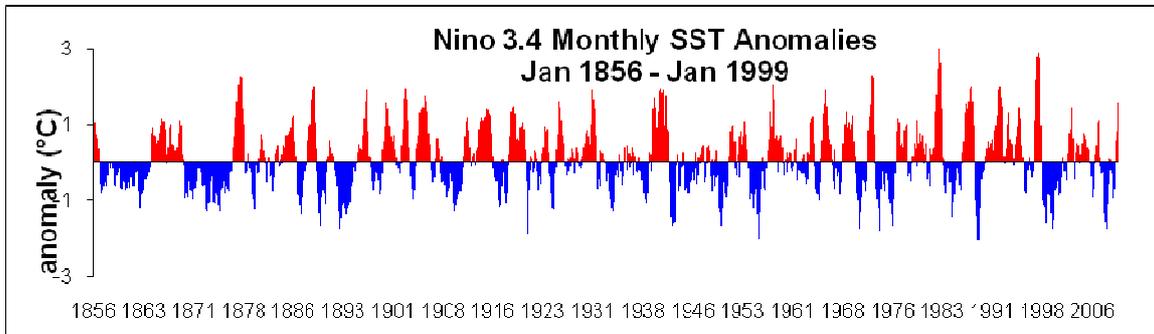


Figura 1: Distribución temporal de la Temperatura Superficial del Mar

Distribución Temporal de la Precipitación (mm) Asunción

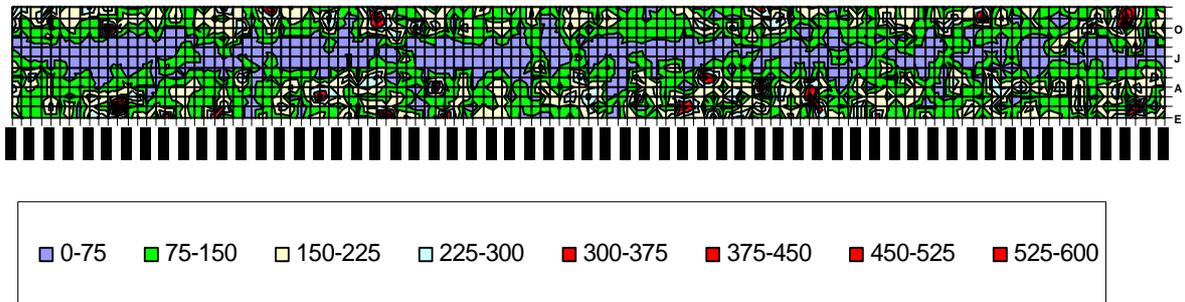
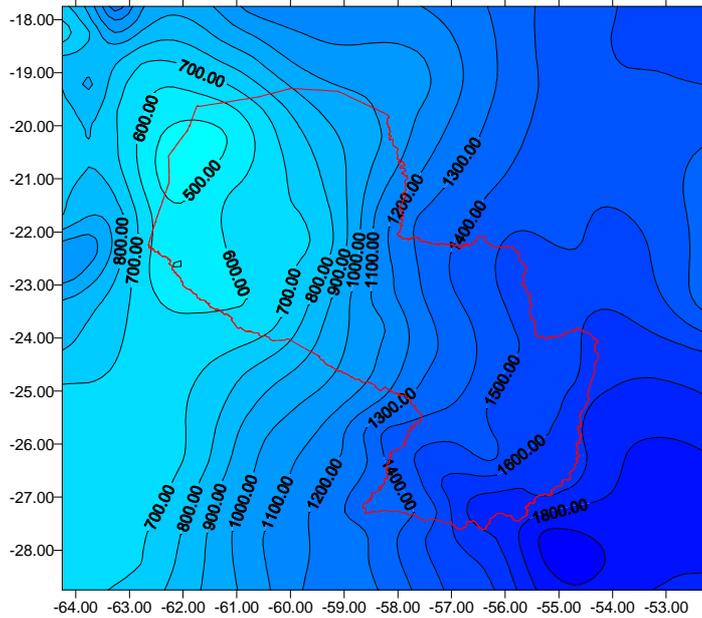


Figura 2: Distribución temporal de la precipitación para Asunción



Mapa de Isoyetas - Datos East Anglia - 1961-1990

Figura 3: Mapas de Isoyetas periodo 1961 1990, elaborado con datos del CRU (Universidad de East Anglia)

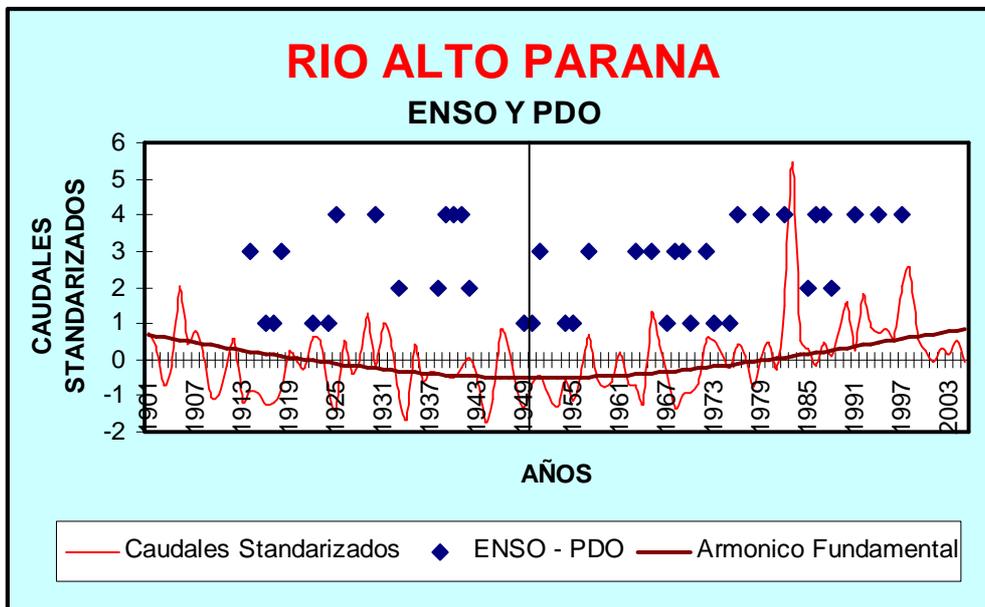


Figura 4: En la misma se describe la variable bidimensional de los periodos ENSO y PDO (EN, LN y WPDO, CPDO) según una intensidad relativa configurada en el

cuadro 1, distribuida temporalmente en el Río Alto Paraná, relacionada a Caudales Standardizados y asociados a una tendencia de un armónico denominado fundamental.

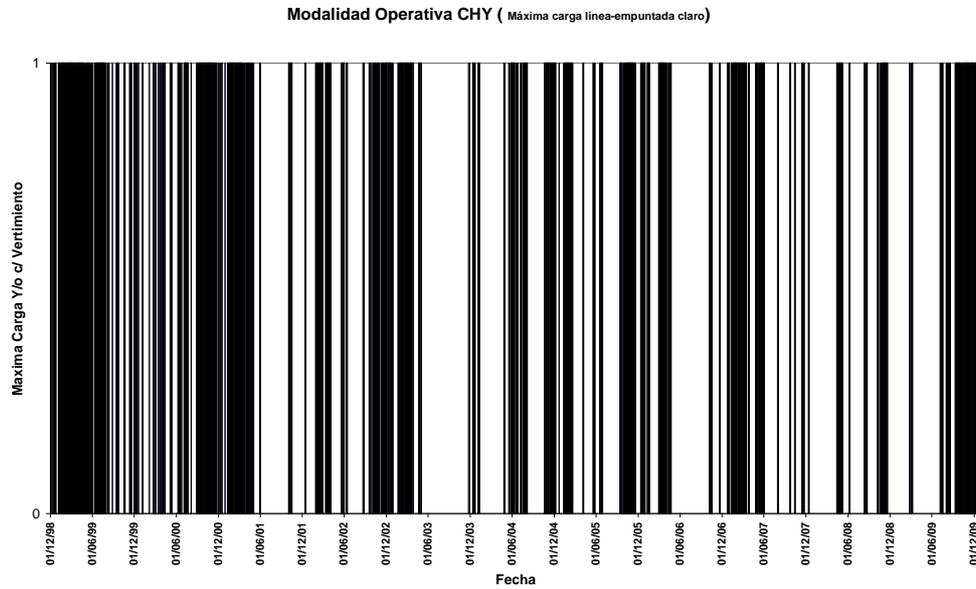


Figura 5: Diagrama de Modalidad Operativa Temporal

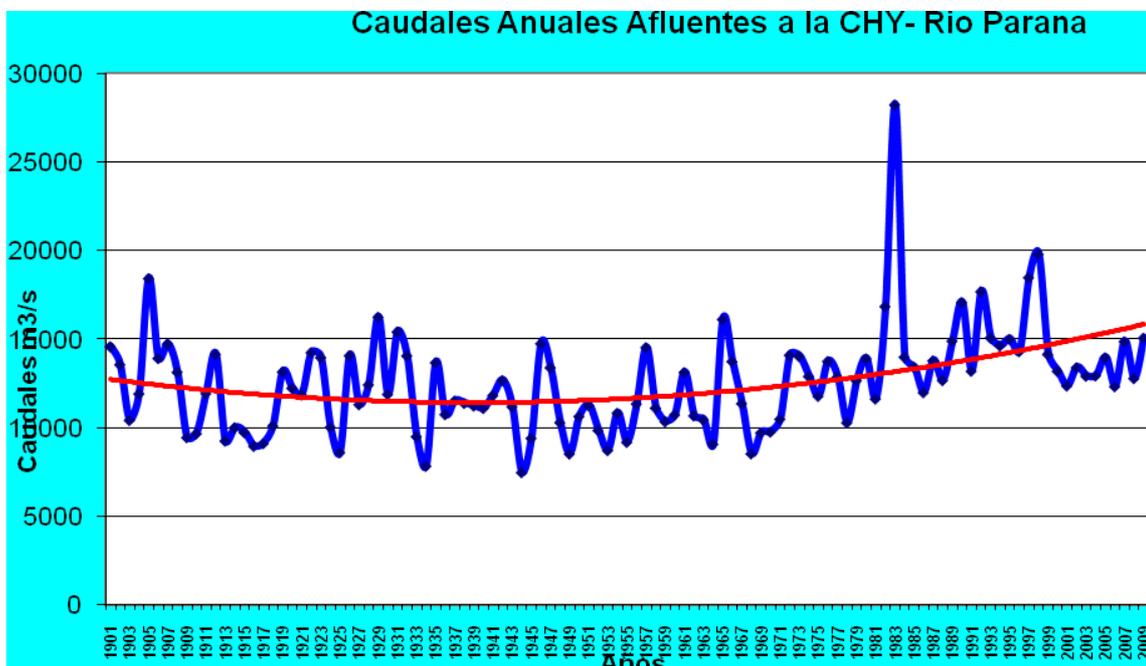


Figura 6: Caudales Anuales del Río Parana y su línea de tendencia secular

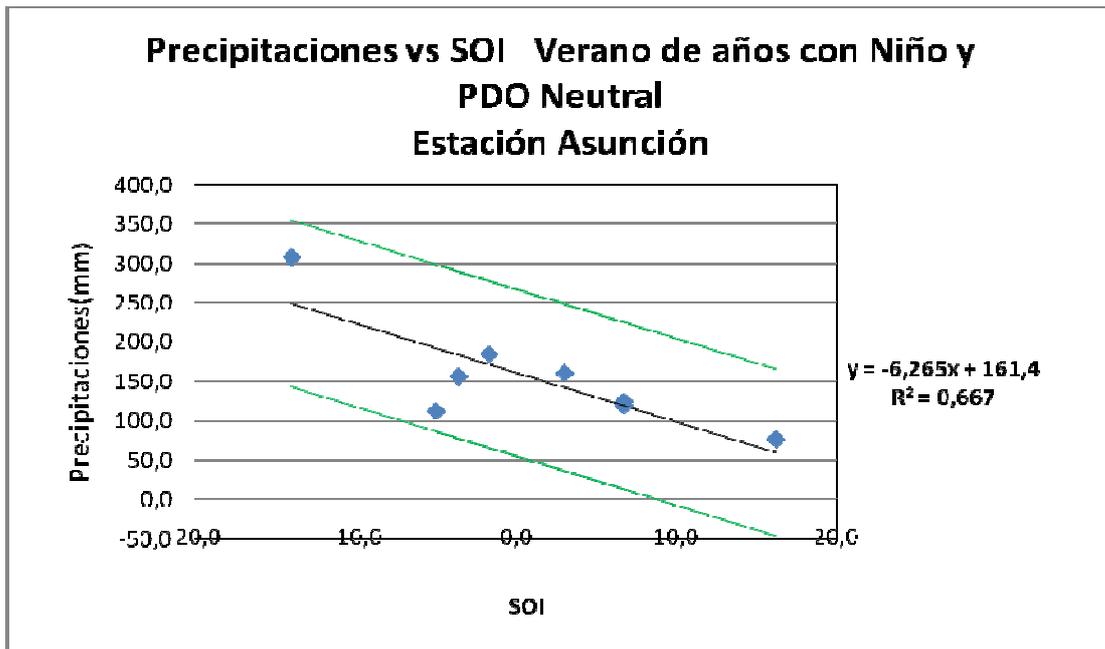


Figura 7: Precipitación del periodo Niño contra el Índice de Oscilación del Sur en Verano Años Niño y PDO Neutral

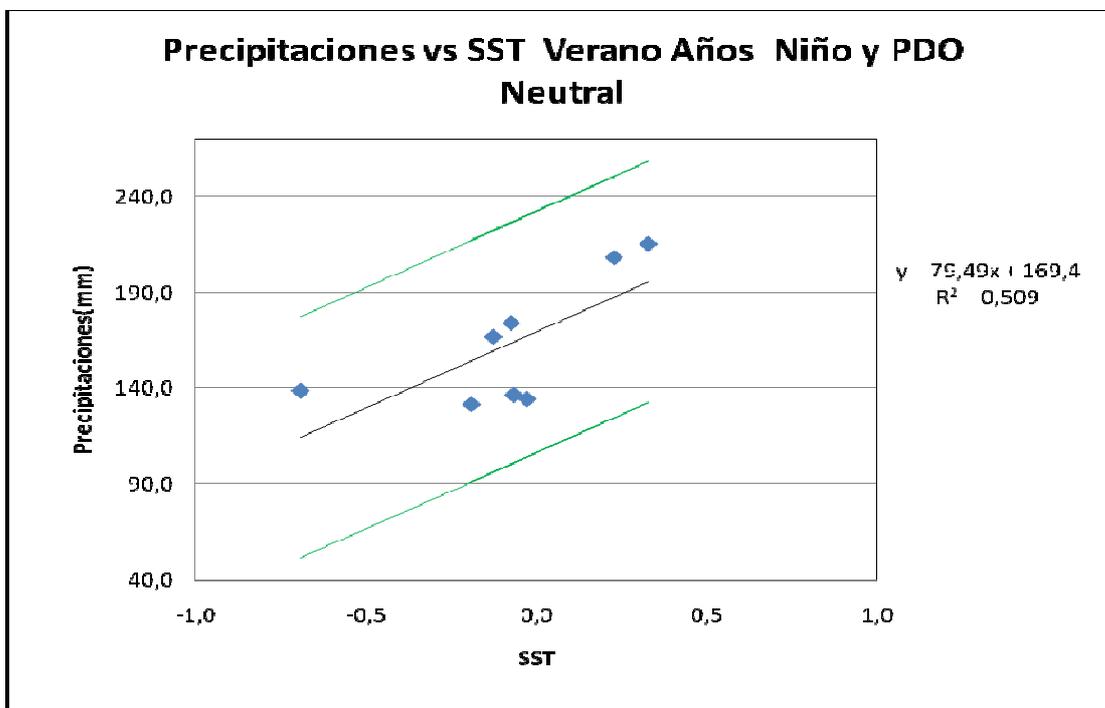


Figura 8: Precipitación del periodo Niño contra la Temperatura Superficial del Mar en el Océano Pacífico en Verano Años Niño y PDO Neutral

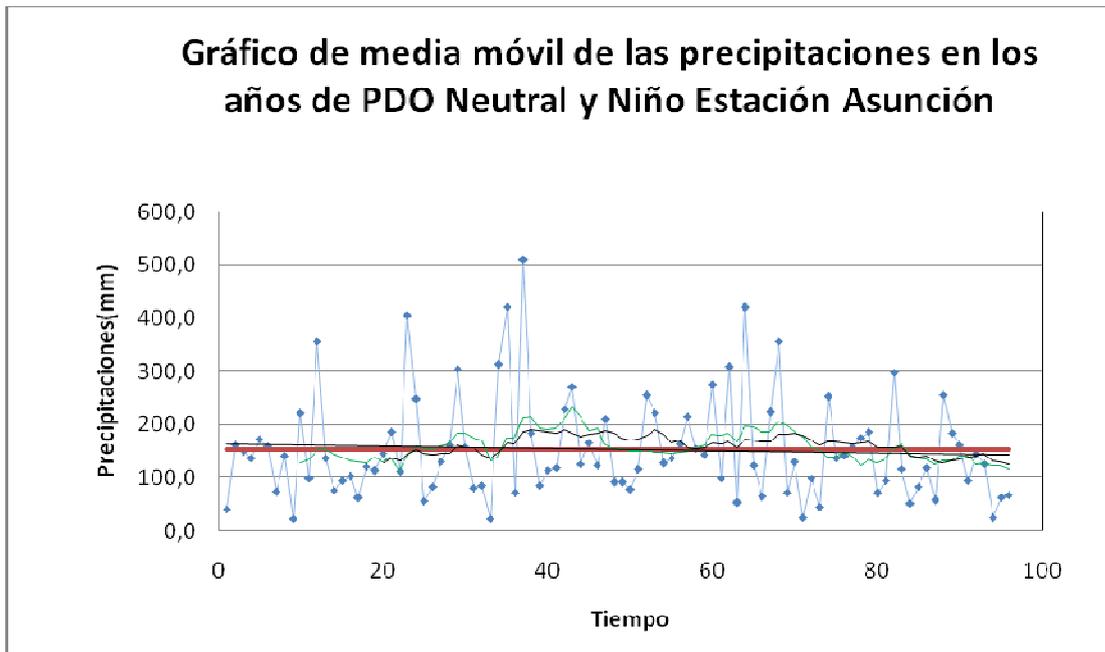


Figura 9: Media Móvil de 10 años (decadal) y 20 años de la Precipitación del Periodo Niño para datos extraídos de la serie de años en Verano y Años Niño y PDO Neutral

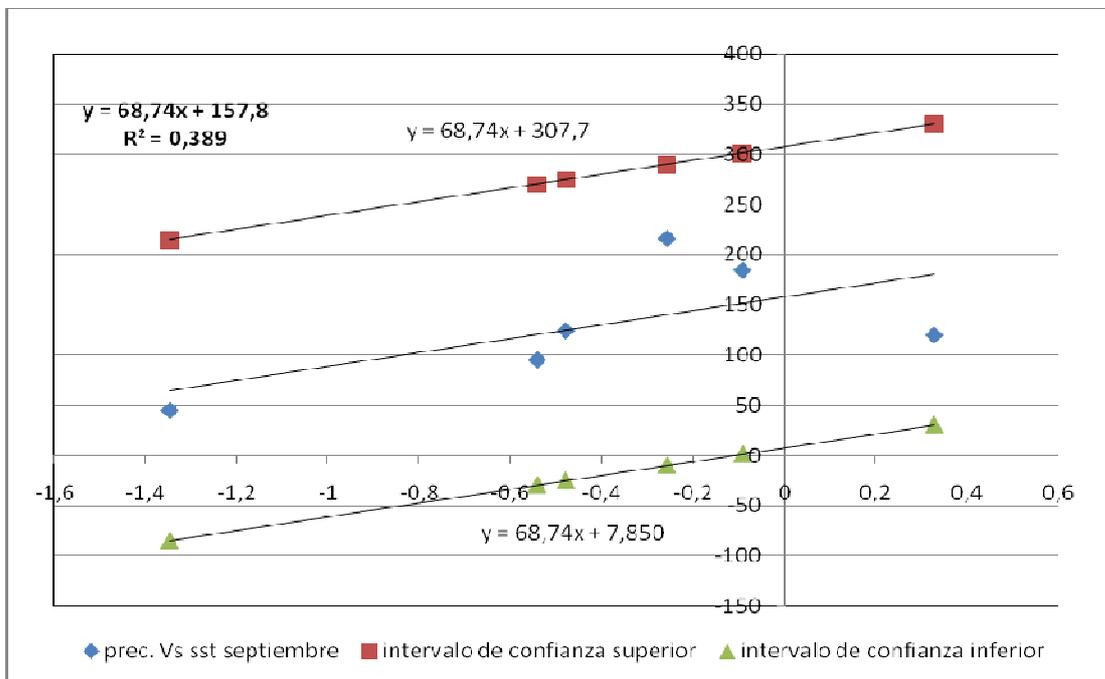


Figura 10: Precipitación del Periodo Niño contra la Temperatura Superficial del Mar en el Océano Pacífico en Primavera Años Niño y PDO Neutral

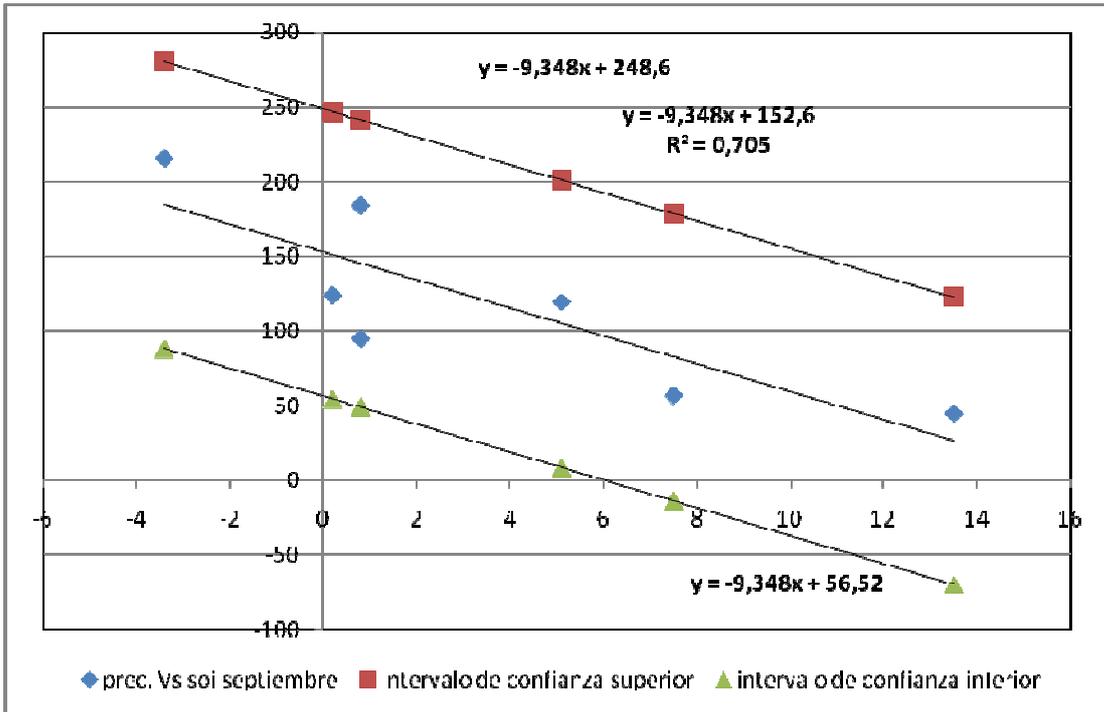


Figura 11: Precipitación del Periodo Niño contra el Índice de Oscilación del Sur en Primavera Años Niño y PDO Neutral

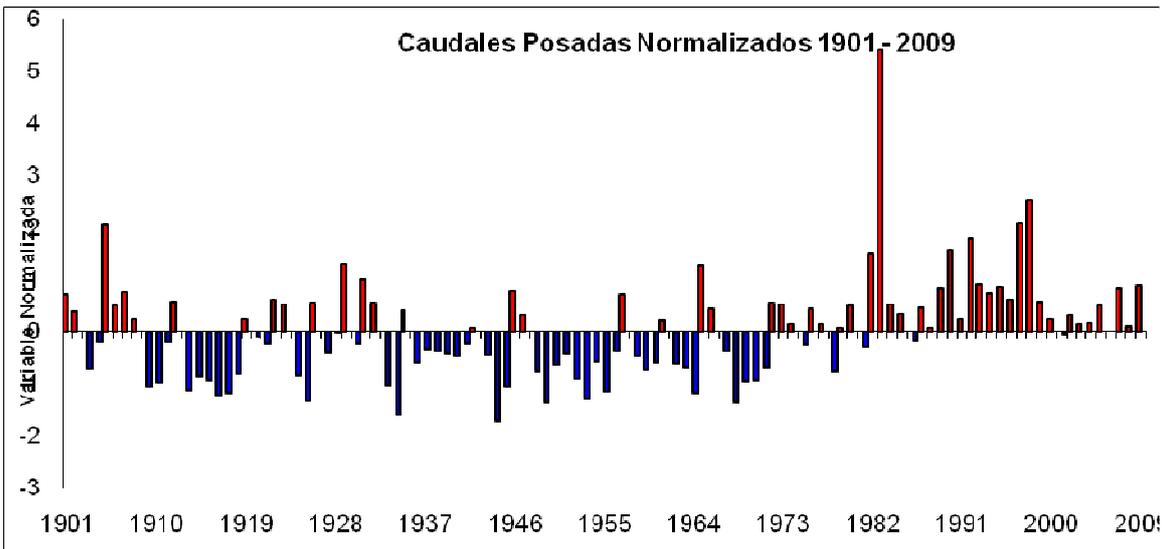


Figura 12: Caudales Anuales Normalizados del Río Parana

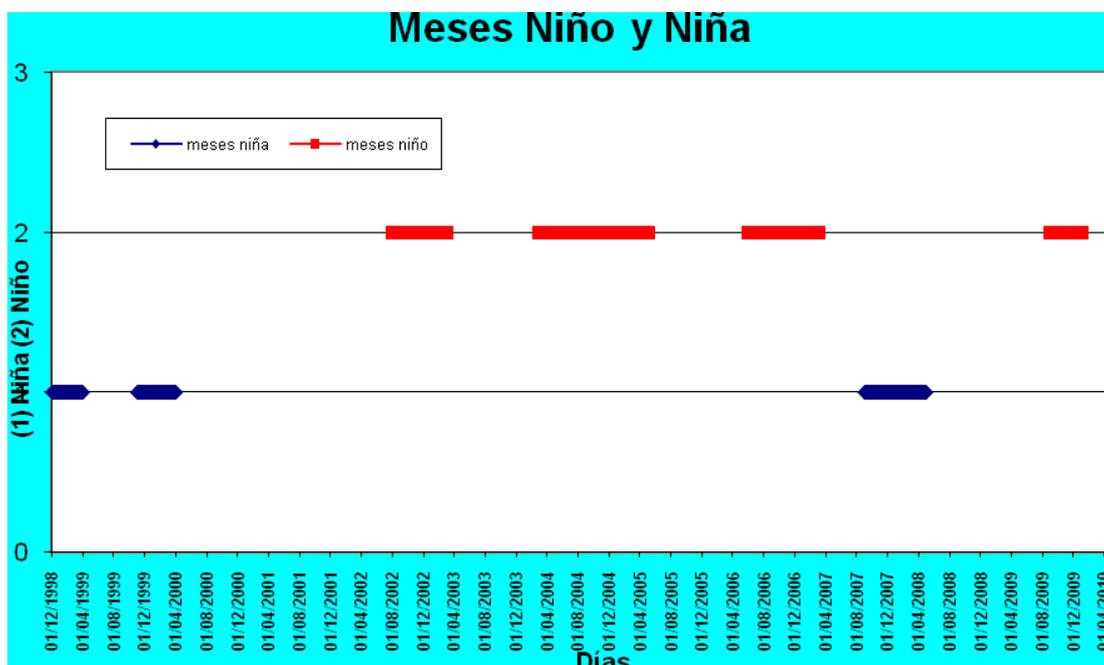


Figura 13: Meses de fenómenos ENSO durante la operación de la CHY

Intradecadal	Fase ENSO	Interdecadal (PDO)	
		WPDO	CPDO
	EN	4	3
LN	2	1	

Cuadro 1: MATRIZ BIDIMENSIONAL DE LOS ESTRATOS INTERDECADAL E INTRADECADAL, DEL PDO (WARM PDO Y COLD PDO, CONTRA EL ENSO (EL NIÑO Y LA NIÑA).

El Niño			La Niña		
Weak	Mod	Strong	Weak	Mod	Strong
1951	1986	1957	1950	1954	1955
1963	1987	1965	1956	1964	1973
1968	1994	1972	1962	1970	1975
1969	2002	1982	1967	1998	1988
1976		1991	1971	1999	
1977		1997	1974	2007	
2004		2009	1984		
2006			1995		
			2000		

Cuadro 2: FUENTE NOAA

	Niño	Niña
MC	0,94	0,09
E	0,06	0,91

Cuadro 3: Tabla de contingencia de resultados operativos contra forzantes ENOS