

UNA APLICACIÓN DE LAS CORRELACIONES CANÓNICAS EN CLIMATOLOGÍA.

An Application of the Canonical Correlations In Climatology

RESUMEN

El trabajo presenta una aplicación de las correlaciones canónica en climatología. El propósito de esta técnica es determinar la existencia o no de la asociación lineal entre dos conjunto de variables aleatorias e independientes. El caso estudiado, evalúa la relación lineal existente entre el comportamiento de las series de precipitación de un periodo de 20 años, influenciadas por variables de escala superior.

El análisis de los resultados determina que existe relación de tipo inversa entre estos dos conjunto de variables. La importancia de el estudio radica en la comprensión de la variabilidad climática dada la ocurrencia de ciertos fenómenos me macro escala.

PALABRAS CLAVES: Correlación Canónica, Climatología, Series de Precipitación, Variables Macro- climáticas.

ABSTRACT

The paper presents an application of canonical correlations in climatology. The purpose of this technique is to determine the existence of linear association between two sets of independent random variables.

The case study evaluates the linear relationship between the behaviors of the series of rainfall for a period of 20 year, influenced by higher level variables. The analysis of the results determines that such inverse relationship between these two sets of variables. The importance of the study lies in the understanding of climate variability given the occurrence of certain events in macro scale.

KEYWORDS: Canonical Correlation, Climatology, Precipitation Series, Macroclimatic Variables

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de datos climáticos exige de la exploración y evaluación de diferentes modelos matemáticos así como de técnicas estadísticas que permitan estudiar e interpretar las variaciones del clima, sus efectos e impactos en la población.

Este trabajo muestra una aplicación de la técnica multivariada denominada análisis de Correlación canónica con el fin de estudiar la relación existente entre eventos climáticos de Macro escala y series de Precipitación. El estudio considera datos de las estaciones meteorológicas con funcionamiento en el departamento del Chocó, suministrada por el IDEAM; y series de las variables Oceánicas Superficiales marinas o Macroclimáticas de influencia en la zona de estudio, provienen de la información de libre acceso de diferentes bases de datos:

Fecha de Recepción: 4 de Mayo de 2011

Fecha de Aceptación: 30 de Agosto de 2011

JORGE ANDRÉS URRUTIA

M. Sc. Investigación de operaciones y Estadística
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jurrutia@utp.edu.co

EDUARDO A CRUZ TREJOS

M. Sc en Administración Económica y Financiera
Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
ecruz@utp.edu.co

REINER PALOMINO

Ph. Candidato. Física de la Atmósfera
M. Sc en Meteorología
Profesor Investigador
Universidad Tecnológica del Chocó
reiner@utch.edu.co

ICOADS: International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) de la NOAA *Earth System Research Laboratory, NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA*, de su sitio en la red <http://www.cdc.noaa.gov/>. Las variables marinas superficiales que se encuentran en esta base de datos son una combinación de información oceanográfica de las bitácoras de buques, información proveniente de mediciones *in situ* con boyas, e información satelital.

2. DESARROLLO TEÓRICO

[1], [2]*Correlaciones canónicas:*

En el análisis de correlación canónica se examina la relación lineal entre un grupo de variables, X , y un grupo, o más de un grupo, de variables Y . La técnica consiste en encontrar una combinación lineal de las variables $X=(V1=b1X1+b2X2+...+bpXp)$ y otra combinación lineal de las variables $Y=(U1=a1Y1+a2Y2+...+aqYq)$ de tal

manera que la correlación entre U y V sea máxima. A estas combinaciones lineales se denominan *variables canónicas*, y las correlaciones entre los correspondientes pares de variables canónicas se denominan *correlaciones canónicas*.

Y se interpretan como variable *respuesta* o variables *dependiente*, mientras que las variables X representan variables *predictivas* o variables *independientes*.

El análisis de correlación canónica se aplica a situaciones en las que es adecuada la técnica de la regresión pero existe más de una variable dependiente. Otra aplicación útil es para probar la independencia entre los dos grupos de variables, Y y X .

[2],[3],[4] Calculo de las Correlación Canónica:

La idea básica del análisis de correlación canónica comienza buscando una combinación lineal de las y , tal como $U_1 = a_1y_1 + a_2y_2 + \dots + a_qy_q$ (1)

y una combinación lineal de las x , tal como

$$V_1 = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (2)$$

Para cualquier elección de los coeficientes, a y b , se puede calcular los valores U_1 y V_1 de cada individuo de la muestra. Para los N individuos de la muestra se puede calcular la correlación simple de los N pares, U_1 y V_1 , de la manera usual. La correlación resultante dependerá de la elección de los valores de a y b .

En el análisis de correlación canónica, se seleccionan los valores de los coeficientes a y b de manera que *maximice* la correlación entre U_1 y V_1 . Como consecuencia de esta particular elección de los coeficientes, a la combinación lineal U_1 se le denomina *primera variable canónica* de las y , y a la combinación lineal V_1 se le denomina *primera variable canónica* de las x . Nótese que tanto U_1 como V_1 tienen media cero.

La correlación entre U_1 y V_1 se le denomina *primera correlación canónica*. La primera correlación canónica es, por tanto, la correlación mayor posible entre la combinación lineal de las x y la combinación lineal de las y .

En este sentido, es la correlación lineal máxima entre el grupo de las x y el grupo de las y . La primera correlación canónica es análoga al coeficiente de correlación múltiple entre una variable Y y un grupo de variables X . La diferencia es que en la correlación canónica hay varias y por lo que también hay que encontrar una combinación lineal de ellas.

Un método para interpretar el valor relativo de cada variable en la combinación lineal canónica, es viendo el valor de los coeficientes tipificados, así, para las Y , la

primera variable canónica viene determinada. Otro método para interpretar el valor relativo de cada variable en la combinación lineal canónica, es viendo el valor de la correlación de cada variable original con su variable canónica (o con la variable canónica del otro grupo de variables).

Se puede realizar interpretaciones adicionales de la relación entre las X y las Y obteniendo otro conjunto de variables canónicas y su correspondiente correlación canónica. El número máximo de correlaciones canónicas y sus correspondientes variables canónicas es igual al número mínimo de variable en los grupos, esto es, si hay por ejemplo 10 variables X y 5 variables Y el número de correlaciones canónicas que se podrán calcular será de 5.

[4] Pruebas de hipótesis para la validación de las correlaciones.

Para probar la hipótesis de correlación, se hace con la prueba de razón de verosimilitud con la función de distribución F para probar las correlaciones canónicas.

[5] Representación de los valores de las variables Canónicas

Puede ser útil la representación, en unos ejes cartesianos, de los individuos siendo el valor de sus coordenadas la de los valores de las variables canónicas, U_1 y V_1 .

Para datos multivariante normal, esta gráfica será una elipse de dispersión que podrá ser útil para detectar posibles datos erróneos o individuos peculiares.

[4] Coeficiente de Redundancia y Redundancia Total

Los coeficientes de redundancia se utilizan para medir la capacidad predictiva de un conjunto de variables respecto al otro. Supongamos que las variables originales están estandarizadas (media cero y varianza unidad) y que las combinaciones lineales X_i se obtienen con la Condición de varianza unitaria expresada como sigue:

$$\frac{1}{n} \alpha_i' X' X \alpha_i = \alpha_i' R_{xx} \alpha_i = 1 \quad (3)$$

La correlación entre la variable Y_1 y la variable indicadora X' a construida como combinación lineal de las X es:

$$E[y_1 x' \alpha] = r'_{1x} \alpha \quad (4)$$

donde

$$r'_{1x} = (r_{11}, \dots, r_{1p}) \quad (5)$$

es el vector de correlaciones entre las variables Y_i y las P variables de X . La correlación de las q variables y con la variable $X' \alpha$ será:

$$E[yx' \alpha] = R_{yx} \alpha \tag{6}$$

Donde R_{yx} es la matriz ($q \times p$) de correlaciones entre las q variables y y las variables x .

El coeficiente de redundancia para explicar el conjunto de las variables y con las variables $X' \alpha$ es el valor promedio al cuadrado de las correlaciones entre las y y la variable indicadora $X' \alpha$ es decir:

$$CR(y|x' \alpha) = \frac{1}{q} \alpha' R_{yx} R_{xy} \alpha \tag{7}$$

Si tenemos $r = \min(p; q)$ combinaciones lineales

$$X' \alpha_1, \dots, X' \alpha_r \tag{8}$$

la redundancia total para explicar el conjunto de las variables y con el conjunto de las variables X a través de estas combinaciones lineales es:

$$R(y|x) = \sum_{i=1}^r CR(y|x' \alpha_i) \tag{9}$$

Se puede demostrar que:

$$R(y|x) = \frac{tr(R_{yx} R_{yy}^{-1} R_{xy})}{tr(R_{yy})} \tag{10}$$

Y esto puede escribirse como:

$$R(y|x) = \sum_{i=1}^r \frac{1}{q} R_j^2 \tag{11}$$

Donde R_j^2 es el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado en una regresión entre la variable y_i y el conjunto de variables X .

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. PATRONES DE PRECIPITACIÓN VS INDICES MACROCLIMÁTICOS.¹

La tabla 1 de valores propios para los índices Macro-climáticos y las estaciones con patrones de precipitación, indican que las variables canónicas necesarias para las

correlaciones entre índices Macro-climáticos y los Patrones de Precipitación, son 4, con ellas se explica el 80.073% de la variabilidad.

Valores propios:

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor propio	0.459	0.294	0.262	0.227	0.136	0.102	0.055	0.015
Variabilidad (%)	29.570	18.938	16.909	14.657	8.796	6.585	3.555	0.992
acumulado	29.570	48.508	65.416	80.073	88.869	95.454	99.008	100.000

Tabla 1 Valores Propios de las Correlaciones canónicas Índices Vs Precipitación

La figura 1 muestra las variables canónicas necesarias para explicar la mayor cantidad de variabilidad. A diferencia del ACP quien usa los valores propios mayores que uno para indicar cuantas componentes son necesarias, el ACC usa los valores propios para indicar cuantas variables canónicas producto de las combinaciones lineales, son necesarias para explicar la mayor varianza de las correlaciones entre grupos de variables.

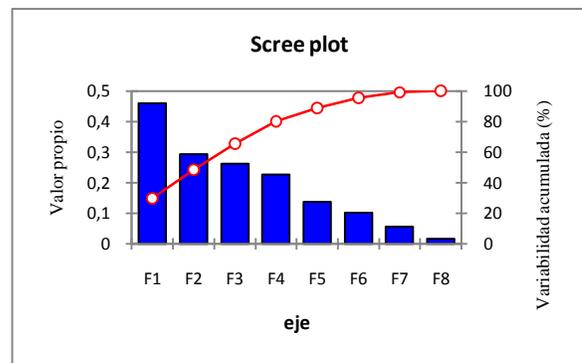


Figura 1 Valores Propios y Variabilidad Acumulada

Prueba del Lambda de Wilks:

Lambda	F	GDL1	GDL2	Pr > F
0.157	1.782	264	1754.54059	< 0.0001
0.290	1.366	224	1547.67174	0.001
0.411	1.168	186	1337.04981	0.073
0.557	0.939	150	1122.66917	0.682
0.721	0.668	116	904.587918	0.997
0.835	0.504	84	682.949728	1.000
0.930	0.312	54	458	1.000
0.985	0.138	26	230	1.000

Tabla 2 Estadístico de Prueba De Lambda Wilks

Al examinar la prueba Lambda de Wilks, presentada en la tabla 2 con nivel de significancia del 0.05, se observa que solo cuatro combinaciones lineales de las variables independientes (Índices Macro-climáticos), y Dependientes (Patrones de Precipitación), presentaran máxima correlación

¹ Los resultados del análisis de Correlación Canónica, fueron obtenidos con el paquete XLSTAT 2010

La tabla 3 de las correlaciones de las ocho variables canónicas generadas, refleja al igual que la tabla anterior, que sólo cuatro variables canónicas presentan correlación Máxima.

Correlaciones canónicas:

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
0.677	0.542	0.512	0.477	0.369	0.320	0.235	0.124

Tabla 3 Correlaciones Canónicas

Los coeficientes de redundancia de ambos grupos de variables canónicas, presentados en la tabla 4 y 5, revelan el poder explicativo de las combinaciones linealmente independientes de cada variable canónica, observándose lo siguiente:

Las variables (Y1), que en este caso son los índices Macro-climáticos, presentan un mayor nivel de explicación para las variables (Y2), (Precipitación); en cambio al examinar los coeficiente de redundancia de la variable (Y2), que en nuestro caso son Las estaciones con Patrones de Precipitación, se observa que estos tienen poco poder explicativo para las variables(Y1).

Coeficientes de redundancia (Y1):

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Suma
0.254	0.029	0.007	0.023	0.016	0.003	0.002	0.001	0.334

Coeficientes de redundancia (Y2):

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Suma
0.051	0.012	0.009	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.088

Tabla 4 y 5 coeficiente de redundancia de los dos grupos de variables.

Los Coeficientes Canónicos Estandarizados, presentados en la tabla 6, permitirán construir las combinaciones lineales de cada una de las cuatro variables canónica que resultaron ser significativas. En consecuencia, para las variables Us, tendremos:

$$U_1 = (-0.148*NAO + 0.447*PDO + 0.488*ONI - 0.042*MEI + 0.430*NIÑO1+2 - 0.075*NIÑO3 - 0.304*NIÑO3.4 + 0.327*NIÑO4)$$

$$U_2 = (-0.076*NAO + 0.119*PDO - 0.614*ONI + 1.471*MEI + 0.331*NIÑO1+2 - 0.220*NIÑO3 - 0.614*NIÑO3.4 - 0.680*NIÑO4)$$

$$U_3 = (0.183*NAO + 0.528*PDO - 5.381*ONI + 1.104*MEI - 1.465*NIÑO1+2 + 3.275*NIÑO3 + 0.061*NIÑO3.4 + 2.096*NIÑO4)$$

$$U_4 = (-0.249*NAO + 0.9858*PDO + 2.502*ONI - 1.8664*MEI + 0.499*NIÑO1+2 - 1.260*NIÑO3 - 0.174*NIÑO3.4 - 0.538*NIÑO4)$$

Las anteriores variables Canónicas Us. Revelan los pesos de las combinaciones lineales, para cada uno de los índices que maximizan la correlación con las variables Canónicas Vs, de las respectivas estaciones con patrones de precipitación.

Coeficientes canónicos estandarizados (Y1):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
NAO	0.148	0.076	0.183	0.249	0.934	0.089	0.188	0.060
PDO	0.447	0.119	0.528	0.985	0.113	0.021	0.084	0.027
ONI	0.488	0.614	5.381	2.502	0.862	1.704	0.460	0.876
MEI	0.042	1.471	1.104	1.866	0.403	2.204	0.834	0.309
NIÑO1+2	0.430	0.331	1.465	0.499	0.746	1.490	0.913	0.587
NIÑO3	0.075	0.220	3.275	1.260	1.352	0.751	2.713	1.241
NIÑO3.4	0.304	0.614	0.061	0.174	0.368	0.547	0.175	2.311
NIÑO4	0.327	0.680	2.096	0.538	0.007	1.628	0.879	0.143

Tabla 6 coeficientes canónicos estandarizados para los índices.

Las combinaciones lineales de las variables Canónicas Vs se presentan a continuación²:

$$V_1 = (-0.311*VUELTA - 0.250*CARMENDEATRAT + 0.091*GUADUAS - 0.288*PINON + 0.185*CERTEGUI + 0.026*MANAGRU + 0.244*LLORO + 0.018*SAN ISIDRO - 0.147*TUTUNENDO - 0.107*APTO EL CARANO - 0.095*TAGACHI + 0.090*BETE - 0.112*BUEY EL - 0.048*CALAORRA + 0.507*ALTO DEL BUEY - 0.017*LOMABOJAYA + 0.075*OPOGADO + 0.088*TERESITA - 0.103*SAUTATA - 0.028*ACANDI + 0.196*ANDAGOYA - 0.110*NOVITA - 0.030*VALENCIALADI - 0.060*SINAI - 0.339*CONDOTO - 0.027*BEBEDO + 0.038*APTOCONDOTO - 0.018*ALBAN - 0.107*NOANAMA - 0.323*PALESTINA - 0.145*PIE DE PATO - 0.074*PIE DE PEPE - 0.387*PANAMERICANA)$$

$$V_2 = (0.042*VUELTA + 0.010*CARMENDEATRAT + 0.456*GUADUAS - 0.248*PINON + 0.018*CERTEGUI + 0.010*MANAGRU + 0.083*LLORO + 0.168*SAN ISIDRO - 0.111*TUTUNENDO - 0.168*APTO EL CARANO - 0.352*TAGACHI - 0.063*BETE + 0.118*BUEY EL + 0.170*CALAORRA + 0.508*ALTO$$

² La tabla de estas variables no se muestran en este documento dado que su tamaño es demasiado grande y no se ajusta al formato de la revista.

$$\begin{aligned}
 & \text{DEL BUEY} -0.010 * \text{LOMABOJAYA} -0.093 * \text{OPOGADO} \\
 & -0.112 * \text{TERESITA} + 0.052 * \text{SAUTATA} -0.071 * \text{ACANDI} - \\
 & 0.269 * \text{ANDAGOYA} -0.113 * \text{NOVITA} + \\
 & 0.114 * \text{VALENCIALADI} -0.077 * \text{SINAI} + \\
 & 0.551 * \text{CONDOTO} + 0.055 * \text{BEBEDO} - \\
 & 0.062 * \text{APTOCONDOTO} + 0.030 * \text{ALBAN} - \\
 & 0.291 * \text{NOANAMA} -0.235 * \text{PALESTINA} + 0.101 * \text{PIE DE} \\
 & \text{PATO} -0.048 * \text{PIE DE PEPE} -0.173 * \text{PANAMERICANA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{3=} & (-0.163 * \text{VUELTA} + 0.022 * \text{CARMENDEATRAT} + \\
 & 0.276 * \text{GUADUAS} + 0.097 * \text{PINON} + 0.027 * \text{CERTEGUI} \\
 & + 0.013 * \text{MANAGRU} + 0.202 * \text{LLORO} -0.234 * \text{SAN} \\
 & \text{ISIDRO} -0.490 * \text{TUTUNENDO} + 0.500 * \text{APTO EL} \\
 & \text{CARANO} + 0.135 * \text{TAGACHI} -0.054 * \text{BETE} + \\
 & 0.143 * \text{BUEY EL} + 0.120 * \text{CALAORRA} -0.016 * \text{ALTO} \\
 & \text{DEL BUEY} -0.092 * \text{LOMABOJAYA} + \\
 & 0.039 * \text{OPOGADO} -0.002 * \text{TERESITA} - \\
 & 0.012 * \text{SAUTATA} + 0.040 * \text{ACANDI} -0.275 * \text{ANDAGOYA} \\
 & + 0.283 * \text{NOVITA} + 0.386 * \text{VALENCIALADI} - \\
 & 0.205 * \text{SINAI} -0.478 * \text{CONDOTO} -0.112 * \text{BEBEDO} - \\
 & 0.106 * \text{APTOCONDOTO} -0.186 * \text{ALBAN} \\
 & 0.290 * \text{NOANAMA} + 0.066 * \text{PALESTINA} + 0.256 * \text{PIE} \\
 & \text{DE PATO} + 0.090 * \text{PIE DE PEPE} - \\
 & 0.178 * \text{PANAMERICANA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{4=} & (-0.370 * \text{VUELTA} + 0.419 * \text{CARMENDEATRAT} - \\
 & 0.440 * \text{GUADUAS} -0.174 * \text{PINON} + 0.009 * \text{CERTEGUI} \\
 & + 0.679 * \text{MANAGRU} + 0.378 * \text{LLORO} -0.124 * \text{SAN} \\
 & \text{ISIDRO} + 0.108 * \text{TUTUNENDO} + 0.018 * \text{APTO EL} \\
 & \text{CARANO} -0.190 * \text{TAGACHI} -0.050 * \text{BETE} - \\
 & 0.125 * \text{BUEY EL} + 0.108 * \text{CALAORRA} + 0.120 * \text{ALTO} \\
 & \text{DEL BUEY} + 0.049 * \text{LOMABOJAYA} + \\
 & 0.144 * \text{OPOGADO} + 0.131 * \text{TERESITA} + \\
 & 0.321 * \text{SAUTATA} -0.223 * \text{ACANDI} + \\
 & 0.162 * \text{ANDAGOYA} -0.073 * \text{NOVITA} + \\
 & 0.081 * \text{VALENCIALADI} + 0.135 * \text{SINAI} - \\
 & 0.371 * \text{CONDOTO} + 0.207 * \text{BEBEDO} + \\
 & 0.185 * \text{APTOCONDOTO} -0.037 * \text{ALBAN} - \\
 & 0.138 * \text{NOANAMA} -0.138 * \text{PALESTINA} -0.221 * \text{PIE DE} \\
 & \text{PATO} -0.253 * \text{PIE DE PEPE} - \\
 & 0.023 * \text{PANAMERICANA}
 \end{aligned}$$

Las anteriores combinaciones lineales de las variables canónicas Vs, muestran los pesos para cada estación con patrones de precipitación mensual que maximizan la correlación con las variables canónicas Us generadas por los Índices.

De igual manera, al observar la Correlaciones entre las variables de entrada y las variables canónicas (Y1), presentadas en la tabla 7, es evidente, que el valor relativo de correlación de todas las variables a excepción de la variable NAO, quien presenta valor de -0.151, son altos con valores superiores a 0.70

Correlaciones entre las variables de entrada y las variables canónicas (Y1):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
NAO	0.151	0.013	0.121	0.112	0.934	0.072	0.199	0.182
PDO	0.715	0.233	0.306	0.469	0.167	0.204	0.117	0.196
ONI	0.848	0.381	0.147	0.269	0.024	0.166	0.113	0.021
MEI	0.887	0.010	0.047	0.381	0.028	0.216	0.037	0.131
NIÑO1+2	0.768	0.366	0.218	0.311	0.107	0.283	0.183	0.083
NIÑO 3	0.852	0.117	0.109	0.344	0.015	0.004	0.360	0.032
NIÑO3.4	0.735	0.341	0.062	0.284	0.001	0.165	0.185	0.444
NIÑO4	0.728	0.582	0.056	0.271	0.020	0.058	0.218	0.053

Tabla 7 Correlaciones Entre las Variables de Entradas Y las Variables Canónicas de Los Índices

La figura 2, exhibe que los índices Macro-climáticos, están negativamente correlacionados con los patrones de precipitación inmersos en cada una de las estaciones, excepto el índice NAO, quien presenta correlación positiva. Lo anterior permite Aseverar que Para valores Grandes de los índices (PDO, ONI, MEI, NIÑO1+2, NIÑO3, NIÑO3.4 Y NIÑO4), en sus fases positiva, se tendrá bajos niveles de precipitación.

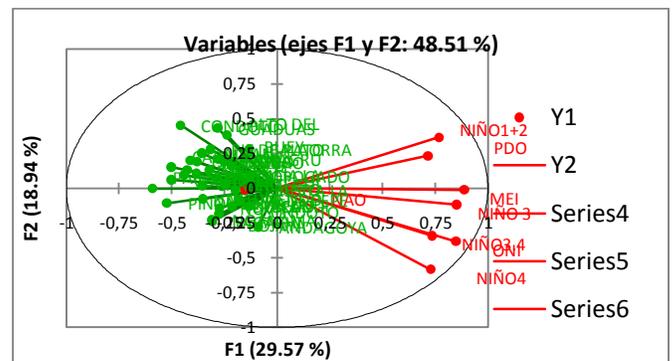


Figura 2 correlaciones Canónicas Entre Los Dos Grupos De Variables

Los coeficientes de adecuación de ambos grupos de variables canónicas, presentados en la tabla 8, se deja observar que las cuatros primeras variables canónicas en ambos grupos son las que mejor peso tienen para adecuarse al modelo.

Se observa, que el mejor valor de adecuación, en ambas variables, lo presenta la variable canónica U1, con un valor de 0.553. Esto se traduce en la mejor combinación lineal del modelo, donde los índices que mayor ponderación presentan son: PDO; ONI; y NIÑO 1+2; es decir que el comportamiento de la precipitación en el

1. Las notas de pie de página deberán estar en la página donde se citan. Letra Times New Roman de 8 puntos

departamento del Chocó, se explica por valores altos y positivos de la Oscilación pacífico decadal, el índice oceánico del NIÑO, y de los valores de la oscilación NIÑO1+2, todo esto convertido en altas temperaturas superficial del mar y niveles bajos de presión como lo muestra la variable canónica.

$$U_1 = (-0.148 * NAO + 0.447 * PDO + 0.488 ONI - 0.042 * MEI + 0.430 * NIÑO1+2 - 0.075 * NIÑO 3 - 0.304 * NIÑO3.4 + 0.327 NIÑO4)$$

Coefficientes de adecuación de las variables canónicas (Y1):

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
0.553	0.100	0.025	0.102	0.114	0.029	0.039	0.037

Coefficientes de adecuación de las variables canónicas (Y2):

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
0.112	0.041	0.033	0.033	0.032	0.024	0.022	0.020

Los Cosenos Cuadrados, de las variables Canónicas Us, de la tabla 9, dejan entrever, que en la variable Canónica U_1 , se encuentran los índices que han aportando mayor cantidad de varianza, lo que es lógico por la filosofía del Análisis de Correlación Canónica; por consiguiente, los índices de mayor varianza aportada son: MEI; ONI y NIÑO 3 con valores mayores a 0.70.

Cosenos cuadrados (Y1):

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
NAO	0.023	0.000	0.015	0.013	0.872	0.005	0.040	0.033
PDO	0.511	0.054	0.093	0.220	0.028	0.042	0.014	0.039
ONI	0.719	0.145	0.022	0.072	0.001	0.028	0.013	0.000
MEI	0.787	0.000	0.002	0.145	0.001	0.046	0.001	0.017
NIÑO1+2	0.590	0.134	0.048	0.097	0.011	0.080	0.033	0.007
NIÑO 3	0.725	0.014	0.012	0.118	0.000	0.000	0.130	0.001
NIÑO3.4	0.541	0.116	0.004	0.080	0.000	0.027	0.034	0.197
NIÑO4	0.531	0.339	0.003	0.073	0.000	0.003	0.048	0.003

Tabla 9 Cosenos cuadrados de los Índices Macro climáticos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El efecto de las variables Macro-climáticas en los patrones de precipitación los reveló con gran potencia la

técnica de correlación canónica, quien estableció que estas variables presentan altas correlaciones inversas con los patrones de precipitación excepto con la variable NAO, con quien presenta correlación positiva, variable cuya naturaleza se deriva de los niveles de presión del mar, y altas correlaciones positivas con los patrones de temperatura, excepto la variable NAO, con quien presenta correlación inversa, observándose también que las variaciones del índice NAO, afectan con fuerza la zona costera del departamento.

Esta misma técnica, logró establecer, que para los estudios de pronósticos de las tendencias de los valores de precipitaciones en el departamento, solo es necesario hacer uso de los índices (NIÑO1+2, ONI y PDO), por ser los que presentan altas correlaciones y mayor poder explicativo, y las estaciones que deben incluirse en el modelo son (Pinol, Teresita, Vuelta, y Condoto), por ser las estaciones que mayor correlación presentan y la que mayor variabilidad expresan, estaciones ubicadas en la región sur central del departamento, zona donde se presentan altos episodios de lluvias.

Se logró determinar que los índices que mayor ponderación presentan en la explicación de los cambios de precipitación en el departamento, son los índices PDO, ONI, y NIÑO 1+2, descubriendo que los cambio de precipitación, se explican por valores altos y positivos de la Oscilación pacífico decadal (PDO), el índice oceánico del NIÑO (ONI), y de los valores de la oscilación NIÑO1+2, traducido en que para altas temperatura superficial del mar y niveles bajos de presión, los niveles de precipitación serán bajos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Peña, D. 2002. Análisis de Datos Multivariantes. Madrid: McGraw Hills/Interamericana de España.
- [2] PÉREZ LÓPEZ, César, Técnicas de Análisis Multivariante de Datos, Aplicaciones con SPSS, Madrid, Universidad Complutense de Madrid."
- [3] JORGE URRUTIA. Tesis de Maestría, Aplicación de Análisis Multivariado en la Determinación de la incidencia de variables Macroclimáticas en Patrones de Precipitación y Temperatura 2010.
- [4] FRANCISCO SOLEY, Aplicación de Análisis Multivariado al Campo de Anomalías de la Precipitación en Centro America.
- [5] Tomado y Adaptado de Curso de Análisis Técnico Avanzado online Disponible en <http://www.cesma.usb.ve/~lbravo/co6111/clase3.pdf>