

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA  
XI CONGRESO CHILENO**

**UTILIZACION DEL FENOMENO EL NIÑO-OSCILACION DEL SUR  
EN LA PREDICCION DE AÑOS HIDROLOGICOS EXTREMOS**

**ENRIQUE KALISKI KRIGUER (1)**

**BEATRIZ BURQUEZ CORNEJO (2)**

**PABLO ANGUITA SALAS (3)**

**RESUMEN**

En el contexto de la planificación de la operación de sistemas de riego, se presenta un método de predicción alternativo para el tipo de año hidrológico extremo probable en una cuenca. Este método utiliza como base el Índice de Oscilación del Sur (IOS), que representa la intensidad del fenómeno climático conocido como "El Niño", que ha tenido influencia directa en las precipitaciones de nuestro país.

El método comprende la preparación de los datos hidrológicos, una primera etapa de calibración de parámetros de predicción utilizando valores acumulados del IOS, una segunda etapa de calibración que utiliza información del año vigente y del año anterior y finalmente una validación de los parámetros, en un período estadístico diferente al de la calibración.

La aplicación realizada en la cuenca del río Limarí, IV Región, utilizando la estadística de caudales afluentes al embalse Paloma, demostró que es posible pronosticar si el año siguiente será seco o húmedo, con una confiabilidad aceptable.

- 
- (1) Ingeniero Civil Dirección de Riego M.O.P. y Académico de la Escuela de Ingeniería U. de Chile.
  - (2) Geógrafo, encargada de Medio Ambiente, Dirección de Riego, M.O.P.
  - (3) Ingeniero Civil. Director Nacional de Riego, M.O.P.

## UTILIZACION DEL FENOMENO EL NIÑO - INDICE DE OSCILACION DEL SUR EN LA PREDICCION DE AÑOS HIDROLOGICOS EXTREMOS

### 1.- INTRODUCCION

La operación de las obras de riego y la distribución del agua es dependiente del tipo de año hidrológico (Año Húmedo, Año Normal, Año con Restricción, Año Seco). Por esto, la planificación del uso de los recursos hídricos de una cuenca requiere, de manera especial, de toda información que permita efectuar pronósticos confiables acerca de la disponibilidad de agua de riego para la temporada primavera-verano, como asimismo, conocer los caudales máximos probables de invierno.

Los sistemas de pronóstico de disponibilidad de agua para la temporada agrícola actualmente en uso, se basan en correlaciones entre la cantidad de nieve caída y el volumen de deshielo posterior y/o correlaciones entre caudales de invierno y verano, entre otras. En general, se requiere información del período de invierno para establecer las características de la hidrología del período de riego.

Por lo anterior, la Dirección de Riego consideró necesario destinar esfuerzos para contribuir al desarrollo de los mecanismos de predicción relativos a la disponibilidad del recurso agua, desarrollando esta investigación, cuya finalidad última es determinar si existen bases suficientes para la utilización del análisis del El Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), en la predicción de años hidrológicos extremos.

### 2.- OBJETIVOS

- Proponer un método de predicción alternativo que permita establecer el tipo de año hidrológico extremo probable en una cuenca, antes del inicio del período de invierno.
- Utilizar como información base un índice que representa la intensidad del fenómeno climático conocido como "El Niño", el cual ha demostrado en los últimos años tener una influencia directa en la ocurrencia de años muy secos o muy húmedos en nuestro país.
- Efectuar una aplicación del método propuesto a la cuenca del río Limarí, IV región.

### 3.- MARCO GENERAL DEL FENOMENO ENOS

#### 3.1.- Descripción del Fenómeno

El Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), es un evento caracterizado por anomalías oceánico-atmosféricas, cuyo ámbito geográfico de ocurrencia se encuentra en la Cuenca del Océano Pacífico.

"El Niño" es un nombre que proviene de la denominación dada por los pescadores de la costa peruana, a la ocurrencia de períodos en que las aguas litorales son anormalmente cálidas, las que traen asociada la presencia y pesca de especies numerosas y de tipo tropical. Dado que esta situación ocurre normalmente en el mes de diciembre (próximo a la Navidad), los pescadores lo consideraron como un regalo del Niño Dios. Investigaciones posteriores, establecieron la importancia de la oscilación de las presiones atmosféricas (Oscilación del Sur), de manera que, en definitiva, se asumió el nombre compuesto El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En esta terminología "El Niño" hace referencia a la componente oceánica del Fenómeno, mientras que "Oscilación del Sur" se refiere a la componente atmosférica.

Los años en que se producen condiciones normales (opuestas a los años Niño), son denominados años "Anti-Niño" o "Niña". Estos se caracterizan por condiciones de normalidad en la distribución de las precipitaciones y de las condiciones de las variables oceánicas. No obstante, cuando se extrema el desarrollo del "Anti-Niño", se manifiesta la ocurrencia de sequías entre las Regiones IV y IX de Chile.

En términos generales el comportamiento de un evento ENOS típico se caracteriza, dentro del ámbito oceánico, básicamente por aumentos de la temperatura superficial del mar (TSM) en la costa de América del Sur. Además, los análisis de tipo oceanográfico incluyen variables relativas al comportamiento del termoclíma y nivel del mar.

En el ámbito atmosférico, las características de ENOS se manifiestan en declinaciones de los vientos alisios. Estas declinaciones están asociadas a anomalías negativas en el balance de los Centros de Presión Atmosférica de Alta (en la vertiente oriental del Pacífico, frente a la costa de América del Sur) y de Baja (vertiente occidental, frente a la costa de Indonesia). Sus efectos se manifiestan fundamentalmente en el comportamiento de las variables climáticas. Las variaciones en los ámbitos oceánico y atmosférico son monitoreadas por una red de estaciones oceanográficas y meteorológicas administradas por Programas de Investigación Internacional del Fenómeno. Para las variaciones atmosféricas las estaciones maestras están en Tahiti (vertiente oriental) y Darwin en Australia (vertiente occidental), las que contienen las series de datos más largas y continuas. Los análisis de estas series son apoyados fundamentalmente por datos recogidos en Isla de Pascua y Juan Fernández.

En lo que respecta a la predicción de la ocurrencia de El Niño, se han desarrollado una serie de modelos, entre los que destacan los de Max-Planck, Handler, O'Brien, Centro Climático de Australia, NOAA/CAC, Nicholls, Barne y Cane-Zebiak.

Los estudios realizados sobre ENOS han considerado el análisis de su ocurrencia en diferentes años. Así por ejemplo, se cuenta con análisis que contemplan el comportamiento de ENOS entre los años 1974 a 1990 a base de las variaciones del Índice de Oscilación del Sur (SHOA,1992); de 1961 a 1990 considerando varios indicadores atmosféricos (Quintana,1990); de 1960 a 1983 a base de todas las variables principales de ENOS (Romero,1985); desde el siglo XVI a la fecha, mediante análisis de las precipitaciones en Santiago y el ciclo solar (Araya,1990).

Cabe destacar que se ha establecido una escala de intensidades de ENOS (Quinn et al,1978), la que establece 5 niveles de intensidad que son : "No hay" (0), "Muy Débil" (1), "Débil" (2), "Moderado" (3) e "Intenso" (4).

### **3.2.- Efectos de ENOS**

En los momentos de más álgido desarrollo ENOS produce modificaciones atmosféricas que afectan las características de las precipitaciones. De ello deriva que, en términos generales, se produzcan sequías en el centro de África, Nordeste de Australia, Nordeste de Brasil, Indonesia, India. Las inundaciones se manifiestan en las Costas Occidentales de Sur y Norte América. En términos esquemáticos, en Chile los efectos de ENOS se manifiestan en sequía en el Altiplano e incremento sustancial de las precipitaciones con probabilidades de inundaciones en las Regiones Climáticas Semiárida y Mediterránea/Húmeda (IV a IX Regiones).

En términos económicos, se producen efectos en casi todas las actividades productivas, destacando el sector agropecuario debido a su dependencia de las condiciones climáticas.

Por otra parte, se encuentran los efectos en el ámbito oceánico, los que se traducen fundamentalmente en modificaciones de la distribución de la biota marina, debido al cambio de temperaturas. Ello repercute en la industria pesquera, puesto que se modifica la disponibilidad de peces en la costa Sudamericana.

### **3.3.- El Índice de Oscilación del Sur (IOS)**

El IOS fue elaborado por los investigadores de ENOS, sobre la base de las observaciones del comportamiento de las anomalías atmosféricas características del evento, que se reflejan en modificaciones de los centros de presión atmosférica presentes normalmente sobre las vertientes occidental del Pacífico (Anticiclón del Pacífico) y vertiente oriental (Centro de Baja de Indonesia). Dichas modificaciones implican que los valores de los Centros de Alta y Baja Presión varían de tal manera que la presión atmosférica de ambos se iguala e incluso se invierte, de manera que el centro de Alta pasa a tener valores de presión atmosférica inferiores a los del Centro de Baja.

Para el desarrollo de esta investigación, y en atención a sus objetivos, se eligió el IOS debido a que es el índice que da cuenta de la variable atmosférica de ENOS más directamente relacionada con el comportamiento de las precipitaciones. A la vez, representa condiciones que no son afectadas por fenómenos locales, como ocurre con la TSM.

La determinación del IOS tiene como información base las estadísticas de presión atmosférica superficial de Papeete (Tahití) y Darwin (Australia), que poseen la serie de datos más extensa y actualizada. El período base utilizado para su cálculo comprende los años 1951 a 1980.

El cálculo del índice se realiza en las siguientes etapas :

- a) Para cada estación, se calcula la anomalía, definida como el dato mensual menos el promedio mensual correspondiente del período base.
- b) Se normaliza cada serie de anomalías, dividiendo los valores por la desviación estándar de la serie.

c) Se restan las anomalías normalizadas de la estación de Darwin, de las correspondientes de Papatea, obteniéndose una nueva serie.

d) Esta última serie se vuelve a normalizar, dividiendo cada valor por la desviación estándar, obteniendo finalmente el Índice de Oscilación del Sur.

#### 4.- METODO DE PREDICCIÓN.

En la figura N°1 se ha esquematizado los pasos a seguir para el método de predicción que se propone, el cual consta de las tres etapas que se detallan a continuación:

##### Etapas N° 1 : Preparación de datos.

Los datos que se requieren son los siguientes.

- a) Estadística de a lo menos 35 años consecutivos de caudales medios mensuales, en régimen natural. Esta estadística debe estar medida en un lugar que sea representativo de la disponibilidad de agua de riego de la cuenca o sistema de regadío.
- b) Valores mensuales del IOS. (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, SHOA).

##### Cálculos Requeridos

- a) Valores acumulados del IOS  
Para cada año de la estadística, se determina:  
$$INI_{i,m} = \text{Valor acumulado de IOS, para el año } i, \text{ desde el mes de noviembre (m = 1), hasta el mes "m" (máximo m = 5, marzo)} \quad (1)$$

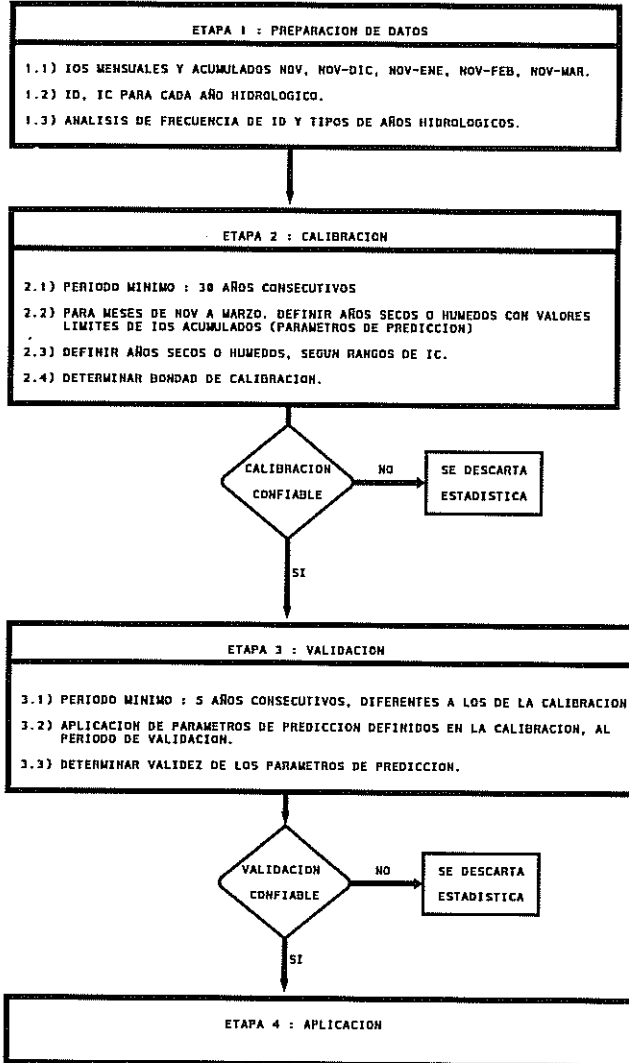
- b) Índice de Disponibilidad (ID)  
Para lograr una mejor similitud entre el IOS y los caudales de la estadística, se ha definido el siguiente índice, que se calcula para cada año hidrológico:

$$ID_i = \frac{Q_p - Q_i}{\sigma} \quad (2)$$

- En que :
- $Q_p$  es el caudal promedio de los meses de estadística disponible del año hidrológico, en m<sup>3</sup>/s, según mes en que se efectúe el pronóstico.
  - $Q_i$  es el caudal medio anual del año i, m<sup>3</sup>/s
  - $\sigma$  es la desviación estándar de los caudales de la estadística, en m<sup>3</sup>/s.

FIGURA N 1

ESQUEMA METODO DE PREDICCION



c) Índice Complementario (IC)

Este índice representa el efecto combinado del IOS e ID del año presente y del año anterior. Se define como :

$$IC_{i,m} = IN_{i,m} + \frac{IN_{i-1,m}}{IN_{i,m}} + \frac{ID_{i-1}}{ID_i} - ID_i \quad (3)$$

- En que: -  $IC_{i,m}$  es el Índice Complementario del año  $i$ , para una predicción desde el mes  $m$ .
- $IN_{i,m}$ , definido en ecuación (1)
  - $ID_i$ , definido en ecuación (2)

d) Análisis de Frecuencia del ID y asignación del tipo de año hidrológico.

Se efectúa un análisis de frecuencia de los valores anuales de ID. A continuación, se divide la serie en siete tipos de años, de modo que cada una de éstas tenga igual probabilidad de ocurrencia.

Los tipos de años hidrológicos a considerar son los siguientes : Muy Húmedo, Húmedo, Normal-Húmedo, Normal, Normal-Seco, Seco y Muy Seco.

Etapa N° 2 : Calibración

Sobre la base de una gran cantidad de iteraciones y pruebas preliminares con diferentes estadísticas, para determinar alguna relación entre el IOS y el ID posible de generalizar, se concluyó que, dada la gran erradicidad de los valores de los años normales y de algunos años extremos, las situaciones posibles de ocurrir al predecir son :

- a) Que sea posible utilizar los valores de IOS acumulados a partir de noviembre.
- b) De no ser posible lo indicado en a), se determina si es posible utilizar el Índice Complementario IC.
- c) De no ser posible a) ni b) anteriores, puede ser que el fenómeno de "El Niño" no esté presente y en este caso no es posible efectuar una predicción.

Parámetros de Predicción :  $IN_{h,m}$  y  $IN_{s,m}$

Para un mes determinado, entre noviembre y marzo, se ordenan descendientemente las series anuales de  $IN_{i,m}$ , en forma conjunta con la serie de  $ID_i$  y los tipos de año hidrológico del año siguiente asociado. En estas series ordenadas, se determina, siempre que sea posible, el valor de  $IN_{i,m}$  denominado  $IN_{h,m}$ , a partir del cual los valores menores o iguales que éste corresponden a años húmedos o muy húmedos. De igual forma, se determina el valor de  $IN_{i,m}$ , denominado  $IN_{s,m}$ , a partir del cual los valores mayores o iguales que éste corresponden a años secos o muy secos.

### Utilización del Índice Complementario, ICI,m

Se ordenan descendientemente todos los valores de IN<sub>i,m</sub> que sean mayores que IN<sub>h,m</sub> y menores a IN<sub>s,m</sub>, simultáneamente con los valores del IC, y las series de los tipos de años hidrológicos del año vigente y año siguiente. De estas series ordenadas, se puede deducir si para un cierto tipo de año hidrológico en que se hace el pronóstico, es posible establecer un rango del IC para el cual siempre ocurra el mismo tipo de año hidrológico extremo al año siguiente.

### Bondad de la Calibración

Como una forma de determinar la confiabilidad de la calibración realizada, se propone que se evalúe el siguiente coeficiente, denominado "Coeficiente de Bondad del Pronóstico", Cb :

$$Cb = \frac{Na}{N} > = 0,70 \quad (4)$$

En que : - Cb es el coeficiente de bondad del pronóstico

- Na, es el número de años hidrológicos extremos de la estadística (secos, muy secos, húmedos y muy húmedos) que se pudieron predecir con los parámetros definidos, ya sea con los valores acumulados del IOS, o con rangos del índice IC.
- N, es el número de años hidrológicos extremos totales de la estadística.

Como criterio de confiabilidad, se propone que la calibración sea considerada aceptable si el coeficiente de bondad del pronóstico es igual o superior a 0,70.

### Etapa N° 3 : Validación

Si la etapa de calibración ha resultado satisfactoria, se procede a aplicar los parámetros, a un período de estadística de a lo menos 5 años consecutivos, diferentes a los utilizados en la etapa de calibración.

Se considerará como válidos dichos parámetros, si de su aplicación resulta un pronóstico con acierto en todos los casos.

## **5.- APLICACION DEL METODO**

### 5.1.- Etapa N° 1 : Preparación de Datos

Se realizó una aplicación del método a la cuenca del río Limarí IV Región, a la estadística en Régimen Natural de volúmenes afluentes al embalse Paloma.



El período que comprende dicha estadística es de mayo de 1951 a abril de 1992. El análisis de frecuencia realizado se indica en la tabla N° 1.

## 5.2.- Etapa N°2 : Calibración

Para la etapa de calibración, se utilizó el período de estadística 1951 a 1985 ( 35 años). En cada una de las series se analizó el comportamiento del índice ID en función de los valores mensuales acumulados del IOS, observándose lo siguiente:

- a) Para meses anteriores a noviembre, la dispersión es total, es decir, no es posible efectuar predicción o conclusión alguna para estos meses. Esto concuerda con las observaciones del fenómeno de "El Niño", que indican que éste se manifiesta normalmente a partir del mes de noviembre.
- b) Para meses posteriores a marzo, la tendencia y calidad de la predicción se mantiene, es decir, los meses de abril en adelante no aportarían mayor información, ya que en general, el fenómeno de "El Niño" desde abril ya se ha manifestado casi completamente.

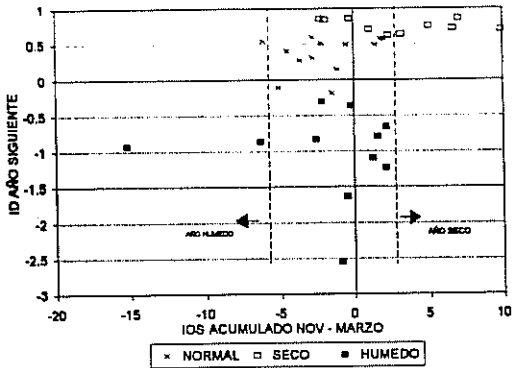
Tabla N° 1 : Afluentes al embalse Paloma asociados a tipos de años hidrológicos.

TIPO DE AÑO HIDROLOGICO	VOLUMENES AFLUENTES ANUALES (Hm3)
Muy Húmedo	> 1059
Húmedo	745 - 1059
Normal - Húmedo	442 - 744
Normal	350 - 441
Normal - Seco	296 - 349
Seco	216 - 295
Muy Seco	< 216

Por lo anterior, se utilizaron los valores acumulados entre noviembre y marzo para definir los parámetros de calibración.

En la figura N° 2 se muestra los gráficos en que se relacionan los índices ID y el IOS acumulado de noviembre a marzo, para los afluentes al embalse Paloma. En la tabla N° 2 se han indicado los valores de los parámetros de predicción determinados en cada caso, en tanto que en la tabla N° 3 se indican las predicciones posibles de hacer, en función del tipo de año en que se pronosticó, el mes (noviembre a marzo) y el índice IC.

a) USO IOS ACUMULADO NOVIEMBRE-MARZO



b) USO DEL INDICE IC MARZO

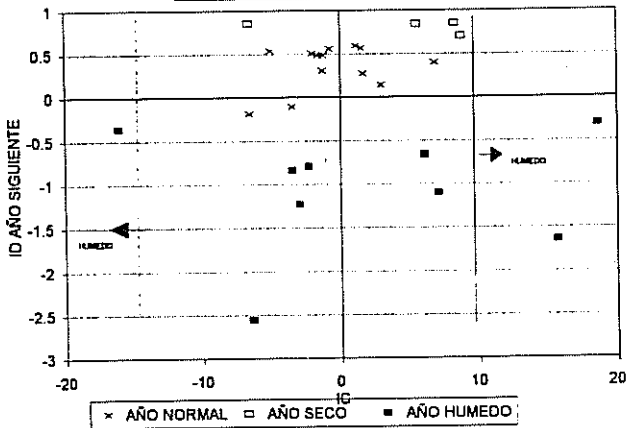


FIGURA N-2 : PREDICCIÓN DE AÑOS HIDROLOGICOS EXTREMOS

a) APLICACION DEL IOS ACUMULADO NOVIEMBRE-MARZO : EN LINEA PUNTEADA SE INDICAN LOS VALORES, A PARTIR DE LOS CUALES LOS AÑOS SIGUIENTES SON SECOS O HUMEDOS

b) APLICACION DE INDICE IC MARZO : PARA LOS VALORES QUE NO SE PRONOSTICAN CON LA FIGURA (a), SE DETERMINAN LOS RANGOS DEL INDICE IC EN QUE SE PRODUCEN AÑOS HIDRICOS EXTREMOS, DEPENDIENDO DEL TIPO DE AÑO EN QUE SE EFECTUA EL PRONOSTICO.

Tabla N° 2 : Parámetros de Predicción en función de los Valores acumulados del IOS.

Mes en que se hace el Pronóstico	Ns,m	Nh,m
Noviembre	1,36	-3,25
Diciembre	2,80	-4,9
Enero	2,90	-8,4
Febrero	2,37	-11,9
Marzo	2,30	-6,35

Tabla N° 3 : Parámetros de Predicción, en función del tipo de año, mes y del índice IC, (Para los casos fuera de la tabla N° 2)

MES EN QUE SE HACE EL PRONOSTICO	AÑO ACTUAL	RANGO DEL IC	TIPO DE AÑO A PREDECIR
NOVIEMBRE	SECO O MUY SECO	< 1,4	SECO O MUY SECO
	SECO O MUY SECO	>2,9	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
	MUY HÚMEDO	> 24	MUY HÚMEDO
DICIEMBRE	SECO O MUY SECO	> 3,9	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
	SECO O MUY SECO	< 3,9	SECO O MUY SECO
	HÚMEDO O MUY HÚMEDO	< -12	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
ENERO	SECO O MUY SECO	<-0,05;>0,1 y < 4	SECO O MUY SECO
	SECO O MUY SECO	>-0,05 <0,1 y > 4	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
	MUY HÚMEDO	> 20	MUY HÚMEDO
FEBRERO	SECO O MUY SECO	<-1,3 >3,8 y <4,5	SECO O MUY SECO
	SECO O MUY SECO	>4,5 >-0,6 y <3,8	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
	MUY HÚMEDO	> 20	MUY HÚMEDO
MARZO	SECO O MUY SECO	> 11 <-1,1 y >-19	SECO O MUY SECO
	SECO O MUY SECO	>5 y < 11 < -19	HÚMEDO O MUY HÚMEDO
	MUY HÚMEDO	> 18,0	MUY HÚMEDO

### Coefficiente de bondad

En la tabla N° 4 siguiente se ha detallado el número de aciertos en el pronóstico efectuado, en cada mes y cada caso.

Tabla N° 4 : Número de Aciertos en el Pronóstico y Coeficientes de Bondad.

Mes en que se hace el Pronóstico	Na con Ns,m	Na con Nh,m	Na con IC años secos	Na con IC años húm.	Total Aciert. Na	Total Años Hidr. extremos	Coefic. de bondad
NOVIEMBRE	4	1	5	3	13	22	0,59
DICIEMBRE	3	1	4	5	13	22	0,59
ENERO	5	1	4	5	15	22	0,68
FEBRERO	6	1	4	5	16	22	0,73
MARZO	6	2	4	5	17	22	0,77

### 5.3.- Etapa N° 3 : Validación

La validación de los parámetros de predicción definidos en la etapa de calibración, se realizó para el período de 1986 a 1992. Para esto, se analizó en cada mes, entre noviembre y marzo, si según los valores del IOS acumulados o del IC correspondiente, era posible predecir el tipo de año hidrológico del año siguiente.

Los resultados obtenidos, que se indican en la tabla N° 5, muestran que fue posible predecir los tres años extremos de ese período (1987 húmedo, 1989 y 1990 secos). Se observa además que son más confiables las predicciones realizadas en los meses de febrero y marzo, que en el resto de los meses.

Tabla N° 5 : Validación de los Parámetros de Predicción.

(NP = No es posible predecir; PC = Predicción Correcta; PE = Predicción Errada)

AÑO	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
1986	NP	NP	NP	NP	PC
1987	NP	NP	NP	NP	NP
1988	PC	NP	PC	PC	PC
1989	PC	PE	PE	PC	PC
1990	PE	PE	PE	NP	NP
1991	NP	NP	NP	NP	NP

En la tabla N° 5 anterior, las predicciones correctas (PC) correspondieron a la aplicación del índice IOS acumulado, en tanto que las predicciones erradas correspondieron a la aplicación del índice IC, excepto en los meses de noviembre y diciembre de 1990, en que se aplicó el IOS acumulado. En los casos de no predicción (NP), se probaron ambos índices.

## 6.- CONCLUSIONES

El método desarrollado para la predicción del tipo de año hidrológico extremo a ocurrir en una cuenca, en función del Índice de Oscilación del Sur, permite establecer si dichos años son dependientes del fenómeno ENOS y si es posible establecer parámetros de predicción confiables.

En el caso de la aplicación realizada a los volúmenes anuales afluentes al embalse Paloma, se verificó que existe esta dependencia con ENOS. En efecto, en la calibración de los parámetros, se obtienen coeficientes de bondad aceptables para las predicciones hechas en febrero y marzo.

Para los años en que no fue posible efectuar pronósticos con los valores acumulados del IOS, se efectuaron pruebas con diferentes índices en función del IOS del año vigente y año anterior, resultando el mejor de ellos el Índice Complementario, IC. No obstante, dada la naturaleza de este índice IC, su aplicación generalizada no es aún posible de recomendar solamente sobre la base de los resultados aquí obtenidos. Por esto, se recomienda continuar la investigación con otros índices de mayor confiabilidad y probar su aplicación en diferentes cuencas hidrográficas.

Los coeficientes de bondad obtenidos y los resultados de la validación realizada, demuestran que para la cuenca del río Limarí la confiabilidad del pronóstico efectuado en los meses de febrero y marzo es aceptable, en tanto que en los meses anteriores es menos confiable. Lo anterior se verifica por las predicciones acertadas hechas para los años del período de validación, en que se aplicó el IOS acumulado. (1987, húmedo y 1989, 1990, secos).

En el análisis previo de las series mensuales y anuales del IOS y los volúmenes afluentes al embalse Paloma, se observó que éstos no siguen ningún tipo de correlación. Sin embargo, en los años extremos, debido a la presencia de ENOS, se observó una relación entre los valores mensuales del IOS y el tipo de año hidrológico del año siguiente. De igual forma, se observó una relación con las intensidades del ENOS de los años anteriores.

Del análisis de los resultados obtenidos con el método planteado, la Dirección de Riego estima de gran interés continuar con el desarrollo de esta investigación, en aspectos tales como : aplicación a diferentes cuencas y sistemas de riego en el país, determinando en cada caso la confiabilidad del pronóstico efectuado; proposición de otros índices basados en el IOS e hidrología, que permitan obtener pronósticos más certeros y confiables; utilizar en forma alternativa al volumen anual afluente, un índice de disponibilidad hídrica basado en una precipitación representativa de la cuenca o sistema de riego; investigar la posibilidad de analizar e incorporar otras variables que incidan en los fenómenos hidrológicos futuros, como es el caso de las manchas solares.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aceituno, Patricio y Fernando Vidal, 1990.

"Variabilidad Interanual en el Caudal de Ríos Andinos en Chile Central en Relación con la Temperatura de la Superficie del Mar en el Pacífico Central" - 16p.

Araya B., Roberto, 1990

"El Ciclo Solar y las Lluvias Extremas en Chile Central - Primera Parte" - Rev. de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica - Vol.5 N° 3 - 18p.

Araya B., Roberto, 1991

"El Ciclo Solar y las Lluvias Extremas en Chile Central - Segunda Parte" - Rev. de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica - Vol.6 N° 1 - 18p.

M.O.P. - Dirección de Riego, 1992, Ingendesa.

Mejoramiento Sistema Paloma - IV Región, Estudio Hidrológico

M.O.P. - Dirección de Riego, Oficina Provincial de Limarí-IV Región. Registros de Operación Mensual de los Embalses Paloma, Recoleta y Cogotí.

Quintana Arena, Juan, 1990

"Indicadores Meteorológicos de El Niño y su Aplicación al Litoral Norte y Central de Chile" - Dirección Meteorológica de Chile -10p.

Romero, Hugo y Ana María Garrido, 1985

"Influencias Genéticas del Fenómeno El Niño sobre los Patrones Climáticos de Chile - Rev. Investigac. Pesquera 32 - Instituto de Fomento Pesquero - 17p.

Romero, Hugo y Patricio González, 1989

"La Variabilidad Climática Interanual en Chile en el Período 1982/1988 y su Relación con el Fenómeno El Niño" - Memorias del Simposio Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste - Revista Pacífico Sur Número Especial - Comisión Permanente del Pacífico Sur - 8p.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 1992

"Antecedentes del Fenómeno El Niño, Oscilación del Sur" - 20p.

## **Agradecimientos**

Los autores expresan sus agradecimientos al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), el cual ha tenido la gentileza de facilitar los antecedentes del IOS para la presente investigación.