

## Evaluación estadística de las variables meteorológicas en el área de influencia del Centro Nuclear RACSO

José Osoreo\*, Aurelio Anaya

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Este reporte presenta el establecimiento de una base de datos y evaluaciones estadísticas básicas de variables meteorológicas registradas entre los años 1995-2012. Los resultados muestran una prevalencia del viento en dirección SSO a NNE y un incremento gradual de la temperatura. Los valores promedio para este período son los siguientes:  $20,18 \pm 3,18$  °C para temperatura media,  $24,15 \pm 3,89$  °C para las temperaturas máximas,  $15,83 \pm 2,85$  °C para las temperaturas mínimas,  $956,2 \pm 2,8$  mbar para presión atmosférica y  $77,63 \pm 6,63$  % para humedad relativa.

### Statistical evaluation of meteorological variables in the area of influence of the Nuclear Center RACSO

#### Abstract

This report presents the establishment of a database and basic statistical evaluations of meteorological variables recorded between the years 1995-2012. The results show prevalence wind SSW towards NNE and a gradual increase in temperature. The average values for this period are:  $20,18 \pm 3,18$  °C average temperature,  $24,15 \pm 3,89$  °C for maximum temperatures,  $15,83 \pm 2,85$  °C for minimum temperatures,  $956,2 \pm 2,8$  mbar to atmospheric pressure and  $77,63 \pm 6,63\%$  for relative humidity.

## 1. Introducción

El Instituto Peruano de Energía Nuclear cuenta con la Estación Climatológica Ordinaria (ECO) Huarangal, la que se mantiene operativa desde 1980 con el apoyo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI). Esta estación cuenta con equipos convencionales para la medición de las variables meteorológicas: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, dirección de viento, velocidad de viento y presión atmosférica, que permiten llevar el control permanente en el área de influencia del Centro Nuclear RACSO. La información obtenida es de utilidad para estudios de dispersión atmosférica y aplicable a los potenciales casos de emergencia radiológica [1]. Se trata de un sistema capaz de proporcionar valores de las variables atmosféricas, para que las instalaciones nucleares y radiactivas del emplazamiento elaboren el cálculo de las concentraciones y el análisis de su dispersión, en caso de que llegaran a presentarse emisiones de radionúclidos a la atmósfera; también contribuye en la adecuación y afinación del plan de

emergencia en caso de accidentes radiológicos con la evaluación del posible alcance y área de impacto [2].

La velocidad y dirección del viento son las principales variables utilizadas por los diferentes modelos de dispersión de radionucleídos; sin embargo, es importante considerar que su comportamiento también es afectado por otras variables como la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, tensión de vapor entre otras, razón por la cual es conveniente contar con una adecuada base de datos históricos que puedan ser de fácil acceso a los diferentes grupos de investigación del centro nuclear.

## 2. Metodología

Se llevó a cabo la revisión y depuración de registros meteorológicos colectados entre los años 1995 y 2002 para luego incorporarlos en una base de datos mediante el empleo del programa estadístico SPSS.

Para la elaboración de la rosa de vientos se utilizaron únicamente datos del año 2012 por

---

\* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

ser la información más relevante para los modelos de dispersión atmosférica, la información fue clasificada por trimestres a fin de evaluar el comportamiento de estas variables en función de los períodos estacionales del año.

Los registros de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa fueron evaluados en conjunto para el período 1995-2012 y además clasificados en series de tiempo, tomando como fuentes de comparación estadística los años y los meses. La evaluación estadística de estas variables consistió en análisis gráficos, determinación de estadísticas descriptivas, análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan [3], con un nivel de significación del 95 %.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Dirección y velocidad de viento

Para determinar la dirección de viento preponderante se elaboró una rosa de vientos por cada trimestre del año 2012.

Durante el primer trimestre se observa la mayor velocidad de viento durante el año 2012, con valores entre 6,0 y 7,5 metros por segundo y una preponderancia del 16 % para la dirección SSO (Figura 1).

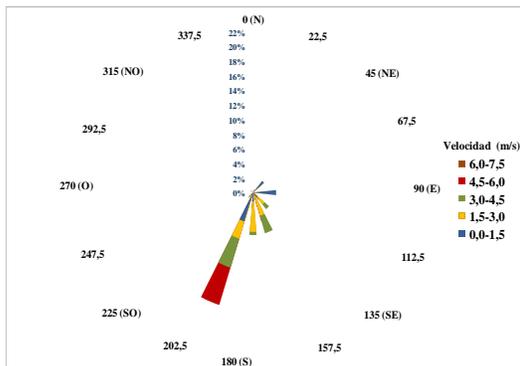


Figura 1. Rosa de vientos – Primer Trimestre 2012.

Para el segundo trimestre la velocidad del viento baja a valores comprendidos entre 1,5 y 3,0 metros por segundo presentando una mayor preponderancia de la dirección SSO con un 21 % (Figura 2).

Durante el tercer trimestre, correspondiente a los meses de invierno, la velocidad del viento tiende a aumentar ligeramente dentro de un rango comprendido entre 3,0 y 4,5 metros por segundo pero la preponderancia continua

con su fuerte tendencia en dirección SSO de hasta 17 % (Figura 3).

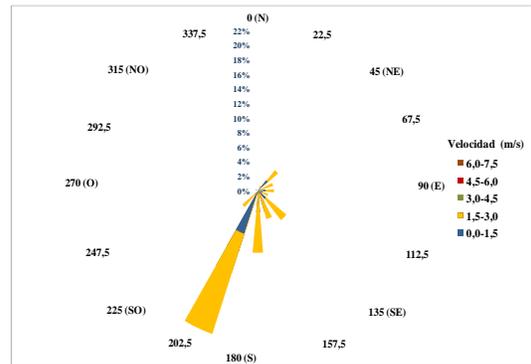


Figura 2. Rosa de vientos – Segundo Trimestre 2012.

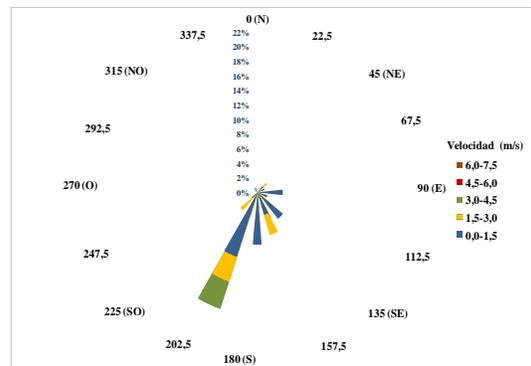


Figura 3. Rosa de vientos – Tercer Trimestre 2012.

Durante el cuarto trimestre continua la misma preponderancia del viento (SSO) con una ligera disminución de la velocidad del viento (Figura 4).

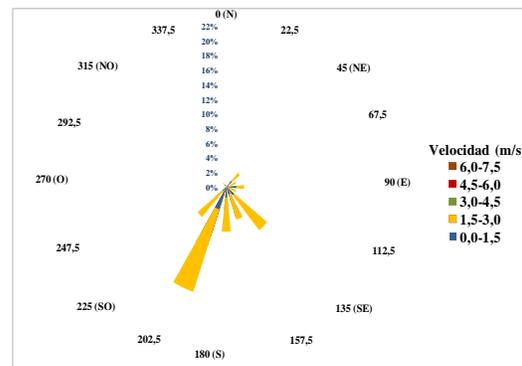


Figura 4. Rosa de vientos – Cuarto Trimestre 2012.

Se puede observar que durante todo el año, no se presentaron evidencias de que la dirección del viento preponderante en el centro nuclear cambie en sentido contrario a las direcciones SSO, S y SSE las cuales se manifiestan en diferente grado durante todo el 2012. Por otro lado, los resultados indican

que durante los meses más calurosos del año la velocidad del viento tiende a aumentar significativamente con respecto a los demás trimestres.

### 3.2. Temperatura

Los registros de temperatura comprendidos entre los años 1995 y 2012 muestran una temperatura media de  $20,18 \pm 3,18 \text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 5).

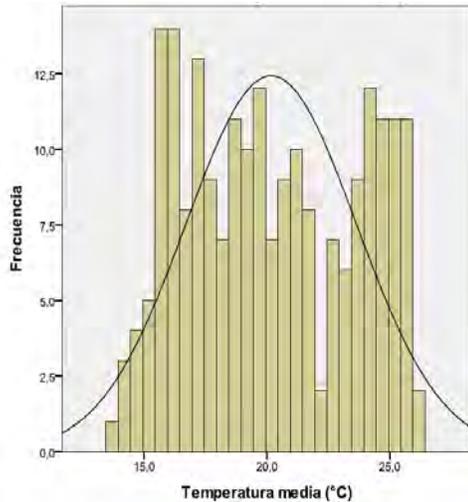


Figura 5. Temperatura media (1995-2012).

Las temperaturas extremas comprendidas para el mismo período de tiempo presentaron valores de  $24,15 \pm 3,89 \text{ }^\circ\text{C}$  para las temperaturas máximas (Figura 6) y  $15,83 \pm 2,85 \text{ }^\circ\text{C}$  para las temperaturas mínimas (Figura 7).

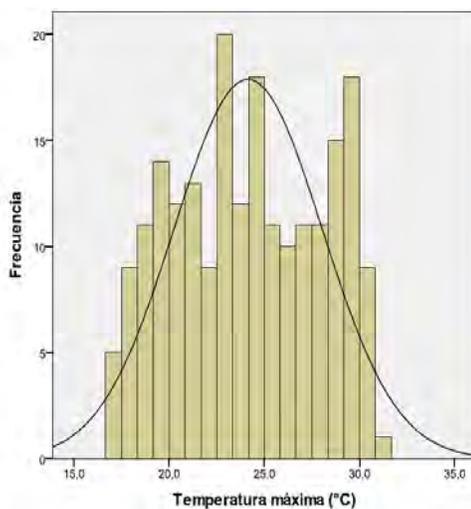


Figura 6. Temperatura máxima (1995-2012).

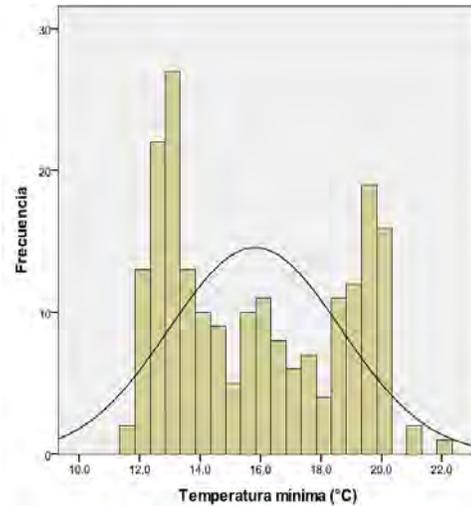


Figura 7. Temperatura mínima (1995-2012).

Se puede observar que las distribuciones de datos tienen diferentes grados de asimetría, siendo mucho mayor la distribución de temperaturas mínimas la cual llega a presentar hasta dos modas. Sin embargo, en las tres variables evaluadas la distribución es de tipo platicúrtica de acuerdo a su grado de curtosis (Tabla 1).

Tabla 1. Estadística descriptiva de los valores de temperatura ambiental (1995-2012).

	Temperatura $^\circ\text{C}$		
	Media	Máxima	Mínima
Media	20,176	24,146	15,825
Error típico	0,2359	0,2689	0,1977
Mediana	19,833	24,120	15,425
Moda	17,0	23,0	12,6
Desviación típica	3,4664	3,8869	2,8518
Varianza	12,016	15,108	8,133
Asimetría	0,122	-0,20	0,264
Curtosis	-1,263	-1,160	-1,400
Mínimo	13,7	16,8	11,6
Máximo	26,2	31,0	22,0

Los análisis de varianza realizados muestran una significancia menor a 0,05 por lo que se evidencia la existencia de diferencias significativas entre los valores de temperatura media y extremas entre los diferentes años y meses del período 1995-2012 (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2. Análisis de Varianza de la Temperatura Media (1995-2012).

Fuente de Variabilidad	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
Año	18	4889,162	4163,634	0,000
Mes	11	215,017	287,288	0,000
Error	187	0,748		

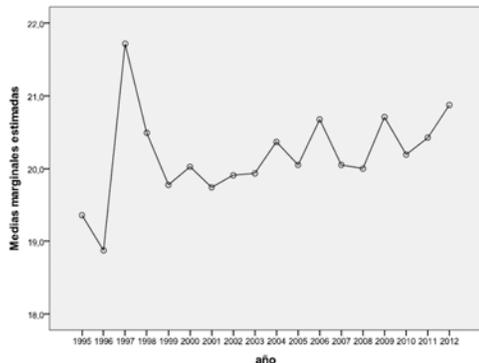
**Tabla 3.** Análisis de Varianza de la Temperatura Máxima (1995-2012).

Fuente de Variabilidad	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
Año	18	6774,377	6741,496	0,000
Mes	11	261,075	259,808	0,000
Error	180	1,005		

**Tabla 4.** Análisis de Varianza de la Temperatura Mínima (1995-2012).

Fuente de Variabilidad	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
Año	18	2898,350	4636,372	0,000
Mes	11	135,820	217,266	0,000
Error	179			

El análisis gráfico de las series de tiempo de las medias marginales de la temperatura media anual, presenta una anomalía durante el año 1997 debido a la aparición del fenómeno El Niño en la zona norte del Perú y que también afectó en cierta magnitud a la costa central [4]. Luego de esta anomalía, se puede observar una tendencia creciente de la temperatura media anual, aumentando en un poco mas de 1,0 °C (Figura 8).



**Figura 8.** Medias marginales estimadas de la temperatura media (Período 1995-2012).

La prueba de Duncan realizada en función de los meses del año, muestra una diferencia significativa para los diferentes meses con excepción de Febrero y Marzo, los cuales de acuerdo con los registros son los más calurosos así como para los meses de julio y agosto, considerados como los más fríos del año. Además, al realizar esta prueba en función de los años del período de estudio solo muestran la temperatura media del año 1997 como significativamente diferente a los

demás años, esto debido a la presencia del Fenómeno El Niño (Figura 9).

Temperatura media (°C)

Duncan<sup>a, b</sup>

año	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
1996	12	18,875					
1995	12	19,358	19,358				
2001	12		19,742	19,742			
1999	12		19,775	19,775			
2002	12		19,908	19,908	19,908		
2003	12		19,933	19,933	19,933		
2008	12		20,000	20,000	20,000		
2000	12		20,025	20,025	20,025		
2005	12		20,050	20,050	20,050		
2007	12		20,050	20,050	20,050		
2010	12			20,192	20,192	20,192	
2004	12			20,367	20,367	20,367	
2011	12			20,425	20,425	20,425	
1998	12			20,492	20,492	20,492	
2006	12				20,675	20,675	
2009	12				20,708	20,708	
2012	12					20,875	
1997	12						21,717
Sig.		,173	,101	,081	,062	,098	1,000

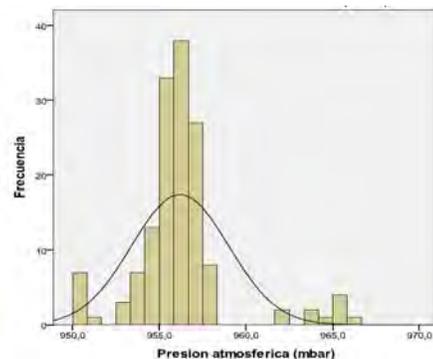
Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática(Error) = ,748. a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12,000 b. Alfa = ,05.

**Figura 9.** Prueba de comparación de Duncan para temperaturas medias anuales (1995-2012).

Si bien el análisis gráfico de series de tiempo de las temperaturas medias manifiesta un incremento gradual de la temperatura, la prueba de Duncan verifica su significancia estadística, agrupando los valores de 1995 y 1996 en un subconjunto menor y distante al grupo donde se encuentran los últimos años del período, entre ellos el 2012.

### 3.3 Presión atmosférica y humedad relativa

Los registros meteorológicos del período 1995-2012 presentan una presión atmosférica promedio de  $956,2 \pm 2,8$  mbar (Figura 10) y una humedad relativa de  $77,63 \pm 6,63$  % (Figura 11).



**Figura 10.** Presión atmosférica (1995-2012).

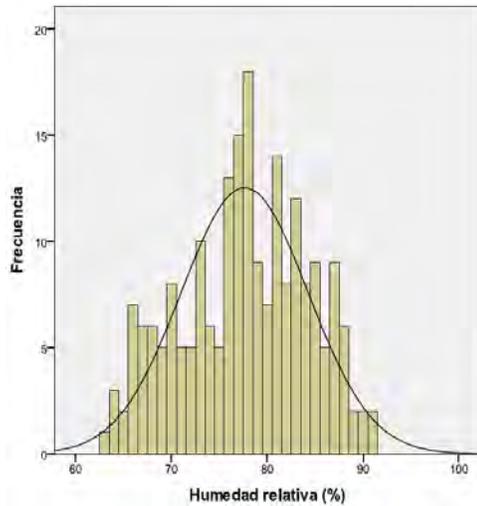


Figura 11. Humedad relativa (1995-2012)

La presión barométrica presenta un fuerte grado de curtosis del tipo leptocúrtica dado que la mayoría de registros se encuentran muy agrupados en la media, moda y mediana, pero no presenta simetría puesto que se observa una ligera tendencia hacia el extremo derecho de la curva. En cambio, la temperatura comprendida dentro del período 1995-2012 presenta una mayor desviación de datos con respecto a su valor medio tendiendo a una mejor simetría de su curva platicúrtica (Tabla 2).

Tabla 5. Estadística descriptiva de los valores de presión atmosférica y humedad relativa (1995-2012).

	Presión atmosférica (mbar)	Humedad relativa (%)
Media	956,196	77,63
Error típico	0,2312	0,460
Mediana	956,1	77,88
Moda	956,4	78
Desviación típica	2,8029	6,628
Varianza	7,856	43,933
Asimetría	1,243	-0,195
Curtosis	4,328	-0,740
Mínimo	950,0	63
Máximo	966,0	91

Durante el período de estudio, ya sea años o meses, las medias marginales estimadas de la presión atmosférica tienden a ser constantes en el rango de 956 mbar. En cambio, la humedad relativa media presenta una tendencia decreciente en función del tiempo (Figura 12), verificando así que esta variable es inversamente proporcional a la tendencia de la temperatura media.

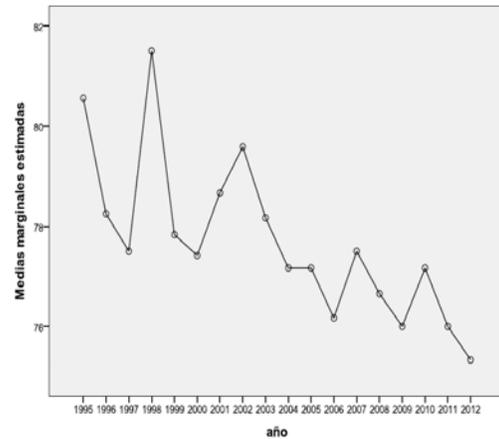


Figura 12. Medias marginales estimadas de la humedad relativa (Período 1995-2012).

El análisis de varianza de la presión atmosférica muestra que para los diferentes meses del año no hay diferencias en los valores registrados durante el período 1995-2012, por otro lado el análisis entre los años asume que al menos un valor es diferente, esto se debe a que dentro de los reportes se registró un valor único de 930 mbar, ligeramente alejado de la media, moda y mediana de esta variable (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de Varianza de la Temperatura Media (1995-2012).

Fuente de Variabilidad	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
Año	14	9565354,606	15212,414	0,000
Mes	11	700,609	1,114	0,356
Error	147	628,786		

La prueba de Duncan muestra una ligera variación de los valores de presión atmosférica entre los años 2003 y 2012, sin embargo, se puede afirmar que esta variable es estable en el tiempo (Figura 13).

año	N	Subconjunto	
		1	2
2003	12	930,658	
2009	2	953,250	953,250
2011	12	953,400	953,400
2005	12	954,667	954,667
2010	8	954,912	954,912
2000	12	955,058	955,058
2002	12	955,592	955,592
2001	12	955,642	955,642
2004	12	956,375	956,375
2007	12	956,383	956,383
2008	6	956,850	956,850
1999	12	957,250	957,250
2006	11	959,782	959,782
2012	12	962,992	
Sig.		,054	,528

Figura 13. Prueba de comparación de Duncan para presión atmosférica (1995-2012).

El análisis de varianza de la humedad relativa confirma la diferencia entre los meses, dado que esta variable depende fuertemente de las estaciones que se presentan durante el año y la diferencia entre años se debe al incremento gradual de la temperatura que interviene en el grado de humedad del ambiente (Tabla 7).

**Tabla 7.** Análisis de Varianza de la Humedad Relativa (1995-2012).

Fuente de Variabilidad	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
Año	18	69676,548	9746,045	0,000
Mes	11	661,856	92,578	0,000
Error	179	7,149		

Para los datos de humedad relativa, la prueba de Duncan los agrupa en 6 subconjuntos, se observa que los años con mayor humedad relativa fueron 1998, 1995 y 2002 los cuales no son significativamente diferentes de los años 2006, 2008, 2009, 2011, 2012 (Figura 14).

año	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
2008	6	74,17					
2012	12	75,33	75,33				
2009	12	76,00	76,00	76,00			
2011	12	76,00	76,00	76,00			
2006	11	76,36	76,36	76,36			
2004	12	77,17	77,17	77,17	77,17		
2005	12	77,17	77,17	77,17	77,17		
2010	12	77,17	77,17	77,17	77,17		
2000	12	77,42	77,42	77,42	77,42	77,42	
1997	12	77,50	77,50	77,50	77,50	77,50	
2007	12	77,50	77,50	77,50	77,50	77,50	
1999	12	77,83	77,83	77,83	77,83	77,83	
2003	12	78,17	78,17	78,17	78,17	78,17	
1996	12	78,25	78,25	78,25	78,25	78,25	
2001	12	78,67	78,67	78,67	78,67	78,67	
2002	12			79,58	79,58		79,58
1995	11				80,00		80,00
1998	12						81,50
Sig.		,084	,066	,052	,076	,053	,110

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
Basadas en las medias observadas.  
El término de error es la media cuadrática(Error) = 7,149.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 11,261  
b. Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.  
c. Alfa = ,05.

**Figura 14.** Prueba de comparación de Duncan para humedad relativa (1995-2012).

#### 4. Conclusiones

Durante el año 2012 la prevalencia del viento se mantiene constante en dirección de SSO a NNE, no llegando a superar los 10 m/s en ninguno de los trimestres evaluados.

En las evaluaciones del período 1995-2012 se verifica una anomalía meteorológica durante el año 1997 coincidente con el fenómeno El Niño; sin embargo, luego de esta anomalía se observa un incremento en la temperatura media mayor a 1,0 °C al finalizar el período.

La humedad relativa presenta la misma tendencia inversa con respecto a la temperatura.

Se ha establecido una base de datos meteorológico para el período 1995-2012, esta información se encuentra disponible a la comunidad científica para evaluaciones de modelos ambientales.

#### 5. Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por su valioso aporte para la implementación de la estación meteorológica del centro nuclear RACSO.

#### 6. Bibliografía

- [1]. Anaya A, Osore J, Gonzáles S, López E. Estación Meteorológica de Huarangal. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2003. Lima: IPEN; 2004. p. 120.
- [2]. Rivero T, Ramírez R, Bucio FJ, Rojas P. Torre meteorológica del ININ. Contacto Nuclear. 2008; 52:12-14.
- [3]. Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 1955; 11:1-42.
- [4]. Aceituno P. El Fenómeno El Niño 1997-1998. Bull. Inst. Fr. Études Andines. 1998, 27(3):443-448.