

## VARIABILIDAD DE LAS CONDICIONES HÍDRICAS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA, ARGENTINA

Beatriz Scian

Dto. Agronomía, UNS, Bahía Blanca, Argentina, e-mail: mtscian@criba.edu.ar

### RESUMEN

En este trabajo se analizan las variaciones inter e intra-anales de la precipitación mensual para el período 1911-1999, en la región semiárida pampeana (RESAP) de Argentina. Sobre la base de un cambio en las condiciones climáticas, se estudian las precipitaciones por décadas, sobre el registro total de datos y por bandas espectrales de mayor energía en función de los ciclos por año. Haciendo uso del Índice de Precipitación Estandarizado a escala de 3 meses (IPE3), se analiza estadísticamente la ocurrencia de exceso o déficit de precipitación así como su duración para seis subregiones de la RESAP. Se determinan los porcentajes del área bajo distintas condiciones hídricas encontrándose que existe entre un 5% y 10% de aumento en las categorías de humedad débil y moderada del fin del período, a expensas de una disminución de las condiciones secas. Se confirma que la variabilidad en los rendimientos de trigo está ligada a las variabilidades hídricas durante su ciclo de cultivo que afectan a las subregiones del sur, sin ser esto consecuencia de variabilidad climática sino una característica de la región.

**Palabras clave:** anomalías de precipitación-trigo-Región semiárida pampeana-Argentina.

### ABSTRACT

In this paper inter and intra-annual monthly rainfall variability are analyzed for the period 1911-1999 in the semiarid pampean region of Argentina (RESAP). Decadic rainfall characteristics and spectral bands of maximum energy are studied, focused on a change in climatic conditions. The 3-month time scale Standardized Precipitation Index (SPI3) is applied to analyze the frequency and duration of extreme wet or dry conditions, for 6 subregions in the RESAP. Areal percentage under extreme conditions reveals that an increase between 5% to 10% in wet events occurred by the end of the period, on expense of dry conditions. Relation between wheat water requirements and yields are analyzed. It is assessed that yields variability is affected by rainfall variability mainly in southern RESAP subregions, being a regional characteristic and not a consequence of climatic variability.

**Key Words:** rainfall anomalies-wheat-Semiarid pampean region-Argentina.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las regiones físicas de transición o los bordes entre regiones climáticas húmedas y secas se caracterizan por su mayor variabilidad inter-annual en los elementos que condicionan su clima. Esto ocurre en la región conocida como Semiárida pampeana o pampa seca Argentina (RESAP) que comprende el sector oeste de la región pampeana y deja hacia el este a la pampa húmeda propiamente dicha. La RESAP basa su economía en la producción agropecuaria y por ende está fuertemente ligada a la disponibilidad de agua, cuya fuente primordial es la precipitación. Mucho se ha estudiado y escrito sobre las características de su clima, suelo, productividad y agro-economía (Burgos 1963, Burgos y Forte Lay 1978, Roberto, *et al.* 1994, Moscatelli G.

e I. Puentes 1996, Pizarro 1999). Uno de los primeros trabajos sobre el problema de las sequías en la región fue encarado por Prohaska (1960) quien enfatiza en su definición de zona semiárida su característica de “pertenecer un par de años a zonas húmedas y otros a zonas áridas, alternándose en forma irregular”. Por el contrario, el problema de las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires tanto en la cuenca del Río Salado como del Vallimanca, fue exhaustivamente estudiado por el ingeniero Podestá (1940).

La ocurrencia de un año lluvioso o no, en el centro de Argentina se asocia a anomalías de la dinámica de los sistemas atmosféricos sobre las grandes cuencas oceánicas (González y Barros 1996, Grimm *et al.* 2000), la intensificación de una corriente en chorro en capas bajas en la planicie chaco-paraguaya al este de los Andes (Nicolini y Saulo 1995, Paegle 1998) responsable de la introducción de vapor de agua de origen amazónico y la otra fuente de vapor de agua proveniente del Océano Atlántico (Wang y Paegle 1996), así como a la conexión con anomalías de la circulación atmosférica de gran escala del tipo fenómeno de El Niño, (Pittock 1980, Vargas *et al.* 1999, Grimm *et al.* 2000).

En el análisis de ciclos húmedos y secos en la RESAP, enfocado mediante la aplicación del Índice de Severidad de Sequía de Palmer, Scian y Donnari (1997) encontraron que los periodos secos, húmedos y normales ocurren un 38%, 32% y 30% del tiempo, respectivamente. Climáticamente no hay marcadas diferencias en parámetros como la temperatura media entre el norte y el sur de la región (Casagrande y Vergara, 1996). Sin embargo, la distribución de las lluvias varía con máximos anuales en el norte (940mm) y mínimos hacia el sur y oeste (355mm). Además, el comportamiento observado de las precipitaciones en algunas localidades de la región, a través de los años difiere de un lugar a otro, afectando básicamente la productividad debido a las condiciones alternantes de sequía o de anegamiento así como deterioros del suelo por erosión hídrica y eólica. No sólo esta región, sino toda la región Pampeana sufrió de unas condiciones hídricas excepcionales debido al incremento de la precipitación desde la década del 70, mencionada y analizada en numerosa bibliografía así como los aspectos negativos en lo referente a inundaciones y a la falta de eficiencia de algunas obras hidráulicas (Vargas, 1987).

Desde la fitogeografía la RESAP comprende parte de las provincias pampeana y del espinal. A su vez es concurrente con la llamada Región ecológica triguera V Sur, que resulta ser la subregión más importante de las siete subregiones en que se ha dividido la región triguera de Argentina (INTA, 1981). Esta subregión aporta el 26.5% del volumen nacional de trigo en un área que representa el 20.6% del total de los rendimientos promedios más altos del país (Pizarro, 1999).

Las estimaciones regionales de la variación de la precipitación mensual obtenidas a partir de los resultados de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera dan como respuesta a la duplicación del CO<sub>2</sub>, una variación de lluvias negativa y mayor en las estaciones de verano y otoño (en Cap. IV, Magrin 1997). Ante estas perspectivas, en la medida que se conozca mejor la variabilidad de la precipitación en la región, se estará en mejores condiciones de enfrentar la situación de un cambio climático. El objetivo de este trabajo se relaciona con el grado de homogeneidad de la región

semiárida pampeana, las variabilidades en sus ciclos húmedos y secos y la repercusión en la economía regional.

En este estudio se comienza analizando la región semiárida pampeana sobre la base del Índice de Aridez, luego se estudia la variabilidad inter-anual, decádica, intra-anual y la periodicidad de las lluvias durante gran parte del siglo XX, se categoriza para cada subregión los extremos secos y húmedos mediante condiciones del Índice de Precipitación Estandarizado a escala 3 meses (IPE3) y se determina la duración y magnitud de dichas condiciones así como las anomalías entre comienzo y fin del registro de datos. Finalmente, la productividad de cada cluster durante parte del período se analiza para el trigo.

## **2. METODOLOGÍA Y DATOS EMPLEADOS**

Al hacer una caracterización climática se deben establecer aquellas condiciones que adoptan las variables meteorológicas en su valor más probable estadísticamente es decir valores correspondientes a la esperanza matemática, o a un nivel de probabilidad previamente establecido. La fluctuación entre los valores observados de año en año, se ven reflejados en el desvío estándar de la variable. Cuando la variable en cuestión es la precipitación que tiene una distribución muy asimétrica según las escalas de tiempo, con un límite inferior de cero y extremo positivo variable, se suele aproximar la distribución de la lluvia mensual a una función teórica tipo Gamma, log-normal, raíz cúbica o Gamma incompleta. El empleo de anomalías de la variable es también adecuado cuando se trata de determinar la probabilidad de ocurrencia de un suceso extremo, que precisamente por ser excepcional debe estar restringido a ocurrir bajo condiciones muy "raras", para lo cual se deben fijar valores umbrales de baja probabilidad de ocurrencia.

El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) tal como lo definen Edwards y McKee (1997), se emplea en este trabajo para establecer los niveles de condiciones hídricas extremas, secas y húmedas, para lo cual se extendió la clasificación a los valores positivos y se muestra en la Tabla 1. El IPE se calcula a partir de una serie de precipitación mensual de al menos 30 años de registros continuos. Se obtienen nuevas series donde cada dato mensual es reemplazado por el total acumulado de los t-1 meses anteriores que incluyen al presente mes. Los períodos seleccionados son variables y t es un parámetro que puede fijarse en 1, 3, 6, 12...meses, asociados a las distintas escalas típicas que corresponden a los tipos de sequías. En particular la escala de 3 meses es la relacionada con las sequías agronómicas.

La función Gamma para ajustar las distribuciones de precipitación mensual fue reconocida por Forte Lay y otros (1984), como una de las de mejor ajuste para la región. Se la emplea para ajustar los datos históricos y para definir las relaciones entre probabilidad y precipitación. Es decir que para cada valor individual de precipitación se calcula la probabilidad acumulada teórica (según una Gamma) y manteniendo la equiprobabilidad se busca a través de la normal inversa el valor de la desviación de la precipitación respecto a una distribución de probabilidad acumulada normal. Esta desviación es el IPE para ese dato particular de precipitación. Este índice tiene por

definición una distribución normal con media cero y desvío estándar igual a la unidad,  $N(0,1)$ , por lo tanto el 86.6% de los casos se ubican entre los valores (-1.5,+1.5) y del resto, se adjudica la mitad a cada uno de los extremos (húmedos: 6.7% y seco: 6.7%). Aquellos meses en los cuales los porcentajes de las condiciones severas y extremas difieran de este valor, estarán expresando anomalías en la ocurrencia de extremos.

**Tabla 1. Categorías de condiciones hídricas según el IPE.**

IPE	Categoría
> 2.0	Humedad extrema
1.99 a 1.50	Humedad severa
1.49 a 1.0	Humedad moderada
0.99 a 0.5	Humedad débil
0.49 a -0.49	Condiciones normales
-0.5 a -0.99	Sequía débil
-1.0 a -1.49	Sequía moderada
-1.5 a -1.99	Sequía severa
< -2.0	Sequía extrema

El Índice de Aridez propuesto por la United Nations Education, Scientific and Cultural Organization, Food and Agriculture Organization (UNESCO-FAO), citado en Hatfield (1990), se expresa como el cociente entre la precipitación y la evapotranspiración anual media. Según sus valores determina las características de aridez de una región estableciéndose los siguientes límites: 0.0 a 0.3 clima desértico o árido, entre 0.3 y 0.5 clima semiárido, entre 0.5 y 0.75 clima subhúmedo y mayor de 0.75 clima húmedo. La evapotranspiración fue calculada según el método de Penman-Monteith empleando, cuando se disponía, los valores climáticos de las variables requeridas de las Estadísticas del SMN (humedad relativa, temperatura media, viento y heliofanía), o las observaciones de dichas variables provistas por las estaciones de INTA.

La ocurrencia de cualquier fenómeno meteorológico, en particular la precipitación, es consecuencia de la superposición de procesos físicos de distintas escalas, ya sea temporales y/o espaciales. Una herramienta muy utilizada en ciencias atmosféricas es el análisis de la información temporal en función de las frecuencias o ciclos por años, pues esta metodología permite determinar sobre que bandas de periodicidad se encuadran los procesos atmosféricos que más energía entregan a la variable estudiada. Se aplicó el análisis espectral clásico de Fourier (FFT) con un suavizado Hamming de 5 puntos, a las series de lluvia promedio areal mensual, previo filtrado del ciclo anual pues es conocido que el mismo representa el pico de mayor energía espectral.

El método de las k-medias (Mac Queen, 1967) se usa para determinar los grupos de localidades mejor asociados que conforman un cluster. Al dividir en clusters se fija

hasta 3 el número mínimo de elementos a fin de que un promedio areal de precipitación del cluster tenga representatividad. Se emplean las fórmulas clásicas de correlaciones de Pearson.

Los datos de precipitación fueron obtenidos del SMN, de la Cátedra de Agrometeorología de la Universidad de La Pampa, y de estaciones de extensión del INTA. A diferencia de las localidades del norte y este de la región pampeana, las series de observación sistemática de lluvia en la región, comienzan en la segunda década de 1900. Según los años, se dispuso de diferente número de datos repartiéndose la información de la siguiente manera: desde 1911 a 1913 el 92%, de 1913 a 1928 el 96%, de 1928 a 1982 el 100%, de 1982 a 1984 el 96%, de 1984 a 1989 el 92% y de 1989 a 2000 el 68%. La disminución en los porcentajes de los últimos años se debe en parte, al levantamiento de estaciones ferroviarias y en consecuencia a la eliminación de las redes pluviométricas conexas. Los rendimientos de trigo fueron obtenidos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación y de la Asociación Argentina de Cooperativas Agrarias.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Índice de Aridez y Coeficiente de variación.**

Las localidades empleadas en este estudio se enumeran en la Tabla 2 junto a los valores anuales promedio de precipitación (P) para el período de 1961-1990, para el período total, su desvío estándar, la evapotranspiración potencial (ETP) y el Índice de Aridez (IA). El promedio areal de precipitación anual es de 663.2 mm con un desvío estándar de 129.0 mm y el promedio de ETP es 1156.4 mm con un desvío estándar de 84.3 mm. Varias de estas variables se presentan en los mapas de las figura 1.a), b), c) y d) con el fin de brindar una descripción de las características climáticas de la región.

En la figura 1.a) se determina la ubicación de las estaciones y la distribución de las isolíneas de igual valor del IA. Se observa una región central comprendida entre 0.5 y 0.75, con trazo grueso en el mapa, valores que según la FAO describen una región de clima subhúmedo. Hacia el norte y este de la isolínea de 0.75 se extiende la región de la pampa húmeda y al sur y oeste de la isolínea de 0.5 la región semiárida. No se registraron valores del IA menores a 0.3 y luego de este análisis se eliminaron 6 localidades por no satisfacer las condiciones de semi-aridez. Las características semiáridas también se evidencian a través del coeficiente de variación de la precipitación (CV), que se expresa como el cociente entre el desvío estándar y la precipitación anual media. Los mayores CV se ubican en la porción occidental de la RESAP (ver figura 1.b) con valores que exceden a 0.32. Obsérvese la isolínea de 0.28 que describe la misma ubicación que el IA de 0.5 en la figura 1.a). El período 1961-1990 tuvo precipitaciones superiores a las normales en casi toda la región (ver Tabla 1) y esto se acentúa en los valores obtenidos para el CV-(1961-90). En la figura 1.c), se puede observar que casi toda la región permanece con bajos valores del CV, excepto para el sector extremo oeste, donde persisten las condiciones de alta variabilidad típicas de zonas semiáridas. Uno se pregunta si este período fue menos variable que lo

normal o si el aumento de las lluvias enmascara los valores del CV. Lo cierto es que casi toda la RESAP se asocia a una poco marcada diferencia de los CV para ese período.

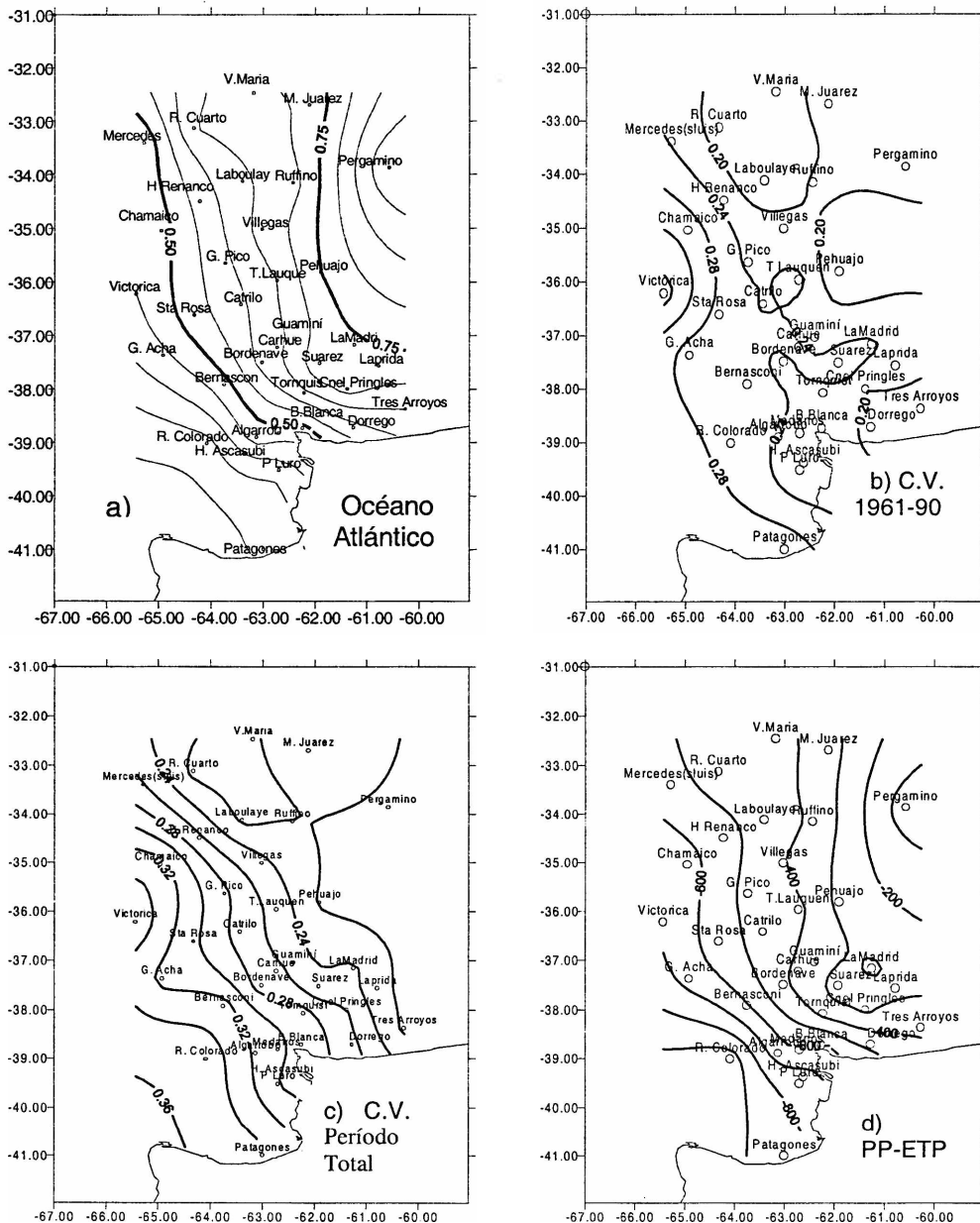
**Tabla 2. Estación, ubicación, precipitación anual (P) período 1961-90, P período total, desvío estándar, evapotranspiración potencial (ETP) y cociente P/ETP=IA. El \* indica localidades con menor cantidad de datos.**

Estación	Lat(°S)-Lon(°W)	P(mm) 1961-90	P (mm)	Desvío estandar	ETP (mm)	Indice Aridez	Período
M.Juárez	32° 42' - 62° 07'	896	830	196.3	1168	0.71	1900-1999
R. Cuarto	33° 07' - 64° 14'	862	815	175.5	1255	0.65	1900-1999
H. Renancó	34° 50' - 64° 22'	716	703	185.4	1243	0.56	1912-1999
G. Villegas	35° 01' - 63° 01'	940	825	203.0	1221	0.67	1900-1999
Gral. Pico	35° 42' - 63° 45'	738	690	196.1	1156	0.59	1907-1999
Victorica	36° 13' - 65° 26'	586	559	197.9	1253	0.45	1905-1999
Sta. Rosa	36° 34' - 64° 16'	652	621	188.0	1163	0.53	1902-1999
Catriló	36° 25' - 63° 26'	752	670	181.8	1138	0.59	1900-1995
Carhue	37° 13' - 62° 44'	732	695	186.8	1075	0.64	1911-1999
Chamaico	35° 03' - 64° 57'	618	588	194.1	1225	0.48	1908-1980
Gral. Acha	37° 22' - 64° 35'	561	518	162.9	1182	0.44	1900-1999
Guaminí	37° 02' - 62° 23'	793	713	176.6	1080	0.66	1900-1999
Bordenave	37° 51' - 63° 01'	691	664	178.5	1077	0.62	1928-1999
C. Suárez	37° 30' - 61° 55'	751	728	177.0	979	0.74	1900-1999
Bernasconi	37° 55' - 63° 45'	585	564	185.4	1172	0.48	1900-1999
Tomquist	38° 05' - 62° 13'	763	665	192.3	1038	0.64	1900-1999
C. Pringles	38° 00' - 61° 23'	792	742	194.0	1023	0.72	1904-1999
Ba. Blanca	38° 44' - 62° 15'	631	580	170.3	1212	0.48	1900-1999
C. Dorrego	38° 43' - 61° 16'	694	661	175.3	1141	0.58	1900-1999
Médanos*	38° 50' - 62° 42'	620	598	215.6	1203	0.50	1972-1999
Algarrobo*	38° 54' - 63° 08'	547	545	129.2	1191	0.46	1951-1997
Ascasubi*	39° 23' - 62° 37'	518	522	89.2	1296	0.41	1966-1999
R Colorado	39° 01' - 64° 05'	443	383	134.8	1367	0.28	1900-1988
La Madrid	37° 17' - 61° 15'	780	743	181.4	1061	0.70	1911-1988
Laboulaye	34° 08' - 63° 24'	839	774	167.4	1231	0.63	1903-1988
V. María	32° 28' - 63° 11'	811	772	168.6	1213	0.64	1900-1988
Rufino	34° 16' - 62° 43'	822	780	172.1	1164	0.67	1902-1981
T- Lauquen	35° 58' - 62° 44'	866	756	191.7	1181	0.64	1900-1988
P. Luro	39° 31' - 62° 42'	456	420	125.7	1163	0.36	1913-1985
T. Arroyos	38° 23' - 60° 16'	773	736	158.8	1113	0.66	1900-1997
Pehuajó	35° 49' - 61° 54'	895	835	181.3	1109	0.75	1900-1988
Pergamino	33° 52' - 60° 35'	971	938	203.2	984	0.95	1900-1996
Laprida	37° 34' - 60° 46'	824	754	170.7	1037	0.73	1904-1988
Patagones	40° 48' - 63° 00'	378	355	123.0	1192	0.30	1900-1999

Otra característica de la región la constituye el déficit hídrico anual. En una buena aproximación y a esa escala, la diferencia entre la precipitación y la ETP anual representa las condiciones de un balance hídrico, (ver figura 1.d). Toda la región está caracterizada por un balance de agua negativo, si bien se observa la influencia beneficiosa asociada al sistema serrano de Ventana, donde se incrementan las

*Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...*

precipitaciones así como las mejores condiciones hacia el este. Una deficiencia de 600 mm anual indicaría el límite entre condiciones subhúmedas y semiáridas.



**Figura 1. a), b), c) y d). La Región Semiárida Pampeana (RESAP), a) localidades e Índice de Aridez, b) Coeficiente de Variación (C.V.) de la precipitación para el período 1961-1990, c) C.V. para el período total y d) déficit hídrico (mm).**

### 3.2 Variabilidad inter-anual, inter-decádica, ciclos.

Si bien se tiene información pluviométrica de la región desde comienzos de siglo, se eligió en principio, el segmento de mayor información areal para analizar las características interanuales. Las variaciones de las lluvias desde 1930 hasta fin de siglo obtenidas como promedio de las lluvias mensuales registradas en las localidades mencionadas en la Tabla 1, evidencian un incremento que alcanza un valor de 2.85 mm por década. La existencia de una tendencia tan fuerte no permite cuantificar ni comparar los valores extremos ocurridos. Por ello se recurrió a estandarizar la variable y quitar la tendencia. En la figura 2 se presenta la serie de las anomalías de la precipitación con un suavizado de 12 puntos, así obtenida. Se ha superpuesto una curva de ajuste por cuadrados mínimos la cual insinúa casi un ciclo completo sobre el registro total de la información, con una fase negativa desde 1920 a 1970 (50 años) y una fase positiva que parecería haber alcanzado durante los '90 su máxima amplitud. Los extremos positivos de la década del 10 son ahora los máximos del registro analizado.

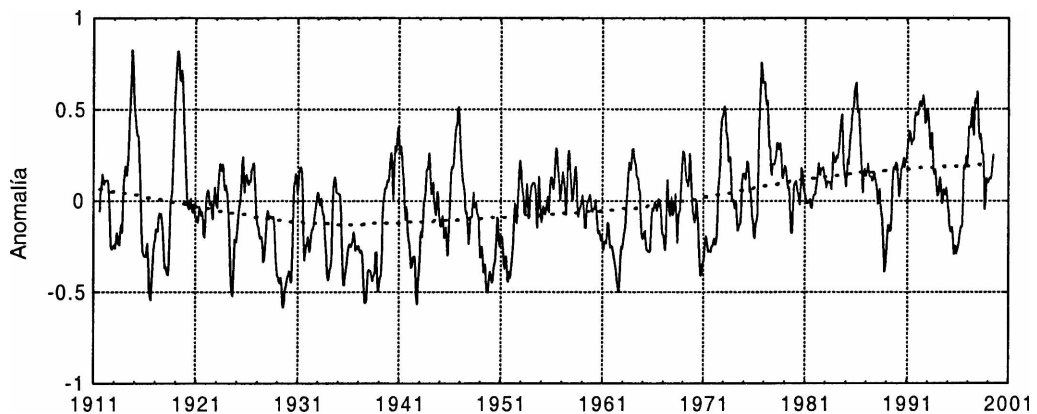
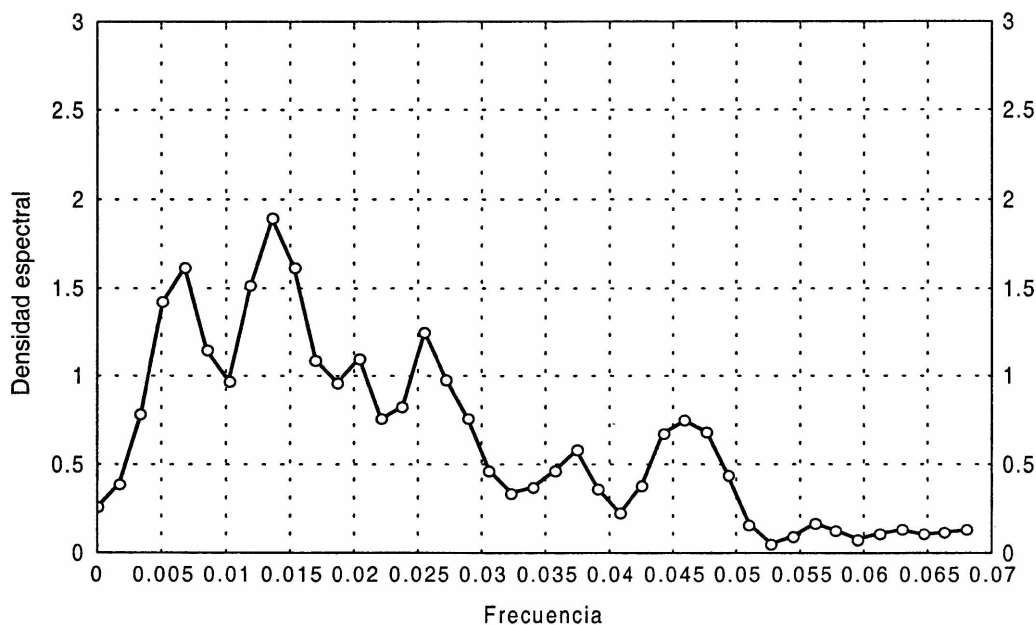


Figura 2. Anomalía de la precipitación estandarizada en la RESAP, con curva de ajuste por cuadrados mínimos.

Al analizar la serie media de precipitación espectralmente se consideró una serie de datos a partir de 1951, con 588 casos y otra serie completa, con 1056 casos. Los resultados obtenidos se grafican en las figuras 3 y 4, donde el eje de las abscisas se limitó a las frecuencias menores a 0.07 que representa un período de 1.2 años ya que se filtró la onda anual. De la observación de las figuras se puede afirmar que el hecho de una concordancia en algunos picos significativos (densidad espectral mayor a 1) refuerza la existencia de los mismos. Así es, entre las frecuencias de 0.01 (50 años) y 0.02 (4 años) se observa una ancha banda con importante energía espectral en varios picos. Para frecuencias altas son concurrentes los picos de 3.3 años (0.025) y 2 años (0.042). Pero para las “bajas” frecuencias, el método utilizado no es adecuado ya que trabaja sobre los armónicos del período total y es por lo tanto función del número de



datos, lo que hace que los resultados sean diferentes. Sin embargo, en el caso de la serie total (figura 4), una gran parte de la energía espectral está concentrada a partir de la frecuencia de 0.0052 (16 años) y en bajas frecuencias el pico corresponde a un ciclo de 44 años. Para el registro de 50 años la energía esta concentrada entre los 16 y 8 años, (figura 5).



**Figura 3. Densidad espectral de la serie de precipitación mensual media del período 1951-1999 en función de la frecuencia (ciclos/mes).**

Históricamente, en el análisis de la marcha anual de las lluvias en la región, las estadísticas climáticas establecen la existencia de dos máximos en el año, alrededor de octubre y en marzo. En las zonas más continentales, donde prevalece el calentamiento superficial y la advección de vapor de agua desde latitudes subtropicales este doble pico en la distribución se unifica y el máximo se produce en los meses estivales. El ciclo anual de la precipitación en la RESAP para un período de 30 años a comienzos de siglo, 1911-1940, muestra los máximos estivales y un mínimo en junio (figura 5). Considerando los últimos treinta años del siglo, período 1970-1999, los mismos se ubican en verano y en marzo y el mínimo en julio. Así mismo se observa que si bien se mantiene la forma de la onda anual los promedios mensuales aumentaron en el último período y se afirma que las fuertes tendencias positivas de la década del 70 se evidencian preferentemente en los incrementos en las lluvias estivales y dentro del período de noviembre a abril. En la Tabla 3 se presenta el porcentaje con respecto a la lluvia normal de cada mes y por década; las normales y desvío estándar se inscriben al final. Se puede observar que durante las 3 últimas décadas, excepto en junio y julio, todos los meses restantes superan los valores normales de precipitación.

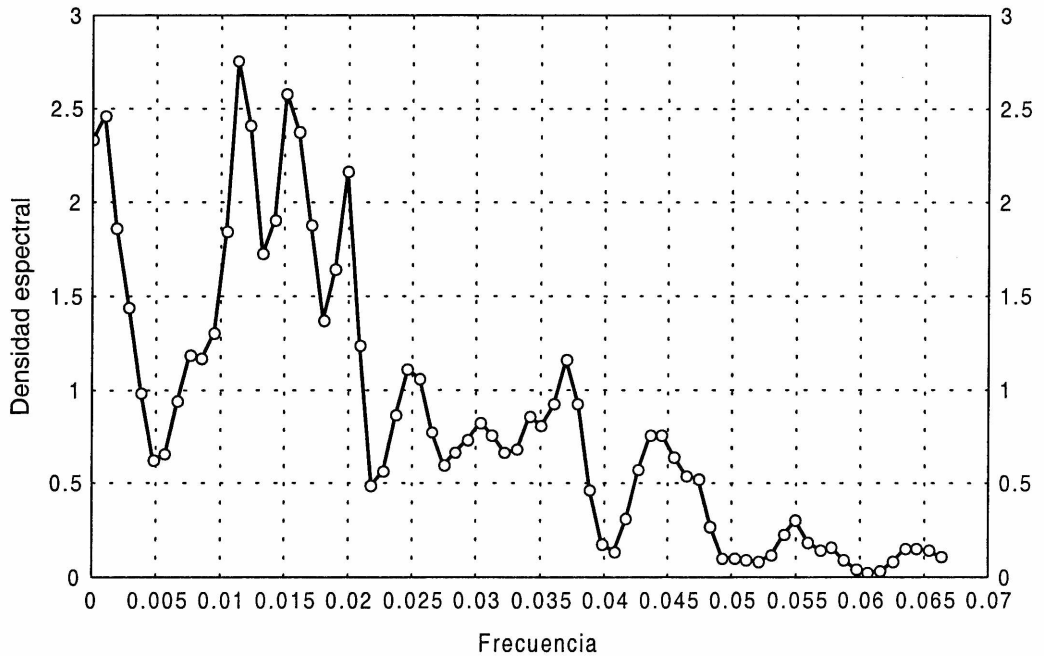


Figura 4. Densidad espectral de la serie de precipitación media mensual del período 1911-1999 en función de la frecuencia (ciclos/mes).

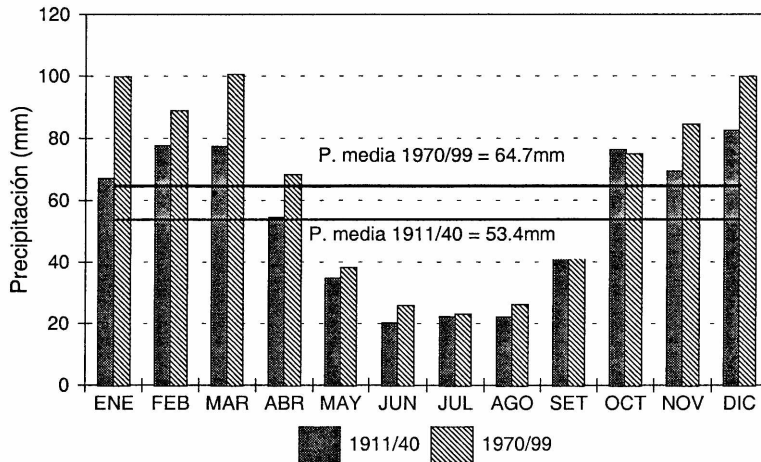


Figura 5. Onda anual de la precipitación mensual (mm) para el período 1911-1940 (barras grises) y para 1970-1999 (barras rayadas).

**Tabla 3. Porcentaje de precipitación de cada mes respecto al valor normal de la década y valor promedio de la precipitación mensual (mm) con su desvío estándar.**

Décadas	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1911/20	0.97	1.24	0.79	1.32	0.95	0.71	1.11	0.94	0.90	1.04	0.95	1.02
1921/30	0.81	0.96	0.88	0.72	0.98	0.83	0.92	1.08	0.93	0.99	0.96	0.96
1931/40	0.80	0.80	0.90	0.69	1.03	0.94	0.82	0.97	1.06	1.11	0.79	0.95
1941/50	0.71	0.97	1.04	1.02	1.13	0.86	1.17	0.97	1.03	0.85	0.85	0.69
1951/60	1.03	0.83	1.03	1.02	1.01	1.51	1.22	0.70	0.94	0.98	0.94	0.89
1961/70	0.89	0.78	1.04	0.85	0.70	1.01	0.80	0.85	0.92	0.97	1.25	1.00
1971/80	1.14	1.34	1.07	1.08	0.89	1.12	0.86	1.06	1.01	1.09	1.06	1.08
1981/90	1.29	1.07	1.21	1.11	1.13	0.61	1.33	1.17	1.22	1.06	1.07	1.00
1991/00	1.42	1.01	1.06	1.24	1.21	1.46	0.76	1.30	1.01	0.93	1.15	1.46
Precip. Media	77.8	77.7	90.4	59.9	35.3	24.3	23.4	22.2	43.1	73.1	77.1	84.5
Desvío Estandar	33.8	39.8	38.2	34.0	22.6	21.5	21.2	17.9	24.8	34.2	31.5	38.2

### 3.3 Condiciones hídricas por subregiones o Clusters.

Una vez analizado el comportamiento de las lluvias a distintas escalas temporales para toda la región semiárida enfocamos el análisis de la distribución espacial de las condiciones hídricas por subregiones. Para discriminar subregiones homogéneas en base a las lluvias mensuales se consideró agrupar las localidades por cluster. Para ello se trabajó con una matriz de datos formada por 25 variables (localidades) y un número de filas correspondiente al número de datos, mes a mes y año a año. Se definieron de este modo 6 conglomerados o clusters (CI) que se muestran en la figura 6. Las localidades que componen cada subregión y su precipitación anual media son, de norte a sur:

CI1: Río Cuarto, V. María, Laboulaye, Rufino, Villegas (815.4mm),

CI2: Huinca Renanco, Chamaico, Pico, T-Lauquen (738.1mm),

CI3: Victorica, Rosa, Gral Acha, Bernasconi, Bordenave (589.9mm)

CI4: Guamini, Lamadrid, Suarez y Pringles (747.5mm)

CI5: Tornquist, B. Blanca, Dorrego (651.7mm)

CI6: Luro, Colorado, Ascasubi, Algarrobo (436.9mm) .

Las series de la lluvia mensual para cada subregión siguen el comportamiento de la serie media (figura 2) con los máximos al comienzo de la década del 10, mínimos en las décadas del 40 y 50 y un incremento hacia fin del registro, mucho más marcado en las tendencias, en particular para el cluster 2. En la figura 7 se ha representado la marcha anual de la precipitación media para cada cluster, donde se observa las principales diferencias en los meses de máximos valores de lluvia. En marzo se produce el máximo general de lluvias mientras que el segundo máximo, pese a

ubicarse en la estación estival, tiene diferencias que fluctúan entre octubre (CI6), enero (CI1) y diciembre.

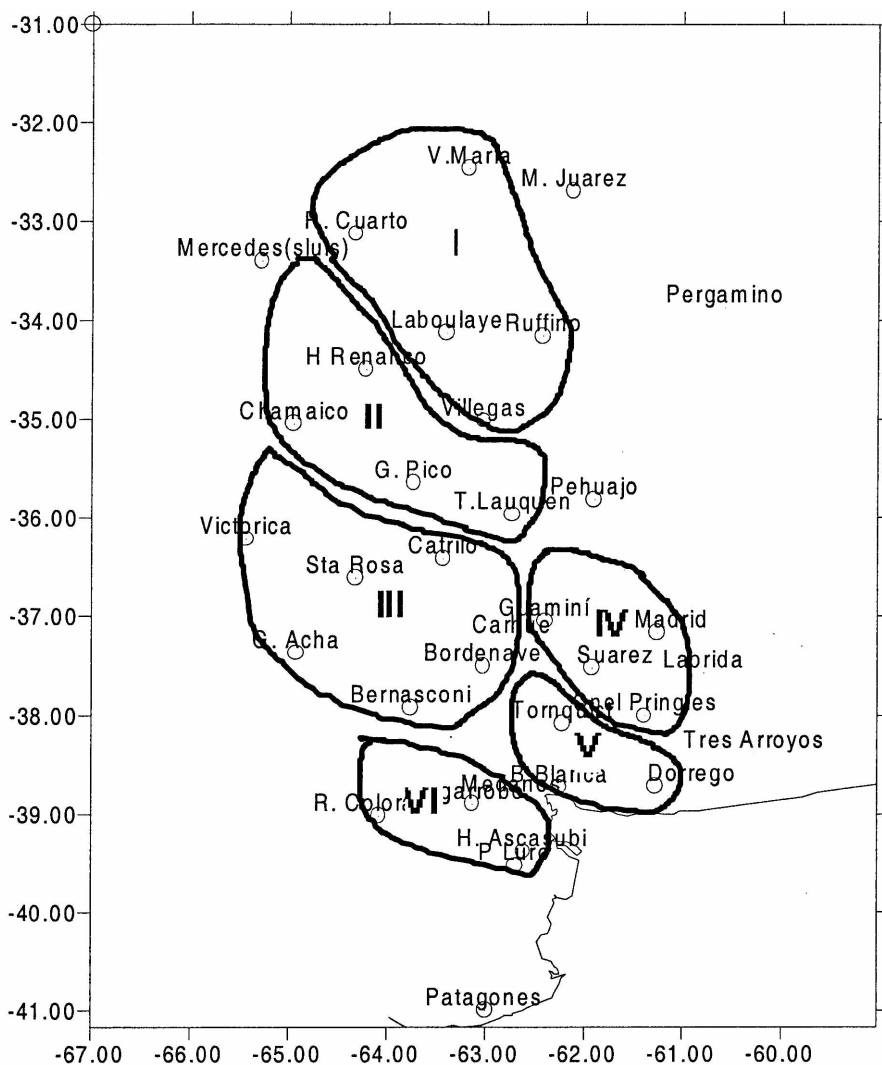
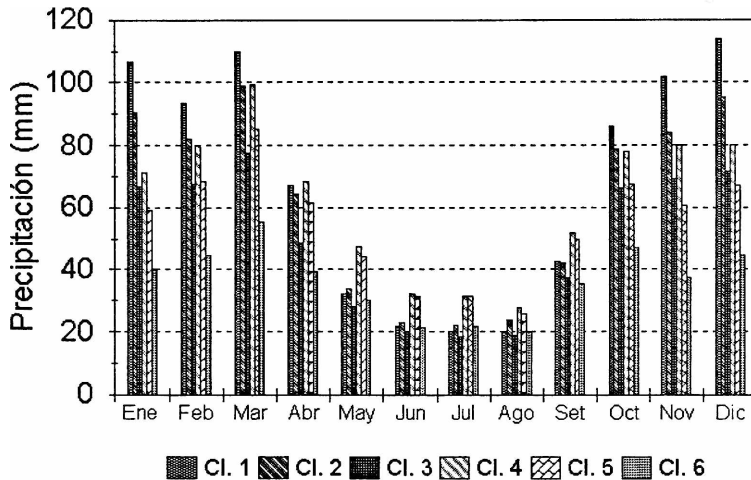


Figura 6. Ubicación de los 6 clusters o sub-regiones de la RESAP.

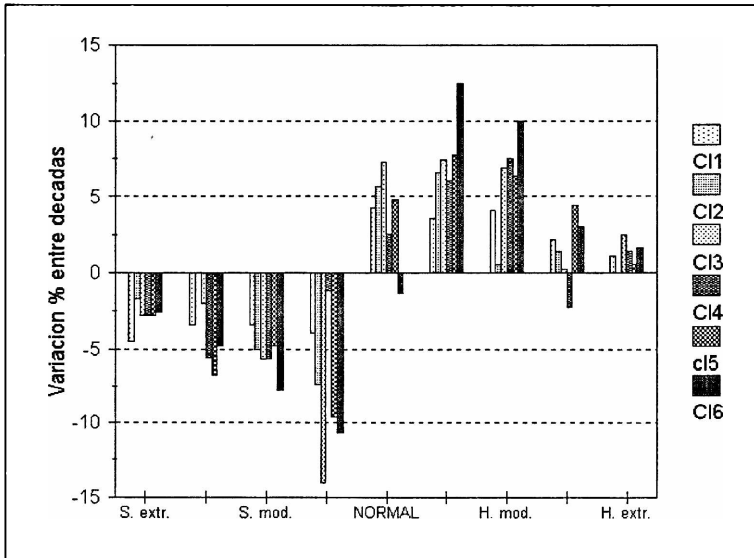
Se calculó para cada cluster el porcentaje de tiempo en que se observan las condiciones de déficit o exceso de lluvia según el IPE3 pues la escala de 3 meses es la que tiene más vinculación con las condiciones de humedad en el suelo, factor importante para el uso agrícola, (Scian, 1997). En la figura 8 se presenta el porcentaje de variación de las condiciones hídricas de cada subregión ocurridas entre el período 1911-40 y 1970-99. Vemos que se incrementó entre un 5% y 10% la ocurrencia de situaciones húmedas en la RESAP. En general, las mayores diferencias se produjeron

*Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...*

en las condiciones de humedad débil y moderada a expensas de la disminución de los casos de condiciones secas. Los mayores incrementos se producen para el Cl6, superando el 10%. Los resultados obtenidos para cada uno de los clusters, expresado como porcentaje de ocurrencia de cada categoría se presentan en la Tabla 1-A del Anexo.



**Figura 7. Onda anual de la precipitación mensual (mm) para cada uno de los 6 clusters de la RESAP.**



**Figura 8. Variación porcentual de las condiciones de déficits o excesos hídricos por categorías del IPE3 (ver texto) y por clusters, entre los períodos 1911-40 y 1970-99.**

Conocidos estos porcentajes se tiene una repuesta a la intensidad y frecuencia de las distintas condiciones hídricas, mes a mes y por subregión. Una característica muy importante para los fines agronómicos es la duración de un episodio extremo, ya sea de sequía o húmedo. Para su estudio se consideraron los casos de episodios de distinta longitud, desde un mes a más de 6 meses, bajo condiciones de IPE3 cuyo valor absoluto exceda a un desvío estándar y los resultados se resumen en la Tabla 4. El porcentaje de los episodios secos disminuye en general, con la duración del mismo. Para los CI2, CI3 y CI5, el 50% de los casos bajo dichas condiciones extremas duran 1 mes y para el CI6 el 13% de sequías extremas duran 4 meses. Por el contrario en los episodios húmedos hay una tendencia a persistir hasta 3 meses que es mayor para algunos clusters que la correspondiente a episodios de dos meses, como en los CI3 y CI5.

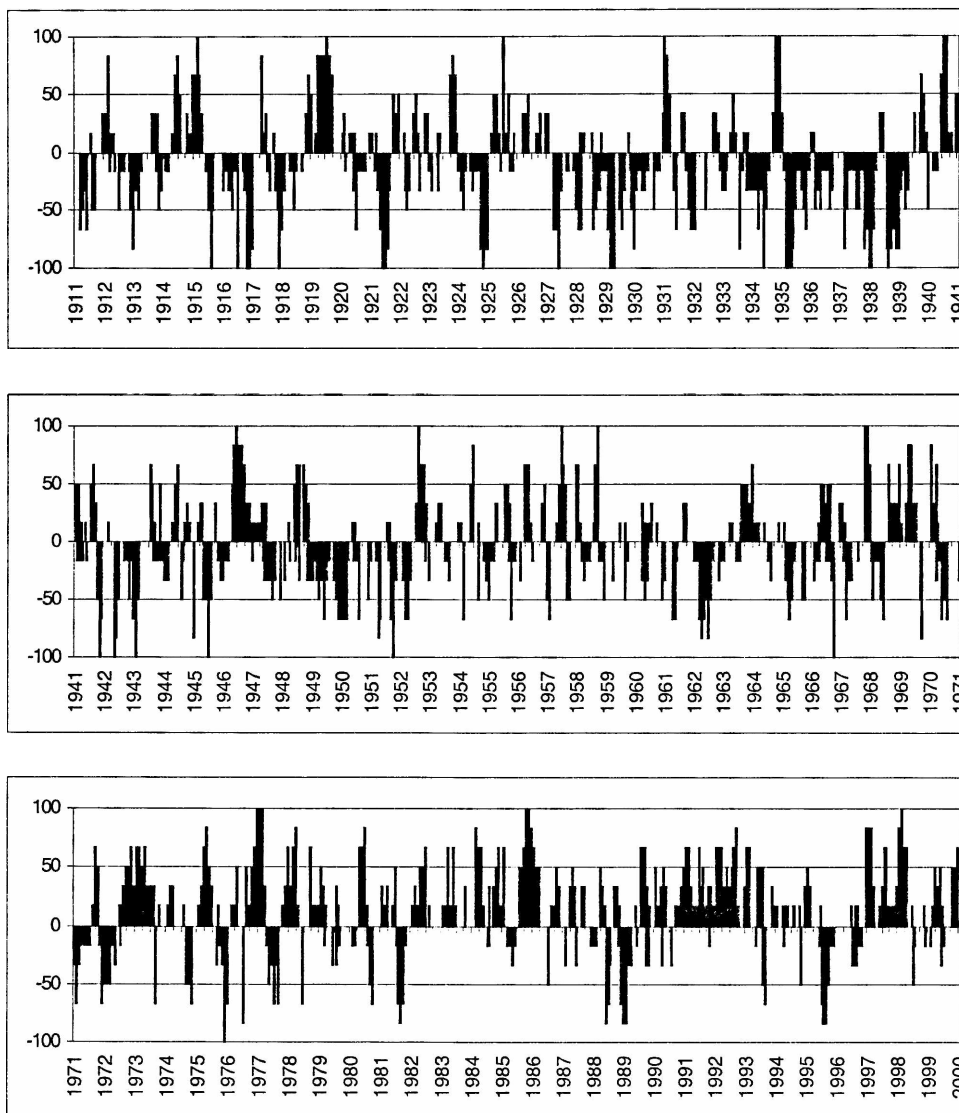
**Tabla 4. Porcentaje de tiempo bajo distintas condiciones hídricas (ver texto) para episodios de distinta duración en meses, y por sub-regiones de la RESAP.**

Seco: IPE3 < -1.0		% de episodios con duración en meses bajo condiciones hídricas						
Húmedo: IPE3 > 1.0		1 mes	2 meses	3 meses	4 meses	5 meses	6 meses	7 o más
CI1	Seco	37.2	26.9	16.7	11.5	2.6	3.8	1.3
	Húmedo	38.5	16.7	34.6	3.8	5.1	0.0	1.3
CI2	Seco	48.2	21.0	18.5	5.0	3.7	2.5	1.2
	Húmedo	36.4	18.2	31.8	3.0	7.8	0	3.0
CI3	Seco	48.4	23.7	14.0	7.5	3.2	1.1	2.1
	Húmedo	21.1	26.8	32.4	11.3	1.4	4.2	2.8
CI4	Seco	42.4	20.0	22.4	5.6	1.9	1.9	2.8
	Húmedo	36.8	16.2	29.4	7.4	2.9	4.4	4.4
CI5	Seco	50.0	23.2	17.0	4.9	1.2	2.4	1.2
	Húmedo	22.0	25.0	33.8	10.3	1.5	5.9	1.5
CI6	Seco	45.9	18.8	16.5	12.9	3.5	2.4	0.0
	Húmedo	25.0	25.0	31.6	9.2	6.6	2.6	0.0

Vemos que cada subregión tiene un comportamiento de episodios húmedos o de sequía diferente pues puede ocurrir que las mismas condiciones de deficiencia o exceso de agua se presenten en algunas subregiones y en otras no. Para ello se estudió mes a mes, a lo largo de los años el área que simultáneamente estaba en condiciones fuera de lo normal, o sea, fuera del intervalo (-1.0, +1.0). En la figura 9 se presentan los resultados como porcentajes (barras), donde el semieje de las ordenadas positivo-negativo corresponde a anomalías positivas-negativas, el 50% corresponde a 3 clusters

### Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...

bajo una misma condición y 100% si todos los clusters están bajo condiciones extremas.



**Figura 9. Porcentaje del área de la RESAP bajo condiciones extremas secas o húmedas desde 1911.**

Se reconocen algunos de los picos enumerados en la bibliografía (Scian y Donnari, 1997) y que afectaron a toda la región como los años húmedos de 1915, 1919, 1946/47, 1977 y 1985/86 así como los secos de 1916/17, 1924/25, 1929, 1935. En particular, se evidencian algunas situaciones donde simultáneamente hay regiones con anomalías

positivas y otras negativas (a fines de 1996), pero la última sequía que afectó a toda la región fue a fines de 1975. Según estos resultados las sequías de 1962, 1988 y 1995 no afectaron simultáneamente, a la región en su totalidad.

### 3.4 Producción triguera por subregiones.

El cultivo predominante en la región es el trigo, cuyo ciclo puede considerarse se extiende desde mayo a diciembre. Una de las condiciones críticas para su desarrollo es la falta de agua durante el ciclo de cultivo (Cantamutto *et al.*, 1990; Travasso *et al.*, 1994). Los rendimientos promedios observados a partir de los datos por partido superan en algunas campañas los 2500 kg ha<sup>-1</sup> y los mayores valores se producen en las subregiones 1 y 4. La marcha oscilante de los mismos se muestran en la figura 10.a) y b), durante 15 campañas trigueras, desde 1979 a 1993. Las pendientes de las rectas de ajuste indican que los rendimientos crecieron en toda la región y oscilan entre 19 (Cl6) y 55 (Cl12) kg ha<sup>-1</sup> y por año (ver Tabla 5). Se distinguen bajos valores asociados a las malas condiciones hídricas de 1981/82 y 1988/89.

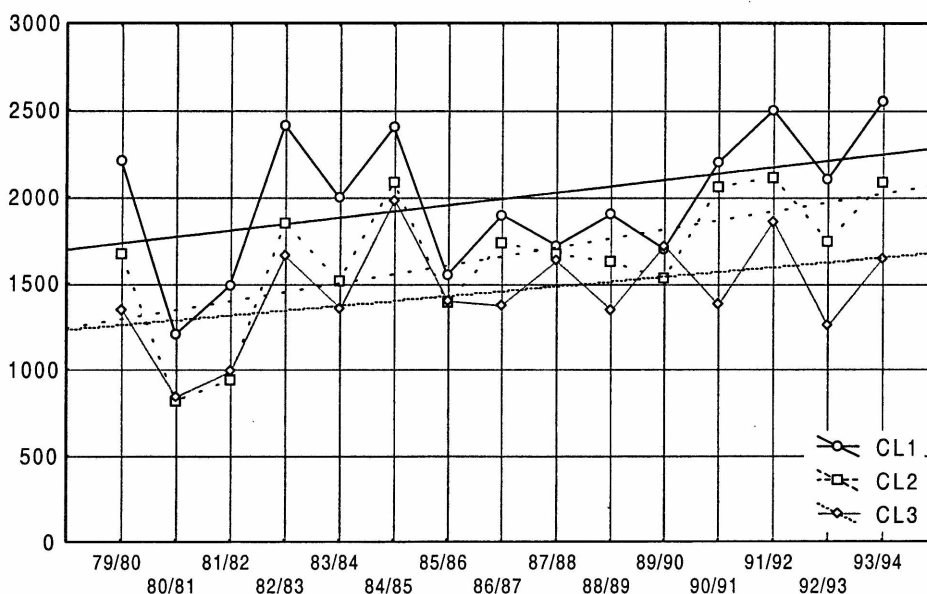


Figura 10.a) Rendimientos (kg ha<sup>-1</sup>) de trigo para los clusters Cl1, Cl2 y Cl3.

En particular, cuando se correlacionaron las series de la precipitación acumulada para el ciclo del cultivo en las subregiones 4, 5 y 6 con los rendimientos se obtuvieron los siguientes valores para el coeficiente de correlación (r): r (Cl4) = 0.4556, r (Cl5) = 0.7961 y r (Cl6) = 0.6310. Los resultados indican que para los Cl5 y Cl6 la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo explica un alto porcentaje (entre un 40% y más de 60%) de la variabilidad de los rendimientos de trigo. En algunas campañas la productividad del Cl5 supera al Cl4 precisamente en los años donde la



*Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...*

precipitación acumulada es también mayor (1980, 1989, 1991 y 1992). Las correlaciones entre rendimientos y precipitación acumulada obtenidas para los clusters restantes, (1, 2 y 3) cuya marcha puede verse en la figura 10. a), no han sido buenas.

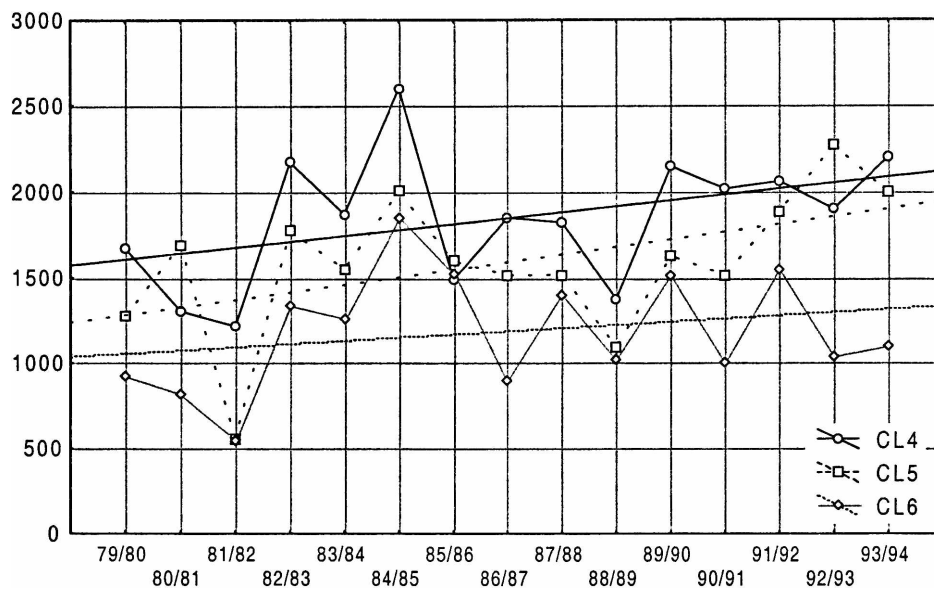


Figura 10.b). Rendimientos (kg ha<sup>-1</sup>) de trigo para los clusters Cl4, Cl5 y Cl6.

Tabla 5. Tendencias lineales en los rendimientos de trigo (columna 2), en las precipitaciones mensuales (columna 3) y en las lluvias acumuladas en el ciclo mayo-diciembre (columna 4), para el período 1979-1994 en cada una de las sub-regiones de la RESAP.

Región	Rendimiento (kg/ha) año <sup>-1</sup>	Precipitación mm año <sup>-1</sup>	Prec. Acumulada mm año <sup>-1</sup>
Cl 1	36	-0.35	6.8
Cl 2	55	0.26	3.7
Cl 3	28	0.74	7.9
Cl 4	34	0.56	7.4
Cl 5	44	0.81	13.9
Cl 6	19	0.26	9.0

En el período analizado cada una de las subregiones han tenido comportamientos distintos y para su mejor comprensión se estudian las tendencias obtenidas en los

rendimientos, así como en las precipitaciones mensuales y en los valores de lluvia acumulados para el ciclo del trigo, (ver Tabla 5). Los mayores rendimientos por año se obtuvieron en la subregión 2 pese a que no es la que experimentó en el período los mayores incrementos ni acumuló en el ciclo las mayores cantidades de lluvia. El cluster 5 confirma la relación mayores rendimientos con mayores precipitaciones. Por el contrario, el cluster 1 con una tendencia negativa en sus precipitaciones muestra un crecimiento similar en los rendimientos que la región del cluster 4, con una tasa de lluvias positiva. A la luz de estos resultados se interpreta que en algunas subregiones el elemento climático no tiene tanta incidencia en los rendimientos de trigo, por cuanto deben existir otras variables, tecnológicas, genéticas, etc., que inciden con mayor peso en la productividad. En el ANEXO se incluye la precipitación acumulada por año y por cluster (Tabla 2-A).

#### **4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La climatología de la precipitación en la RESAP analizada en este trabajo mantiene en vigencia resultados previos sobre su variabilidad inter-anual e intra-anual. Se pudo establecer que la región semiárida sufrió las menores variabilidades anuales durante el período 1961-90 respecto al período total, si bien superó a las lluvias normales. Tal región correspondería a la zona al este de la isólinea del CV de 0.28 en la figura 1.c).

El análisis de las series de precipitación en la RESAP por métodos espectrales indica que las bandas de mayor energía son concurrentes con las de otras variables meteorológicas como la temperatura superficial, la temperatura de la superficie oceánica y la presión a nivel del mar a escala global. Allan (2000) analizando los espectros de series históricas de las anomalías de la temperatura superficial del mar y de la presión a nivel medio del mar sobre el océano Pacífico, detectó señales climáticas de relieve en las bandas de 2-2.5, 2.5-7, 11-13, 15-20, 20-30 y 60-80 años, y también una tendencia secular de largo período. North y Stevens (1998) presentan las densidades espectrales obtenidas para la temperatura global media anual de superficie en donde destacan una banda Solar central correspondiente al intervalo entre 16.67 a 7.69 años, una banda ancha correspondiente a un pico en 2.7 años (0.0308) o Quasi-bianual, la banda inter-anual centrada alrededor de los períodos de 3.5 (0.0238) y 4.4 años (0.0189), y un pico en 2.2 años (0.0378). También mencionan la banda de los eventos ENSO entre 7 y 2 años y otra banda correspondiente a fluctuaciones de baja frecuencia. Estos resultados indican la existencia de patrones dominantes en la variabilidad climática que se detectan al analizar serie temporales y se asocian a distintos fenómenos de escala global. Coincidentemente, se pudieron detectar también en las series de precipitación de la RESAP, como ser los ciclos de 2, 3.3 y 11 años, que se ubican dentro de las bandas mencionadas por dichos autores, no así el ciclo de 44 años. Es conveniente indagar sobre estas bandas significativas empleando otros métodos que permitan una mejor definición en las bajas frecuencias.

Al aplicar el método de asociaciones y obtener 6 subregiones dentro de la RESAP se han manifestado las diferencias en las distribuciones de eventos extremos secos y

húmedos empleando el índice de Precipitación Estandarizado (IPE) a escala 3 meses. La duración de estos eventos expresada como porcentajes (Tabla 5) posibilita establecer que ante condiciones extremas secas, existe hasta un 50% de probabilidad de que dure solo 1 mes. Para el CL1 se obtiene una frecuencia de 27% de que duren 2 meses y una duración de 3 meses tiene un 22% de ocurrencia para el CL4. Este análisis nos muestra que si una sequía se instala en la región, afecta con distinta duración a todos los clusters pero principalmente a dos, el CL6 y el CL4. Asimismo, el CL2 y el CL5 tienen entre un 88% y 90% de ocurrencia de episodios secos de hasta 3 meses de duración. Contrariamente, los episodios húmedos de más de 6 meses ocurren con más frecuencia en CL2 y en CL4. En el CL1, el 90% de los extremos húmedos tiene una duración de hasta 3 meses. Este comportamiento tan dispar de las subregiones tiene un aspecto positivo en el hecho de la no simultaneidad de condiciones extremas, (fig. 9).

Para calcular la productividad de trigo de cada subregión se tuvieron que agrupar los rendimientos por partido o departamento, esto incidió en que algunas subregiones no pudieron ser bien representadas y cuantificadas, por ocupar sectores parciales de partidos. Pese a esto, se logra detectar diferencias significativas entre los rendimientos para cada cluster al aplicar un test t-Student de diferencia de medias. Toda la región experimentó un incremento en los rendimientos durante esos años que es mayor en la subregión 2. Díaz-Zorita (1992) analizando los rendimientos de trigo para la RESAP Central, región que corresponde a parte de los clusters 2 y 3, obtiene una tendencia anual de 8.3 kg ha<sup>-1</sup> para el período 1923-1969 y de 39.7 kg ha<sup>-1</sup> para 1970-1991. Dichas mejoras, estima el autor, fueron generadas por la adopción diferencial de mejores tecnologías de producción.

En promedio, los rendimientos de trigo de los clusters 1 y 4 son los mayores y comparables. La subregión 5 experimentó la mayor tendencia en las lluvias acumuladas durante el ciclo de cultivo de trigo (13,9 mm para el período 1979-1994) y si bien logra incrementos en los rendimientos (44 kg ha<sup>-1</sup> y por año) no ocurre lo mismo en la subregión 2. Allí se invierten los resultados porque concurrente con un incremento menor (3.7 mm) y sin una variación importante de sus condiciones hídricas entre principio y fin del período de estudio (ver figura 8), experimenta un crecimiento de 52 kg ha<sup>-1</sup> y por año. Este comportamiento nos hace reflexionar sobre algunas condiciones inherentes a la región que no sean las de oferta de agua. Es decir, frente a un incremento similar en las lluvias algunas regiones mejoraron sus rendimientos y otras no, como es el caso de la subregión del cluster 6, que fue beneficiada con un aumento relativo de las condiciones húmedas (más del 10%) en la última parte del período de estudio (ver figura 8), pero no fue suficiente con tener una buena oferta de agua para impactar en los rendimientos de trigo, pues muestra un crecimiento anual de sólo 19 kg ha<sup>-1</sup>. Esta característica indica la importancia que pueden llegar a tener otras variables en los rendimientos de trigo, como ser el tipo de cultivar, la fertilización aplicada y las características y condiciones de los suelos.

En resumen, podemos afirmar que la particularidad de la RESAP más destacada lo constituye el hecho de ser una región de transición entre la zona húmeda y árida, que sufrió durante los últimos años un notable incremento en sus precipitaciones anuales, principalmente debido a los incrementos en los valores de los meses estivales pero no

alteró la distribución anual de la lluvia. Se comprobó que el principal incremento afectó a las condiciones de humedad débil y moderada para todas las subregiones, con una variación entre comienzo y fin de siglo de entre un 5% y 10%. Dichas subregiones analizadas en función de la duración e intensidad de situaciones extremas muestran distintos comportamientos una de otra. Se confirma que la variabilidad de los rendimientos de la RESAP depende en gran medida de condiciones hídricas favorables en el período del cultivo. Se considera sin embargo, que otras variables importantes para la producción se relacionan con las condiciones propias del suelo de la región así como biológicas y de manejo.

Del estudio retrospectivo y los ciclos de bajas frecuencias en la precipitación de la región podemos inferir que el estado actual de las condiciones hídricas está en su fase extrema positiva. Según Labraga (1997), las estimaciones de las anomalías de precipitación ante un calentamiento global indicarían una disminución de las lluvias mayor en verano que en otoño, conclusiones éstas que cuentan con un mayor grado de consenso entre los resultados de varios modelos climáticos. Las perspectivas indicarían que las condiciones de humedad extrema en la región observada en los últimos años se revertirían a déficits, según los resultados que contemplan para el año 2043 alcanzar una duplicación en la concentración del CO<sub>2</sub> ([www.cenpat.edu.ar/calentamientog/](http://www.cenpat.edu.ar/calentamientog/)).

**Agradecimientos:** Este trabajo de investigación ha sido financiado por el subsidio del CONICET PIP 454/98. Un especial agradecimiento a los Ings. Agrs. G. Casagrande y G. Vergara de la Universidad Nacional de La Pampa y al Sr. R. Ibaldi de la Asociación Argentina de Cooperativas Agrarias de Bahía Blanca por suministrar información pluviométrica y de producción triguera de la zona.

## REFERENCIAS

- Allan, R.J., 2000. ENSO and climatic variability in the last 150 years. In: 'El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability, Global and Regional Impacts'. (Eds, H.F. Diaz and V. Markgraf). Cambridge University Press, Cambridge University, UK. (In Press), citado en *Historical degradation episodes: global climate and economic forces and their interaction with natural grazing systems*, G.M. McKeon, W.B. Hall, K.A. Day, S.J. Crimp, A. Peacock and D.M. Orr, Climate Impacts and Natural Resource Systems, Natural Sciences Precinct, 80 Meiers Rd, Indooroopilly-4068, Australia.
- Burgos, J. 1963. El clima de las regiones áridas en la R. Argentina, RIA XVII (4),385-403.
- Burgos J.; J. Forte Lay, 1978. Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la región pampeana, Taller Argentino-Esotodounidense sobre Sequías, Mar del Plata, dic.1978, 22 p.
- Cantamutto, M.A., F.E. Mockel y A.R. Vallati, 1990. Empleo de las lluvias en el período vegetativo del trigo como predictoras de las respuestas a la fertilización, Rev. Facultad de Agronomía, 11(2-3), 133-142.
- Casagrande, G. y G. Vergara, 1996. Características climáticas de la región, Cap. 2, en: *Labranzas en la Región semiárida Argentina*, INTA, Centro Regional La Pampa-San Luis, 11-17.
- Díaz-Zorita, Martín, 1992. Parámetros edáficos y productividad de cultivos de *Triticum aestivum* en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central, Tesis de Magister en Cs. Agrarias, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 123 pág.

## Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...

- Edwards, D. C. and T.B. McKee, 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales, Climatology Report No. 97-2, Colorado State University, 155 pp.
- González, M.H. y V. R. Barros, 1996. Aspectos estadísticos del ciclo anual de precipitación y sus anomalías en Argentina Subtropical, Meteorologica, Vol 21, 15-26.
- Grimm, A. L., Barros, V. R. and Doyle, M.E., 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña Events, *J. Climate*, 13, Nro. 1, 35-58.
- Hatfield, J.L., 1990. Agroclimatology of semiarid lands, in *Advances in Soil Science*, Vol. 13. Springer-Verlag, New York, p. 9 -26
- INTA, 1981. El Cultivo del Trigo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Colección Principales Cultivos de la Argentina, 185 pág.
- Labraga, Juan C., 1997. The Climate Change in South America due to a doubling in the CO<sub>2</sub> concentration: Intercomparison of General Circulation Model Equilibrium Experiments, *Int'l J. Climatology*, 17, 377-398.
- MacQueen, J.B., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1. 281-297.
- Magrin, G., 1997. En Cap. IV, Informe final del Sub-Proyecto vulnerabilidad y Mitigación relacionada con el impacto del cambio global sobre la producción Agrícola, Proy. de Estudio sobre el cambio climático en Argentina, ARG/95/G/31-PNUD-SECYT, Buenos Aires, 290 pag.
- Moscatelli G. e Ines Puentes, 1996. Caracterización edáfica de la región, Cap. 3, en: Labranzas en la Región semiárida Argentina, INTA, Centro Regional La Pampa-San Luis, 19-30.
- Nicolini, M and Saulo, C., 1995. Experiments using the LAHM/CIMA model over Argentina in convective situations: Preliminary results of precipitation fields. Preprints: International Workshop on Limited-area and Variable Resolution Models, Beijing, 333-338.
- North, Gerald R. and Mark J. Stevens, 1998. Detecting Climate Signals in the Surface Temperature Records, *J. Climate*, 11, 563-577.
- Paegle, J., 1998. A comparative review of South American low-level-jets, *Meteorologica*, Vol. 23, Nros. 1 y 2, 73-81.
- Pittock, A.B. , 1980. Patterns of climate variation in Argentina and Chile-I. Precipitation, 1931-60, *Mon. Weath.Rev.*, 108, 1347-1360.
- Pizarro, Jose B., 1999. Análisis de la evolución de la producción triguera argentina. Revista de Tecnología agropecuaria, INTA Pergamino, vol. 4, Nro. 10, 41-46.
- Podestá, C., 1940. Las lluvias de Octubre de 1939 son la confirmación de mi plan de desagües y verificación de mis predicciones, *Revista La Ingeniería*, Buenos Aires, mayo, 328-343.
- Prohaska, F.J., 1960. El problema de las sequías en la región semiárida pampeana y la sequía actual, *Revista IDIA*, Noviembre, 53-67.
- Roberto, Zinda E., G. Casagrande y E.F. Viglizzo, 1994. Lluvias en la Pampa Central, tendencias y variaciones del siglo, Centro Regional La Pampa-SanLuis, No.2, 25 pág.
- Scian, B. and Donnari, M., 1997. Retrospective analysis of the PDSI in the Semi-arid Pampas region, Argentina, *Int'l J. Climatology*, Vol. 17, 313-322.
- Scian, B., 1997. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana, *Meteorologica*, Vol. 22, No. 2, 37-47.
- Travasso, M., R. Delecolle, Ch. Baldy, 1994. Principales factores agroclimáticos determinantes del rendimiento del trigo en el sur bonaerense, *RIA*, 25 (2), 33-40.
- Vargas, W.M., 1987. El clima y sus impactos. Implicancias en las inundaciones del noroeste de Buenos Aires, *Boletín Informativo Techint*, Nro. 250, 9-44.
- Wang, M. and J. Paegle, 1996. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux, *J. Geophys. Res.*, 101, 7291-7302.

ANEXO

**Tabla 1-A. Ocurrencia(%) de condiciones hídricas por subregion de la RESAP, en base al IPE3.**

CLUSTER 1	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Seqúa ext	1.14	1.14	1.12	2.25	3.37	2.25	2.25	1.12	3.37	1.12	1.12	4.49
Seq. Sev	4.55	5.68	6.74	1.12	3.37	4.49	3.37	6.74	10.11	7.86	3.37	4.49
Seq. Moder	6.82	7.95	8.99	13.48	8.99	10.11	11.24	6.74	5.62	5.62	12.36	6.74
Seq.debil	12.50	11.36	14.61	14.61	15.73	15.73	14.61	15.73	7.87	12.36	14.61	13.48
NORMAL	40.91	44.32	39.33	39.33	33.71	35.96	38.20	37.08	43.82	41.57	40.45	33.71
Hum. debil	17.05	11.36	11.24	13.48	16.85	15.73	14.61	16.85	13.48	19.10	13.48	24.72
Hum. mod	12.50	12.50	10.11	7.87	7.87	6.74	8.99	11.24	8.99	7.87	10.11	10.11
Hum. sev	4.55	4.55	4.49	4.49	8.99	6.74	4.49	4.49	6.74	2.25	2.25	1.12
Hum. ext	0.00	1.14	3.37	3.37	1.12	2.25	2.25	0.00	0.00	1.12	2.25	1.12
CLUSTER 2	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Seqúa ext	2.27	3.41	2.25	2.25	4.49	2.25	1.12	2.25	4.49	1.12	1.12	3.37
Seq. Sev	4.55	3.41	4.49	3.37	1.12	8.99	7.87	5.62	3.37	8.99	6.61	4.49
Seq. Moder	11.36	5.68	6.74	8.99	10.11	4.49	8.99	11.24	4.49	7.87	7.87	10.11
Seq.debil	9.09	18.18	16.85	20.22	14.61	7.87	11.24	6.74	19.10	7.87	17.98	6.74
NORMAL	40.91	40.91	39.33	34.83	40.45	44.94	44.94	42.70	38.20	43.82	34.83	47.19
Hum. debil	14.77	10.23	17.98	20.22	14.61	17.98	11.24	14.61	15.73	15.73	20.22	12.36
Hum. mod	7.95	10.23	3.37	2.25	5.62	7.87	7.87	8.99	7.87	10.11	6.74	10.11
Hum. sev	6.82	6.82	5.62	4.49	6.74	3.37	4.49	7.87	4.49	2.25	2.25	4.49
Hum. ext	2.27	1.14	3.37	3.37	2.25	2.25	2.25	0.00	2.25	2.25	3.37	1.12
CLUSTER 3	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Seqúa ext	0.00	2.27	1.12	2.25	3.37	3.37	1.12	2.25	1.12	3.37	4.49	4.49
Seq. Sev	5.68	4.55	4.49	1.12	2.25	5.62	5.62	4.49	5.62	4.49	2.25	1.12
Seq. Moder	13.64	6.82	13.48	12.36	11.24	7.87	10.11	7.87	14.61	6.74	5.62	13.48
Seq.debil	14.77	19.32	15.73	22.47	14.61	10.11	15.73	14.61	7.87	17.98	17.98	11.24
NORMAL	34.09	34.09	29.21	29.21	40.45	43.82	40.45	41.57	39.33	38.20	40.45	40.45
Hum. debil	17.05	17.05	17.98	13.48	11.24	13.48	7.87	13.48	15.73	11.24	16.85	13.48
Hum. mod	6.82	9.09	12.36	12.36	10.11	8.99	11.24	7.87	8.99	8.99	3.37	8.99
Hum. sev	4.55	4.55	4.49	3.37	3.37	4.49	5.62	5.62	4.49	7.87	5.62	4.49
Hum. ext	3.41	2.27	1.12	3.37	3.37	2.25	2.25	2.25	2.25	1.12	3.37	2.25
CLUSTER 4	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Seqúa ext	2.27	4.55	2.25	1.12	1.12	2.25	3.37	2.25	2.25	4.49	2.25	2.25
Seq. Sev	6.82	3.41	4.49	4.49	4.49	3.37	6.74	5.62	3.37	3.37	7.87	3.37
Seq. Moder	12.50	6.82	11.24	11.24	11.24	11.24	6.74	8.99	17.98	6.74	3.37	7.87
Seq.debil	7.95	9.09	12.36	19.10	13.48	11.24	10.11	13.48	2.25	12.36	14.61	16.85
NORMAL	38.64	47.73	34.83	33.71	37.08	42.70	39.33	37.08	40.45	41.57	44.94	40.45
Hum. debil	14.77	12.50	19.10	13.48	16.85	13.48	15.73	16.85	17.98	14.61	12.36	14.61
Hum. mod	11.36	13.64	11.24	10.11	7.87	6.74	13.48	6.74	6.74	11.24	6.74	6.74
Hum. sev	4.55	1.14	1.12	5.62	3.37	6.74	4.49	7.87	7.87	4.49	6.74	4.49
Hum. ext	1.14	1.14	3.37	1.12	4.49	2.25	0.00	1.12	1.12	1.12	1.12	3.37

*Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida...*

Tabla 1-A. Continuación

CLUSTER 5	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Sequía ext	1.14	1.14	3.37	1.12	3.37	0.00	3.37	0.00	1.12	1.12	4.49	3.37
Seq. Sev	7.95	9.09	4.49	5.62	6.74	7.87	4.49	8.99	5.62	5.61	6.74	4.49
Seq. Moder	6.82	9.09	10.11	8.99	3.37	7.87	6.74	6.74	7.87	6.74	1.12	1.12
Seq.debil	17.05	12.50	11.24	16.85	15.73	17.98	15.73	15.73	11.24	16.85	16.85	23.60
NORMAL	36.36	32.95	39.33	38.20	42.70	39.33	37.08	32.58	48.31	38.20	42.70	38.20
Hum. debil	13.64	20.45	12.36	15.73	12.36	10.11	19.10	19.10	11.24	17.98	13.48	12.36
Hum. mod	9.09	10.23	11.24	5.62	7.87	4.49	6.74	12.36	7.87	7.87	7.87	12.36
Hum. sev	6.82	3.41	7.87	3.37	4.49	8.99	4.49	2.25	4.49	4.49	4.49	3.37
Hum. ext	1.14	1.14	0.00	4.49	3.37	3.37	2.25	2.25	2.25	1.12	2.25	1.12

CLUSTER 6	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Sequía ext	0.00	2.27	1.12	4.49	2.25	2.25	3.37	3.37	1.12	3.37	2.25	3.37
Seq. Sev	9.09	4.55	5.62	3.37	6.74	6.74	4.49	2.25	4.49	4.49	4.49	4.49
Seq. Moder	12.50	11.36	8.99	10.11	5.62	7.87	11.24	7.87	11.24	5.62	8.99	8.99
Seq.debil	11.36	13.64	16.85	13.48	16.85	13.48	10.11	20.22	13.48	19.10	15.73	13.48
NORMAL	35.23	37.50	37.08	32.58	35.96	39.33	37.08	29.21	37.08	37.08	38.20	40.45
Hum. debil	15.91	11.36	13.48	16.85	16.85	11.24	19.10	17.98	16.85	11.24	13.48	10.11
Hum. mod	9.09	13.64	7.87	14.61	10.11	11.24	11.24	14.61	10.11	12.36	10.11	13.48
Hum. sev	5.68	3.41	5.62	4.49	4.49	6.74	3.37	3.37	3.37	4.49	1.12	3.37
Hum. ext	1.14	2.27	3.37	0.00	1.12	1.12	0.00	1.12	2.25	2.25	5.62	2.25

Tabla 2-A. Precipitación mensual acumulada (mm) en un ciclo típico del trigo en la RESAP, para los clusters 1 al 6 durante los años 1979-1994.

	Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 4	Cl 5	Cl 6
1979	483.40	430.00	366.58	429.50	313.20	228.43
1980	411.72	278.48	275.66	394.75	409.33	208.03
1981	352.40	437.60	267.12	324.88	292.00	152.88
1982	397.10	333.73	304.44	449.88	430.47	256.50
1983	476.25	407.03	249.90	456.53	362.57	240.78
1984	389.95	445.64	425.00	562.63	513.23	465.75
1985	604.75	640.23	566.18	745.15	515.00	347.90
1986	529.50	381.00	245.84	449.00	355.30	321.10
1987	462.85	404.67	329.10	404.38	377.47	209.10
1988	295.59	401.97	282.52	253.88	240.74	225.50
1989	360.25	343.65	458.48	564.50	585.00	477.00
1990	512.90	438.30	301.10	605.67	479.33	326.00
1991	580.85	438.05	497.56	519.83	542.33	290.00
1992	476.00	586.35	615.52	558.67	632.00	387.00
1993	523.50	375.25	313.02	523.67	500.00	298.50
1994	553.50	408.75	338.98	470.00	522.00	355.50