

LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES EN EL NOROESTE ARGENTINO

Juan L. Minetti (1), Walter M. Vargas (2) y Sara A. Albarracín (3)

(1) Laboratorio Climatológico Sudamericano, Departamento de Geografía de la UNT y CONICET.

(2) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la UBA, Laboratorio Climatológico Sudamericano y CONICET

(3) Departamento de Geografía de la UNT

RESUMEN

Las aspectos genéticos de la precipitación en el Noroeste Argentino (NOA) son poco conocidos. Mediante el uso de métodos estadísticos de discriminación espacio-temporal se intenta regionalizar a las precipitaciones mensuales y anuales en el NOA, mostrando la importancia de los factores geomorfológicos en la distribución del régimen de variabilidad. En escala mensual y anual se encontraron en general unos seis tipos de regímenes diferenciados, correspondiendo dos de ellos a zonas de contraste neto Ese-Oeste, el de piedemonte húmedo y el árido Puneño en la meseta de altura. Los otros cuatro corresponden a regiones más pequeñas sobre valles y serranías centrales de Salta-Jujuy. Mas hacia el Este se nota una discriminación más latitudinal. Esto estaría correspondiendo a procesos genéticos en la lluvia de mayor escala sobre el llano que sobre el centro-oeste del NOA, donde predominan los procesos de meso escala. En términos estacionales se ha encontrado que los meses de enero, marzo y abril son más homogéneos en la variabilidad espacio-temporal (con menor cantidad de tipos) y octubre el más heterogéneo (con mayor cantidad de tipos). En un análisis espacio temporal de las precipitaciones por regiones discriminadas, se ve que los mayores crecimientos de las mismas en la década de 1970 incluyen a la zona pedeserrana y Puneña, mostrando una clásica inclusión de ambas en cambios de gran escala, aunque en meso escala la génesis de los procesos sea diferenciada. Excluye de este comportamiento lo ocurrido en el valle de los Pericos (Jujuy), como un claro contraste mesoescálico frente a los cambios de gran escala, indicando el nivel de importancia del aislamiento de la región al vapor de agua de componente Este y los mecanismos precipitantes con una sierra de altura media de 1500-2000m ubicada a oriente del mismo.

ABSTRACT

The genetic aspect of the precipitation in the Northeastern of Argentina are not well know. By means of space-temporal statistical methods homogeneous regions are discriminated in monthly and annual precipitation variability series. In annual and monthly scale about of six types of regimenes were found. Two of them (the principals) are contrasted East-West between humid lowland and arid highland (Puna). The other groups corresponds to smaller regions on valleys and low mountains of Salta-Jujuy provincias. More toward the East the discrimination is more latitudinal. This would be corresponding genetic process in the rain of large scale on the plain (synoptic and others), while on the center-west of the NOA are affected by meso scale processes. The precipitation variability of the january, march and april are more homogeneous and october the most heterogeneous with number minor and major of the types respectively. In an analysis of temporal variability of the average annual precipitations by regions, all the types showed positive trends in the decade of 1970. This behavior including both zone, foot-hills rainy and Puna arid, showing a classical inclusion in changes of large scale, although these regions have different genesis in the precipitation. The valley of the Los Pericos (Jujuy) are excluded of the positive trends with different changes of large scale above mentioned, indicating the importance of the vapor isolation with a mountain of 1.500-2.000m snm at East.

INTRODUCCIÓN

Es conocida la característica cuasi-monzónica de la precipitación del Noroeste Argentino (NOA) en su aspecto estacional y distribución espacial, Schwerdtfeger (1976), Prohaska (1952, 1976) y Hoffmann (1975). Sin embargo una serie de aspectos vinculados a la variabilidad espacio-temporal de las mismas no son bien conocidas aunque tengan un gran impacto en las actividades agrícolas-ganaderas y energéticas.

Algunos trabajos previos (Pittock, 1980; Poblete y otros, 1989, Minetti y otros, 2000), muestran al NOA caracterizado por una multiplicidad de regímenes de variabilidad aperiódico interanual de las precipitaciones asociadas a la presencia de una topografía muy irregular que contribuye a la generación de precipitaciones en meso escala (Necco, 1980). Estas precipitaciones serranas y de valles (Jagsich, 1954) han generado seguramente un régimen particular de variabilidad que se pretende analizar, ya sea como variabilidad espacio-temporal, o simplemente temporal.

Pocos antecedentes existen sobre esto en la región. Algunos de ellos se han realizado con motivo de la evaluación de regiones homogéneas espacio-temporal a los efectos del control de calidad de los datos. Estos se han llevado a cabo operativamente en el control de puestos pluviométricos con estaciones meteorológicas, mediante pruebas de homogeneidad absoluta y relativas (WMO, 1966). Otras se analizaron como régimen de variabilidad en las bajas frecuencias (tendencias, saltos y oscilaciones medias), asociadas a cambios que se observaron en sistemas de producción agrícolas-ganaderas o hidro energético (Minetti y otros, 1980; Minetti y Sierra, 1984; Minetti y Poblete, 1989, Minetti y Vargas, 1998; Minetti y Lamelas, 1995; Vargas y otros, 2002). Un trabajo sistemático que cubra a todo el espectro de la variabilidad en diversas escalas se pretende en este apartado con el objeto de entender sobre los procesos que la generan, en particular los de corta y gran escala.

DATOS Y METODOS

Para el análisis de la variabilidad espacio-temporal se emplearon datos pluviométricos del período 1951-80 de la red de estaciones meteorológicas y puestos pluviométricos, la mayor parte proveniente del Servicio Meteorológico Nacional. Esta información fue analizada con métodos de homogeneidad absoluta y relativa (WMO, 1966), durante el período 1916-2001, todas ellas almacenadas y elaboradas en el Laboratorio Climatológico Sudamericano. Para la detección de los modelos espacio-temporales de variabilidad se ha empleado el método de Lund (1969) que trabaja a partir de una matriz de correlaciones seleccionando regiones homogéneas con una localidad cabecera. Este método modificado por Minetti y Sierra (1989) se ha utilizado para el cómputo de la variabilidad media por tipos o modelos. En los análisis temporales de la variabilidad media interanual por tipos o modelos se han utilizado polinomios de grado superior (3er. Grado) para ver las inflexiones en el largo plazo y promedios móviles de once años para ver las oscilaciones de media frecuencia.

RESULTADOS

La **figura 1** muestra un esquema de la topografía de la región NOA, donde se resalta a las cumbres que son divisorias de aguas superficiales (ríos) y vapor atmosférico, además de la red de datos utilizados y rumbo en dos transectas donde se realizan análisis de asociación entre series de precipitación. Previo al análisis de homogeneidad espacio-temporal de las precipitaciones anuales y mensuales ha sido necesario rever algunos aspectos de la topo climatología regional como: a) el impacto de la topografía en la selección de campos homogéneos, b) el impacto de tendencias y saltos en la correlación-asociación entre series, en los análisis de variabilidad rápida (de mesoescala), c) el impacto de períodos secos o lluviosos en las correlaciones, d) el impacto de la estación del año en los niveles de asociación debido a los cambios genéticos de la precipitación.

- a) La topografía juega un rol importante en la distribución de campos homogéneos en la variabilidad interanual de la precipitación. Para ver estos aspectos ya analizados previamente en una región piloto en la provincia de San Juan (Minetti y otros, 1986), se muestran las figuras 2 y 3. En la **figura 2** puede observarse en una transecta E-W la atenuación con la distancia de los niveles de correlación entre series de precipitaciones anuales desde una localidad elegida sobre la región pedregosa característica del NOA (San Miguel de Tucumán-SMT). En la transecta W-E desde Santa María (Catamarca) hasta Campo Gallo-GAL (Santiago del Estero) puede verse que la atenuación es más rápida cuando el rumbo tomado es hacia el Oeste de S.M. de Tucumán, de tal manera que a 65 Km ha perdido asociación con un nivel del 5% en la correlación. Esto no ocurre así cuando el rumbo es hacia el Este ya que a 232 Km de SMT con Campo Gallo aún sostiene una correlación significativa al 5 y 1%. La rápida atenuación de la asociación hacia el Oeste es debida principalmente al cambio en el régimen de precipitaciones que impone la gran divisoria de aguas y vapor del sistema serrano del Aconquija-Cumbres Calchaquíes. Nótese que el decrecimiento rápido

ya se ve con la altura en la relación de SMT con Tafí del Valle, ubicada esta última a 1900m snm con un filo serrano antepuesto al Este. El mantenimiento hacia oriente de SMT de las asociaciones a gran distancia indica la intervención de algún mecanismo genético de las precipitaciones en ambos sectores (pie de cerro y chaco semiárido). Sin duda que estos mecanismos por la escala considerada superan ampliamente a los mesoscálicos, tales como los frontales y otros, ya descritos anteriormente para el Norte Argentino por Wolcken (1954) y Hoffmann (1971). La inhomogeneidad específica originada por la actividad de precipitaciones serranas podría verse en el cruce de las curvas de correlación cuando el rumbo es SMT-GAL con la reversa GAL-SMT. Aquí puede verse que aún dentro del nivel de significación estadística, las correlaciones significativas son mayores con la distancia en el rumbo GAL-SMT (172 Km.), que SMT-GAL (60 Km.). El efecto serrano sobre las precipitaciones anuales del NOA, también podría alcanzar al eje más seco del subtropical-semiárido que se dirige con rumbo S-N con valores de precipitaciones anuales del orden de 450-550mm (Minetti, 1999). El mismo está ubicado a unos 120 Km al este de SMT. Aún en el caso más estricto, con niveles de significación estadística del 1% la correlación recién decaería a los 180 Km al Este de SMT. Esto indicaría la existencia de una región muy homogénea en la variabilidad de la precipitación sobre la zona pedeserrana del NOA, bien diferenciada de otra que se encontraría sobre el Altiplano (extendido hacia Catamarca) echo que se mostrará más adelante. La **figura 3** en cambio muestra otro aspecto importante de un efecto topográfico sobre el régimen de variabilidad. Sobre una transecta Sur-Norte que atraviese la provincia de Tucumán desde la localidad de Taco Ralo (ALO) hasta Leocadio Paz (PAZ) se observan los siguientes hechos cuando se parte de SMT con las correlaciones hacia el Sur o Norte respectivamente. A 120 Km al Sur de SMT sobre ALO la correlación casi alcanza la significación del 1%, igualmente que si se calcula hacia el Este de SMT. En cambio si se avanza hacia el Norte, al pasar de Tafí Viejo a Tapia dentro de la Olla de Trancas (una región semiárida) el régimen de variabilidad interanual cambia y cae la correlación. A la distancia de 60 Km hacia el Norte no existe correlación significativa ni en el nivel del 5%. Este nuevo modelo que surge sobre el Norte de SMT se debería al cambio en el régimen genético de las lluvias sobre la olla de Trancas, al amparo del cerro de Medina-La Candelaria, ubicadas más al Este, aunque la elevación promedio de éstas sea del orden de los 1500m snm. Más adelante se verá que sierras de este tipo han generado más al Norte sobre el Valle de los Pericos-Libertador Gral. San Martín un claro modelo diferenciado del resto.

- b) El efecto de una pérdida de estacionaridad en las series de datos de precipitación originados por procesos naturales de tipo tendencia o salto climático como los mostrados por Minetti y Vargas (1998), originan un aumento de la correlación entre series vecinas, de tal manera que si el análisis se realiza con series decadales la cantidad de modelos homogéneos que pueden aparecer son mayores pero no se puede garantizar la estabilidad de ellos entre décadas, debido a la inestabilidad misma de los sistemas mesoscálicos. Minetti y otros (1986) mostraron en un estudio piloto con series de precipitaciones anuales desde San Juan al Sur, que correlaciones significativas al 5% aparecían hasta los 32 Km de distancia con longitudes de series de 5 años, 82 Km con series de 7 años, 98 Km con series de 15 años y más de 105 Km en series mayores que 13 años. En este estudio se emplearon series anuales de 30 años para el cálculo de correlaciones múltiples y se aumentó el número de años a 49 años en series mensuales para obtener resultados más estables. También se han seleccionado a tres niveles de significación estadística para la delimitación de los modelos homogéneos, aunque sólo se publican dos. Un análisis decádico puede ser importante desde el punto de vista evolutivo del clima con el tiempo sobre una región, pero escapa al interés de este trabajo.
- c) En general los períodos secos son más homogéneos que los lluviosos, estos últimos por corresponder a una mayor presencia de fenómenos mesoscálicos, que aumentan el nivel de "ruido no correlacionable". Las sequías climáticas de hecho son fenómenos de mayor escala que los picos lluviosos en las series, sin embargo en el NOA, Minetti y Bobba (1998) mostraron que es poco probable encontrar una sequía arealmente extendida por la presencia generación de fenómenos de meso escala. La mayor homogeneidad de los campos de precipitación bajo sequía hace que en largos períodos bajo esta condición la correlación sea mayor y viceversa en los períodos más lluviosos. También como una consecuencia de esto la cantidad de modelos que aparecerían en períodos secos sería menor que la de un período lluvioso.
- d) En la **figura 4** se ve el mismo análisis anual para los meses extremos del año (enero y julio). En el rumbo oeste-este (SMT-GAL) está a la vista que los procesos veraniegos arrojan menos homogeneidad que los invernales al atenuar más rápidamente la curva de correlación con la

distancia. En enero las correlaciones significativas al 1°^{oo} llegan hasta los 95 Km y en julio supera a los 232 Km (la distancia entre SMT-GAL). Esto sería una explicación de la importancia de los procesos de menor escala del verano sobre los invernales. Es conocida la influencia de la falta de normalidad en las series invernales de precipitación y esto afecta a las correlaciones entre ellas Cantatore (1980), ya que el método exige que ambas variables provengan de una distribución normal. Si bien esta exigencia es poco probable de cumplir en general para la precipitación, ésta es poco sesgada en verano y muy sesgada durante el invierno. Los errores que se pueden cometer se ven en la misma **figura 4**, donde se ha tratado de resolver este problema aplicando una transformada sobre ambas variables de la forma $Y = \text{Log}(X + 10)$. Esta transformada resuelve el problema de una gran cantidad de ceros y el sesgo de la distribución. La **figura 3** muestra que la correlación cae en todos los casos del valor original estimado, sin embargo sobre el Este de la divisoria de aguas / vapor y alejado de la zona serrana el error no es muy grande. Sobre el Oeste serrano y zona árida Puneña el error crece notablemente. De todos modos aún con los errores de estima, se confirma que los procesos de precipitación invernal cubren una gran escala con respecto a los veraniegos.

Las **figuras 5a,b** a la **16a,b** muestran los campos homogéneos de precipitaciones en el NOA para el período 1941-89 (N = 49 años). El período abarcado cubre al período más reciente con información, ya que a partir de 1989, desaparece gran parte de esta red pluviométrica en mesoescala. Para N = 49 años, las correlaciones significativas diferentes de cero a los niveles del 5%, 1% y 1°^{oo} son 0.28, 0.36 y 0.45 respectivamente. Las correlaciones de 0.3 y 0.4 elegidas para este análisis están muy cerca de los extremos del 5% y 1°^{oo}. Con baja exigencia (r = 0.3) encontramos grandes áreas homogéneas que tienen que ver más con procesos genéticos de la lluvia de mayor escala, unas cuatro con un mínimo en marzo y abril de tres y un máximo de seis modelos en octubre. Con mayor exigencia (r = 0.4) se pueden encontrar unas seis áreas homogéneas que responderían a procesos genéticos de menor escala, con un mínimo de cuatro modelos en enero y julio y un máximo de nueve modelos en octubre.

En todos los meses analizados sin exclusión el modelo uno ("Tipo 1") corresponde a un régimen de variabilidad de la zona serrana, pede-serrana cubriendo a la mayor parte del NOA desde el límite con Bolivia al Norte hasta el borde Sur del área analizada, límite de la provincia de Santiago con la provincia de Córdoba. En todos los meses se puede observar una diferenciación de los modelos entre el "Tipo 1" con el régimen de variabilidad de la meseta alta del Oeste (Puneña), aunque la cantidad de localidades analizadas en esta última sea escasa, corroborando con ello lo encontrado en las **figuras 2 y 4** para los valores anuales, enero y julio en las transectas propuestas.

Con información más general como la anual se ha realizado el mismo análisis cambiando de período al 1951-80 (N = 30 años) con tres niveles de correlación (0.35, 0.45 y 0.55 en las **figuras 17a,b** y **18a**). También se han reducido el número de localidades (antes con un punto y ahora con punto y círculo). Con correlaciones significativas y bajas (r = 0.35) se observa al "Tipo 1" como un régimen serrano-pedeserrano en todo el NOA, un régimen de "Tipo 2" lindante con el NEA más húmedo que penetra hacia el NOA, un "Tipo 3" netamente Puneño y un "Tipo 4" de "isla" en el Valle de Los Pericos, ya comentado anteriormente al analizar la transecta Sur-Norte sobre la provincia de Tucumán, cuando se avanza sobre la olla de Trancas. Al levantar el nivel de exigencia (r = 0.55) quedan claro los dos regímenes básicos del NOA, el serrano-pedeserrano que apenas se extiende hacia el Norte por el Este del cerro Maíz Gordo al Este de la provincia de Jujuy y un régimen Puneño extendido por toda la zona árida hacia La Rioja. Se ve la discriminación a lo largo de los meridianos que generaría la divisoria de aguas / vapor de la cordillera más alta, en cambio hacia el Este la disposición de los tipos parece ser latitudinal, respondiendo a procesos de genéticos de la precipitación en mayor escala. La atomización de regímenes debido a los procesos de mesoescala se produce notablemente sobre los valles y serranías de Salta-Jujuy (Tipos 3,4,5 y 6). La **figura 18b** muestra las distancias establecidas entre las cabeceras de grupos, y la atomización de modelos sobre Salta-Jujuy.

Las **figuras 19 y 20** muestran los comportamientos temporales promedios de las precipitaciones anuales por tipos (1 a 6). Todos ellos sin exclusión muestran un aumento notable de la precipitación sobre la década de 1970. En la **figura 21** se presentan sólo las tendencias para su comparación. En ella se ve que el aumento de precipitaciones medias registrado en el NOA no excluye a la zona árida del Oeste, que tiene antepuesto al flujo de humedad que proviene del Este, un cordón orográfico considerable cuya altura media es de 4000 m o más.

Las **figuras 22 y 23** muestran los promedios móviles de once años y tendencias de las precipitaciones anuales medias registradas por cada una de las zonas de tipos 1, 2 y 6 anteriormente discriminadas. Se analizan entonces a las regiones serrana-pedeserrana (Tipo 1), la Puneña (Tipo 2) y la de un valle intermontano (Tipo 6). Es notable el hecho de haber acompañado en la tendencia los cambios de la región húmeda y árida del NOA (Tipos 1 y 2). También es singular el comportamiento del Valle de los Pericos con una incipiente tendencia al decrecimiento de las precipitaciones observado en la década pasada.

La **figura 22** también muestra que el “salto climático positivo” detectado en la década de 1950 en el NOA por Minetti y Vargas (1998) es mucho mayor en la década de 1970, hecho que se lo ve como una tendencia al cambio según la **figura 23**.

En síntesis, se han encontrado en el Noroeste Argentino seis tipos básicos de variabilidad en la precipitación que cubren a regiones meso climáticas importantes. Esto en general se da a escala mensual o anual. Los dos principales tipos corresponden, uno a un régimen serrano-pedeserrano (húmedo) con mayor cobertura espacial y otro Puneño árido en la meseta de altura. Los otros cuatro regímenes de variabilidad en general se extienden con menores superficies sobre valles y serranías centrales de las provincias Salta y Jujuy. En este comportamiento la presencia de una gran divisoria de aguas / vapor y otras serranías de menor altura juegan un rol importante para las génesis de las precipitaciones en la dirección Este-Oeste. Más al Este se observa una discriminación latitudinal del régimen de variabilidad y esto sería consecuencia de procesos de mayor escala vinculado (sinópticos) a la variabilidad de la precipitación. También se ha encontrado que alturas montañosas menores con promedios del orden de 1500m generan amparos húmedos sobre valles interiores del NOA, no solo en el régimen del total anual de lluvia, sino también en las génesis de éstas, observada aquí por diferentes tipos de variabilidades interanuales. Un caso claro de esto corresponde al encontrado en el Valle de los Pericos (Jujuy). En particular se ha observado que los meses de marzo-abril y enero poseen más homogeneidad los campos de precipitación, y el mes de octubre la mayor heterogeneidad. Se ha observado en el largo plazo que las tendencias de las precipitaciones de la zona árida del Oeste-Puneña acompañó a los cambios de la zona húmeda (serrana-pedeserrana), y que se excluye a este comportamiento lo que ocurre en el Valle de los Perico (Jujuy). En las fluctuaciones de media frecuencia, se observa que los crecimientos de las precipitaciones de la década de 1970 son mayores que los observados en la década de 1950 cuando cambió la marcha de las tendencias de las precipitaciones de Argentina subtropical.

Desde el punto de vista de los campos de homogeneidad también se vio que los procesos convectivos serranos generan ruido no correlacionable en las precipitaciones de verano (enero) de tal manera que la homogeneidad se extiende hacia el Este de la serranía hasta unos 100 Km, en cambio en invierno (julio) en ausencia de éstas la homogeneidad se duplica en distancia.

En lo particular se pudo ver además que la pérdida de normalidad en las series invernales de precipitación (julio) aumenta en general las correlaciones, sin embargo estos estimadores son seriamente afectados cuando el análisis se realiza con información de la región árida del Oeste.

LITERATURA CITADA

- Cantatore de Frank N.M., 1980: Manual de estadística aplicada. Ed.Hemisferio Sur, 395 pgs.
- Hoffmann, J.A.J., 1971: Frentes, masas de aire y precipitaciones en el Norte Argentino. Meteorológica, vol. VII, Nros. 1, 2, 3. CAM.
- Hoffmann, J.A.J., 1975: Atlas climático de América del Sur. WMO-UNESCO. Budapest.
- Jagsich, J., 1954: Meteorología Física-El Tiempo. Ed. Kapelusz, 547 pgs.
- Lund, I.A., 1969: Map classification by statistical methods. J.Appl.Meteorol, 2, 56-65.
- Minetti, J.L., R.A. Neder, C.A. Gargiulo y J.C. Sal Paz, 1980: Impacto del clima sobre la producción de caña de azúcar en Tucumán. Pub. Misc. Nro 72, 45-93. EEAOC.
- Minetti, J.L. y E.M. Sierra, 1984: La expansión de la frontera agrícola en Tucumán y el diagnóstico climático. RIAT 61, Nro. 2, 109-126. EEAOC.
- Minetti, J.L., P.M. Barbieri, M.C. Carletto, A.G. Poblete y E.M. Sierra, 1986: El régimen de precipitaciones de San Juan y su entorno. Inf. Téc. Nro. 8. CIRSAJ-CONICET. 300 pgs.
- Minetti, J.L. and E.M. Sierra, 1989: The influence of general circulation patterns on humid and dry years in the Cuyo Andean Region of Argentina. Int.Jou.of Climatology, vol 9, 55-68.
- Minetti, J.L., y A.G. Poblete, 1989: El salto climático de la década de 1950 en Tucumán, análisis de diagnóstico y consecuencia. RIAT 66, Nro. 1, 119-136. EEAOC.

- Minetti, J.L. y C.M. Lamelas, 1995: *Respuesta regional de la soja en Tucumán en el período 1961-90, como consecuencia del salto climático*. RIAT 72, Nros. 1-2, 63-68. EEAOC.
- Minetti, J.L. y W.M. Vargas, 1998: *Trends and Jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S*. *Atmósfera* 11, Nro. 4, 205-222.
- Minetti, J.L. y M.E. Bobba, 1998: *Las sequías regionales en el Noroeste Argentino*. *Rev. Dpto. de Geo.* Año IV, Nro. 4, 43-49. UNT.
- Minetti, J.L., 1999: *Atlas climático del Noroeste Argentino*. Laboratorio Climatológico Sudamericano. 108 pgs.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas, L.R. Acuña, Luis R. de la Zerda, y A.G. Poblete., 2000: *Tendencias actuales de la precipitación anual en Argentina y Chile-Impactos*. *Rev. de Geografía*, Año 3, Nro. 4, 10-20. IGA-UNSJ.
- Necco, G.V., 1980: *Curso de cinemática y dinámica de la atmósfera*. EUDEBA, 287 pgs.
- Pittock, B.A., 1980: *Modelos de variación climática en Argentina y Chile. Sección I-Precipitación 1931-60*. *Meteorológica*. Vol. 11, Nro. 1, 73-97.
- Poblete, A.G., J.L. Minetti y E.M. Sierra, 1989: *La influencia del régimen hídrico Andino-Puneño en el oasis del Noroeste Argentino y Cuyo*. *Rev. Geofísica* Nro. 30, 137-154. IPGH-OEA.
- Prohaska, F., 1952: *Regímenes estacionales de precipitación de Sudamérica y mares vecinos*. *Meteoros*, 2, 66-100.
- Prohaska, F., 1976: *The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay*. Elsevier Scientific Publishing Company, 13-112.
- Schwerdtfeger, W., 1976: *The atmospheric circulation over Central and South America*. En *Climates of Central and South America*. Elsevier Scientific Publishing Company, 1-12.
- Vargas, W.M., J.L. Minetti y A.G. Poblete, 2002: *Low-frequency oscillations in climatic and hydrological variables in southern South America's tropical-subtropical regions*. *Theor. and Appl. Clim.* 75, 1-12.
- WMO-World Meteorological Organization, 1966: *Climate Change*. Tech. Note Nro. 79.
- Wolcken, K., 1954: *Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina*. *Meteoros* Año IV, Nro. 4, 327-366. SMN.

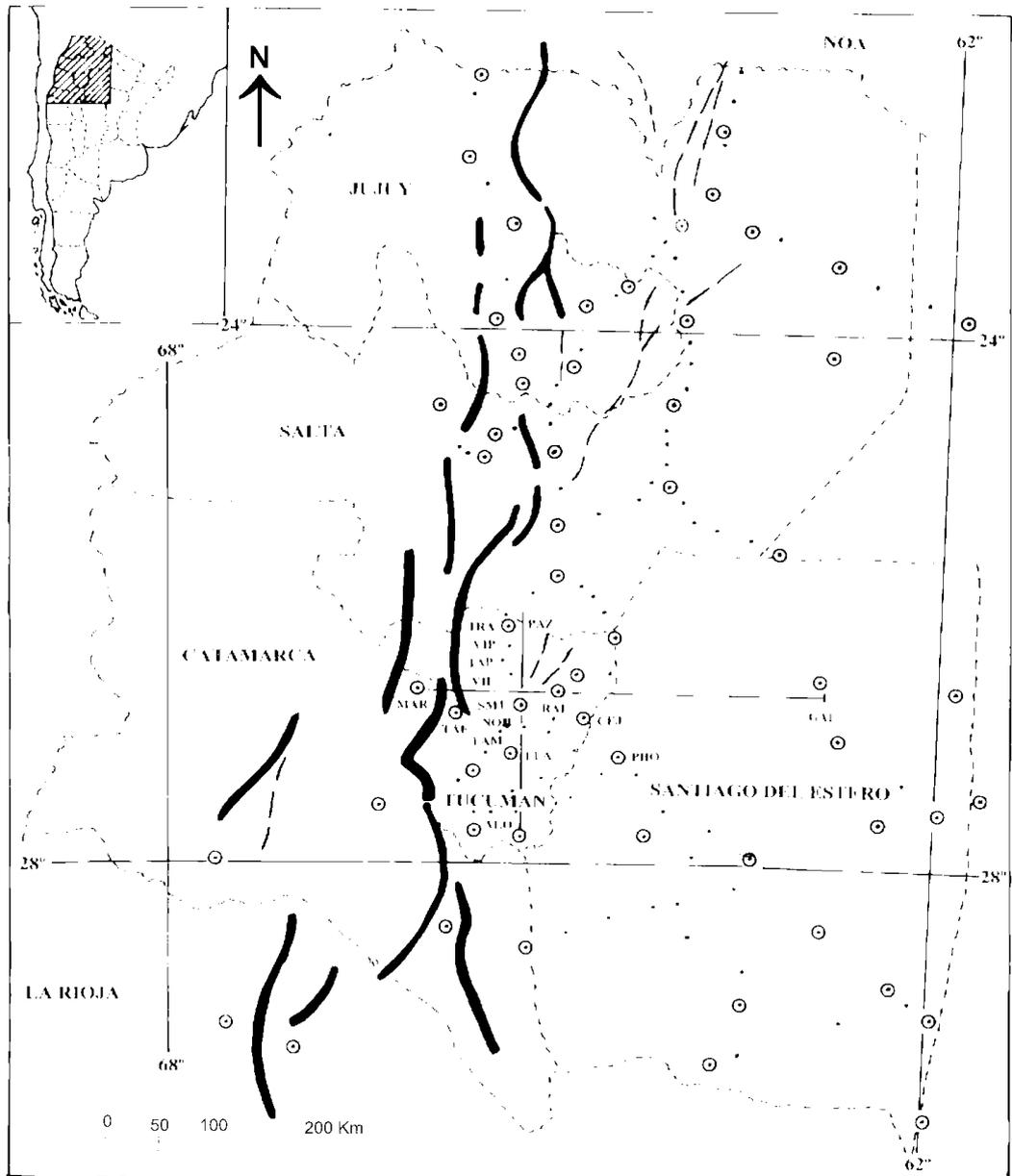


Figura 1: Región de estudio. Se indican los puestos pluviométricos utilizados para el análisis en escala mensual (puntos y círculos) y en escala anual (círculos). También se grafican las principales montañas divisorias de aguas líquidas y vapor (con líneas gruesas) y otras de menor elevación (con trazos). Sobre las provincias de Tucumán, Santiago del estero y Catamarca se grafican las posiciones de las transectas analizadas como casos particulares.

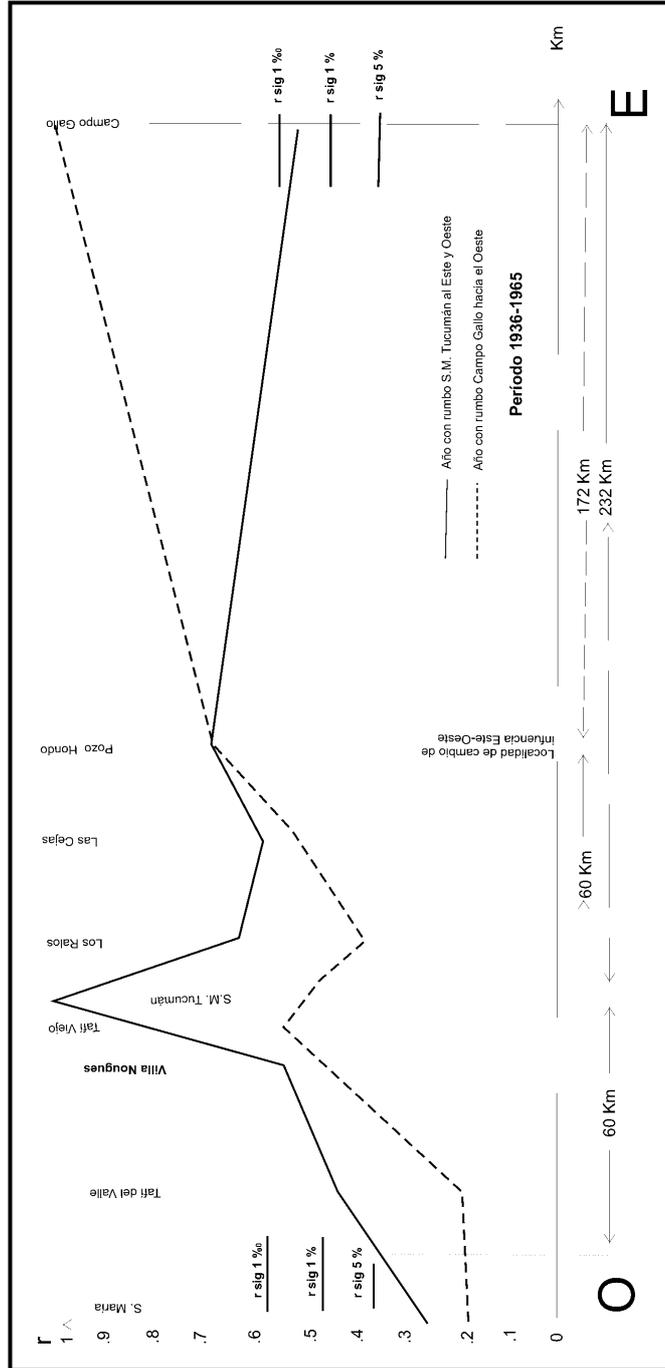


Figura 1: Correlaciones entre las principales precipitaciones anuales de San Miguel de Tucumán con otras localidades del este y oeste respectivamente (línea llena). En la gráfica se realiza el mismo análisis desde Campo Gallo hacia el Oeste (línea quebrada).

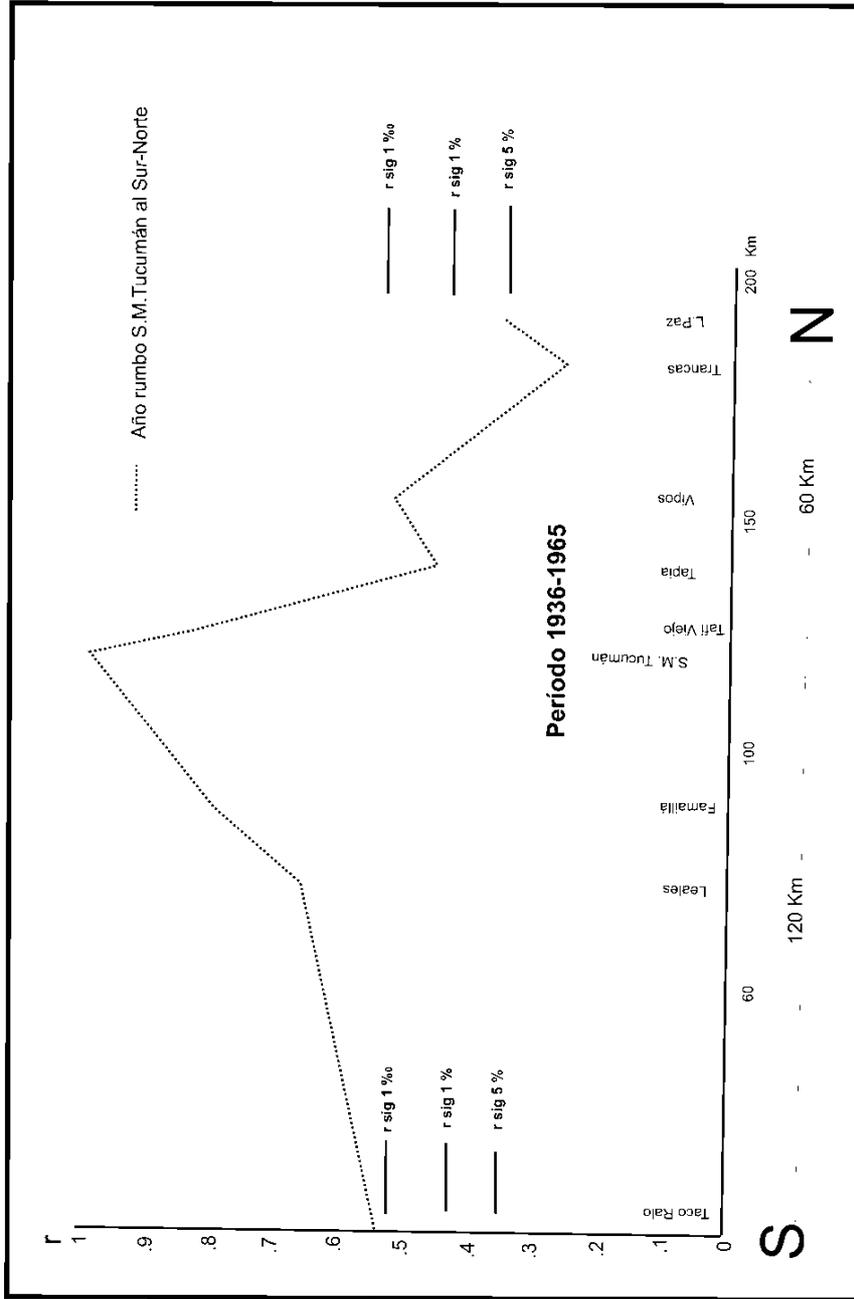


Figura 3. Idem a la figura 2 desde san Miguel de Tucumán hacia el sur y al norte respectivamente.

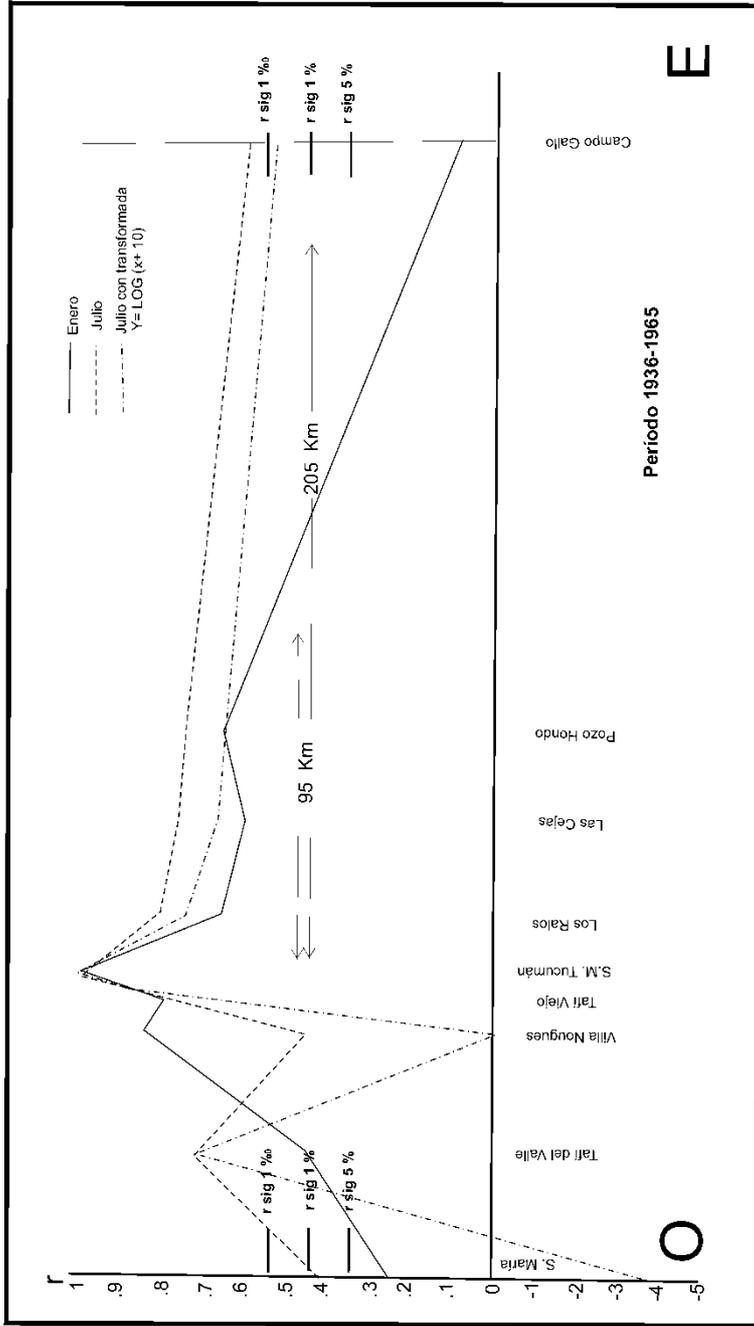


Figura 4. Idem a la figura 2 con precipitaciones mensuales de enero (línea llena), julio (línea quebrada) y esta última transformada para evitar ceros y con logaritmo decimal (línea quebrada como puntos).

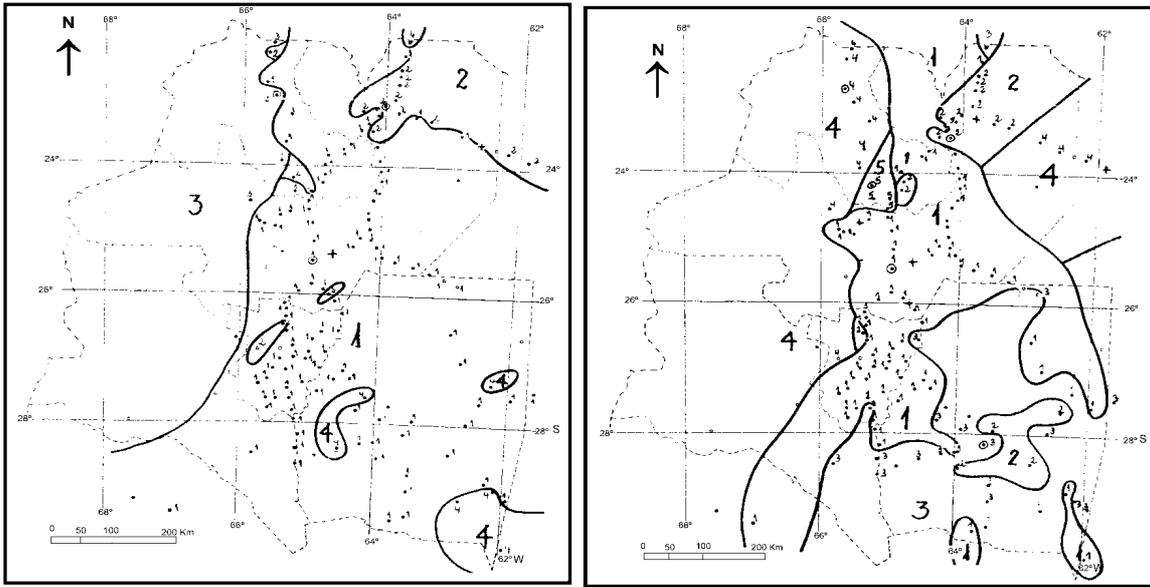


Figura 5 a y b. Campos de homogeneidad obtenidos por el método de Lund en la precipitación mensual de enero con niveles de correlación iguales o superiores de 0.3 0.4 respectivamente.

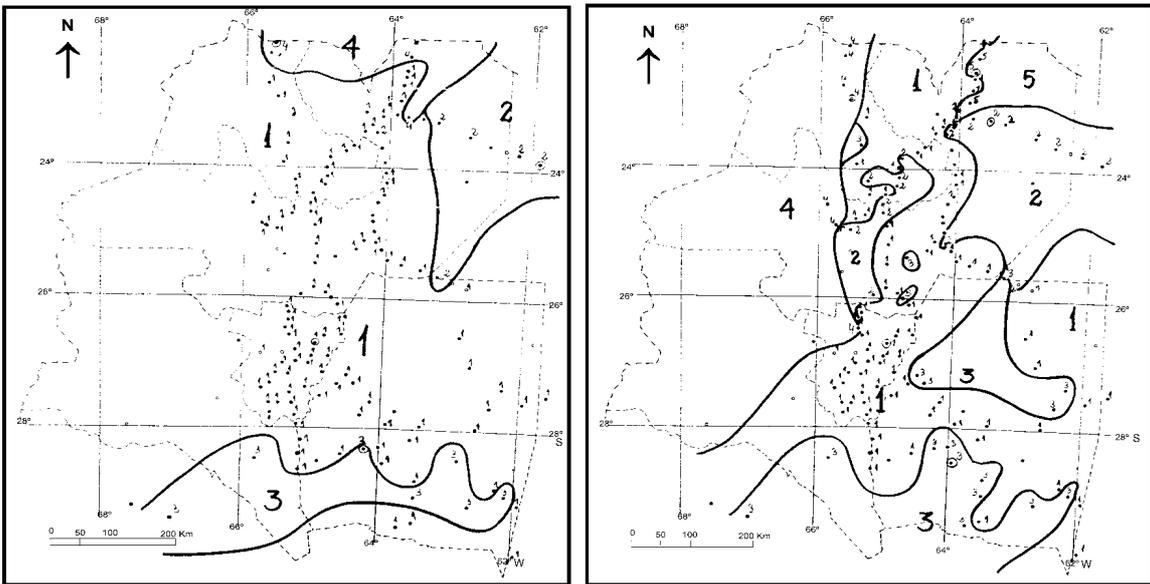


Figura 6 a y b. Idem a la figura 5 a y b para febrero.

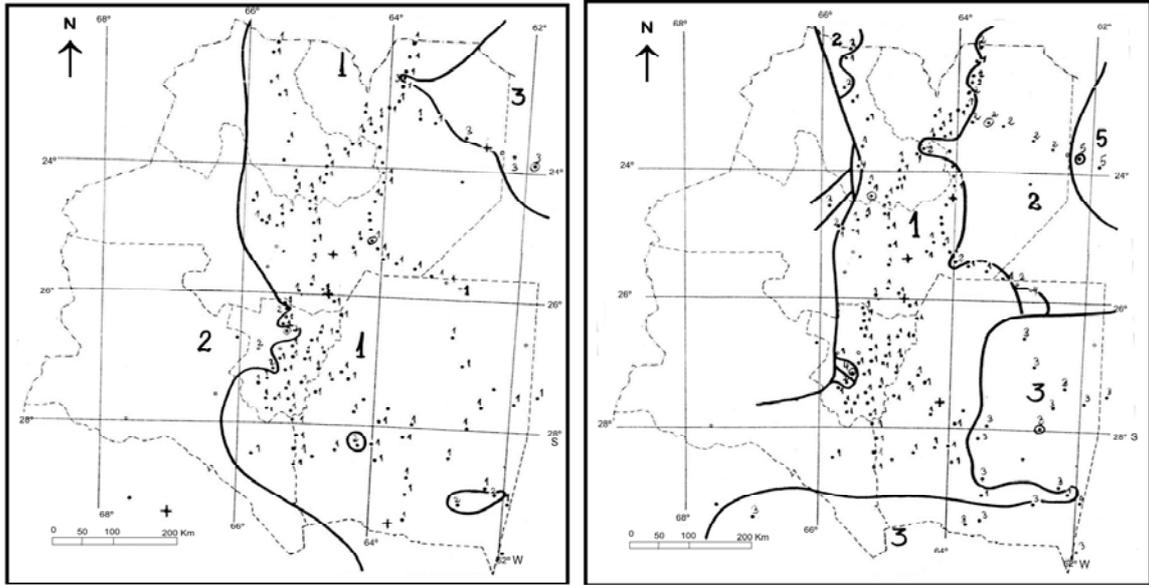


Figura 7 a y b. Idem a la figura 5 a y b para marzo.

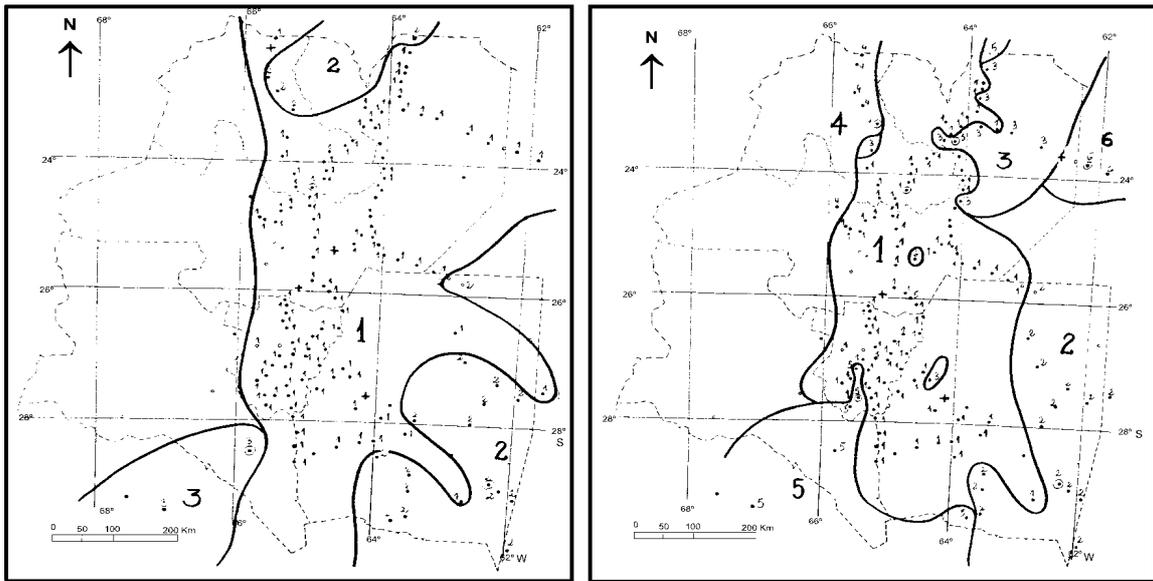


Figura 8 a y b. Idem a la figura 5 a y b para abril.

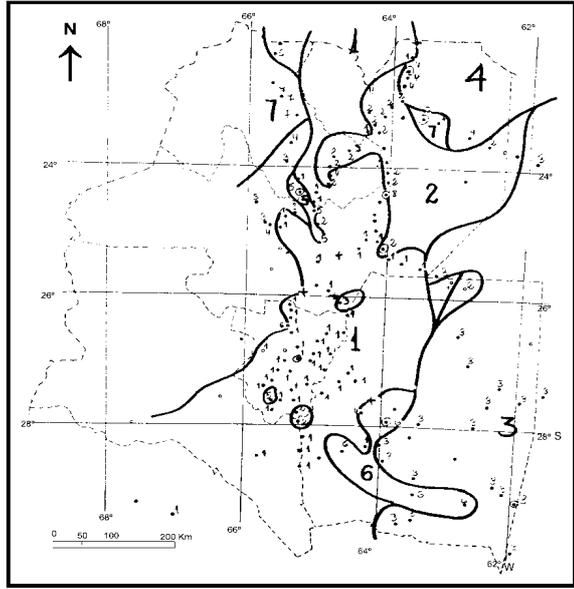
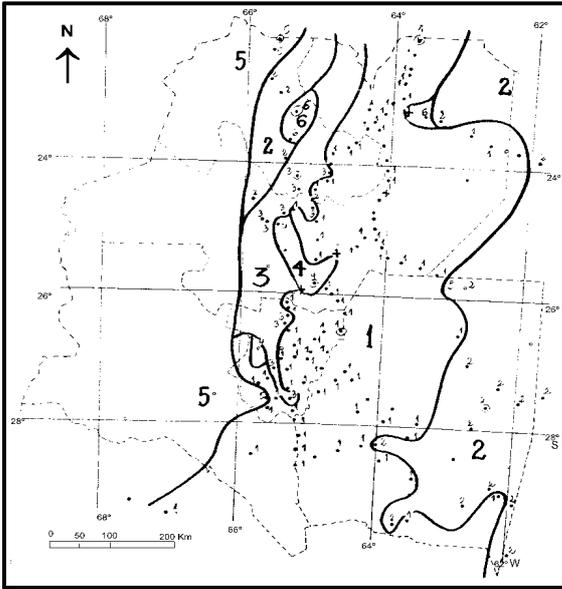


Figura 9 a y b. Idem a la figura 5 a y b para mayo.

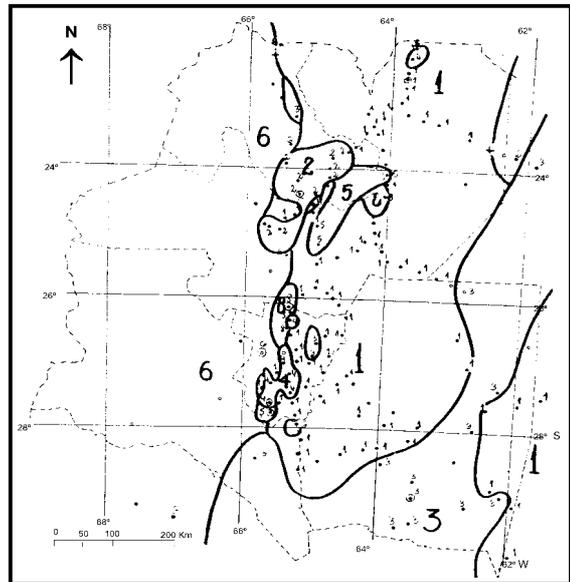
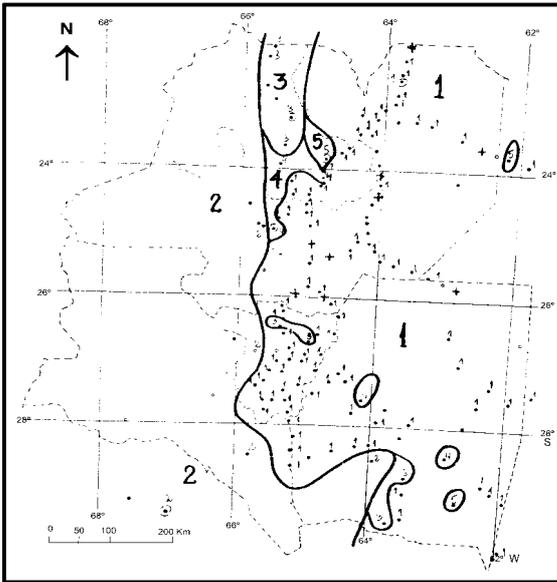


Figura 10 a y b. Idem a la figura 5 a y b para junio.

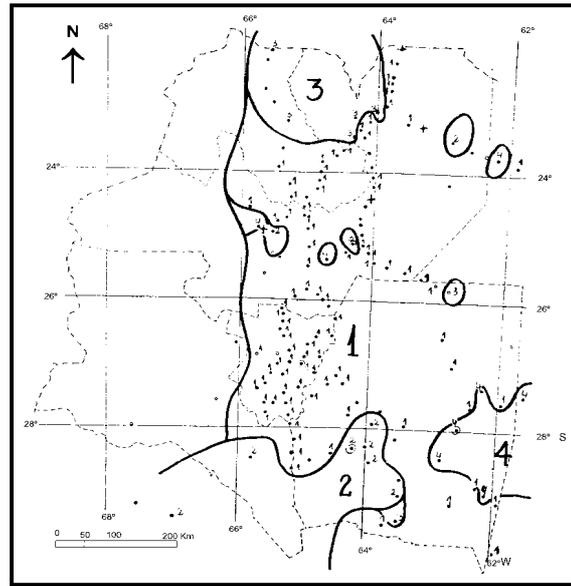
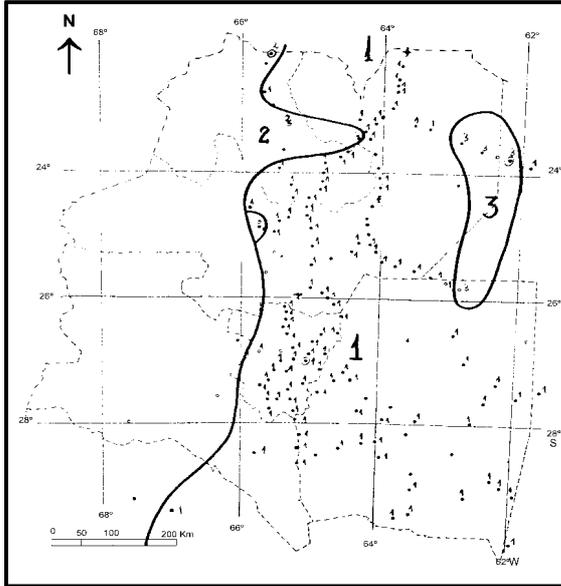


Figura 11 a y b. Idem a la figura 5 a y b para julio.

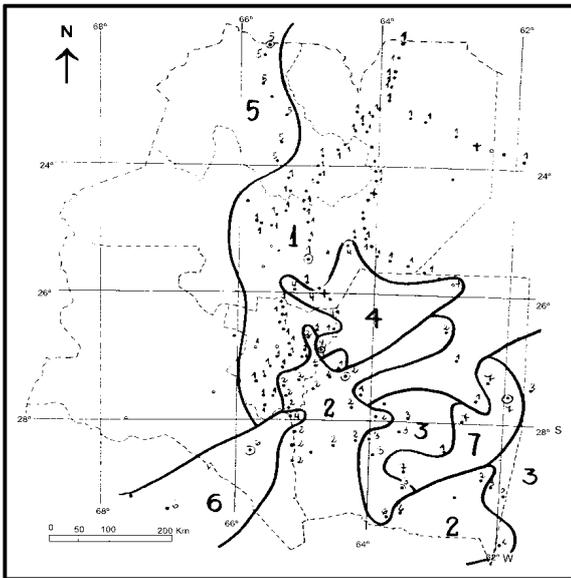
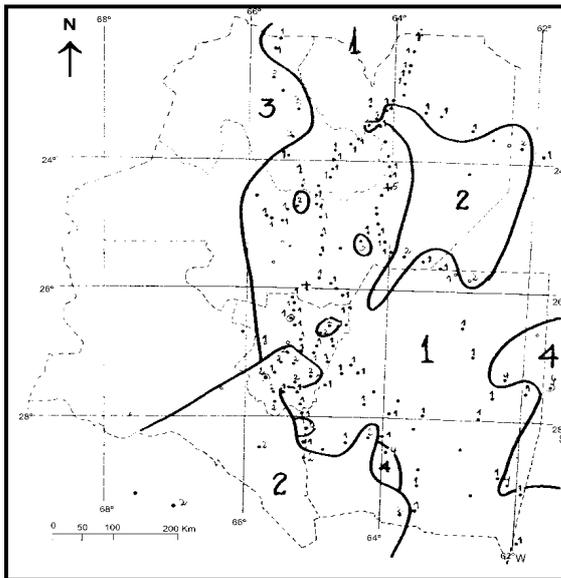


Figura 12 a y b. Idem a la figura 5 a y b para agosto.

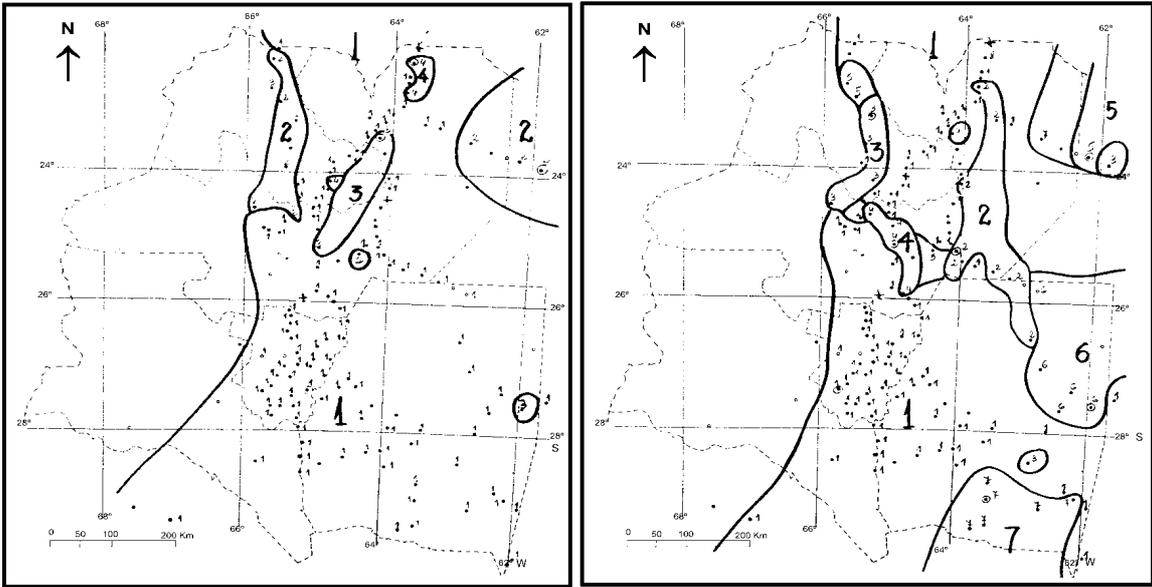


Figura 13 a y b. Idem a la figura 5 a y b para setiembre.

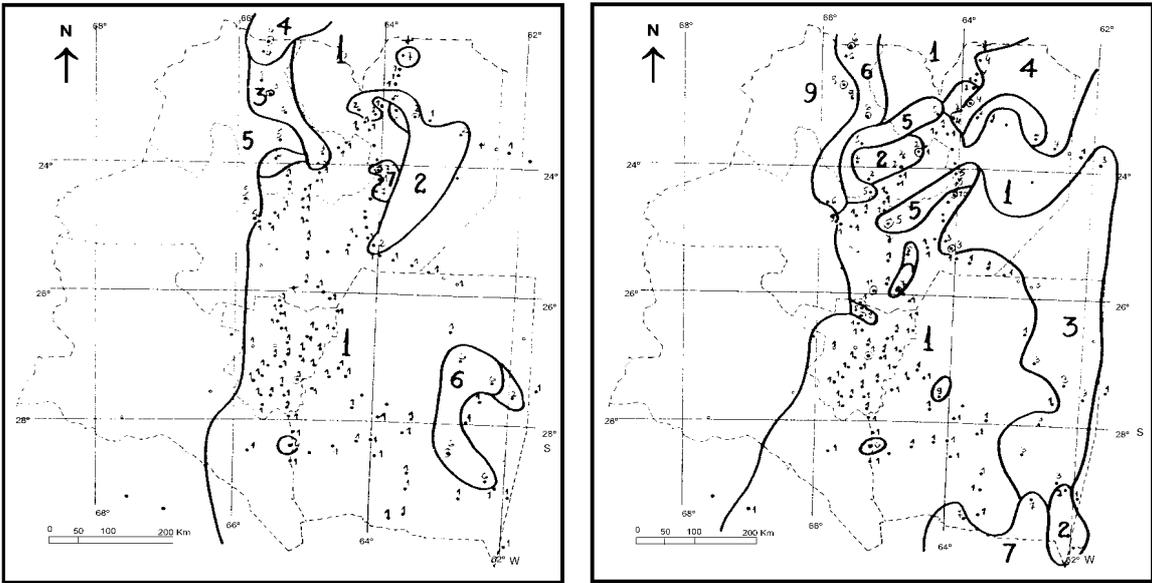


Figura 14 a y b. Idem a la figura 5 a y b para octubre.

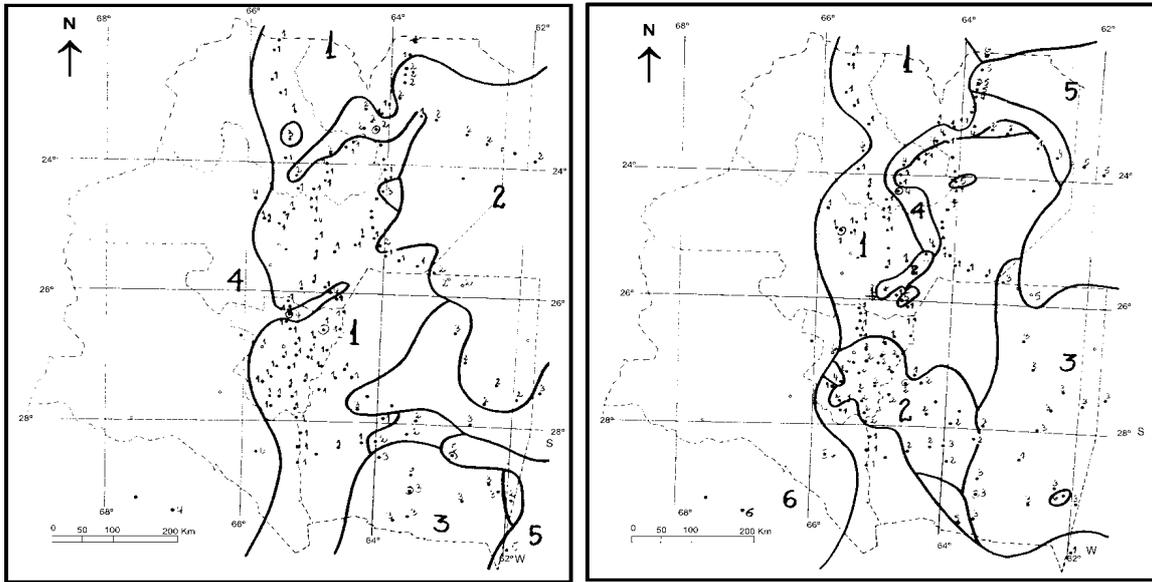


Figura 15 a y b. Idem a la figura 5 a y b para noviembre.

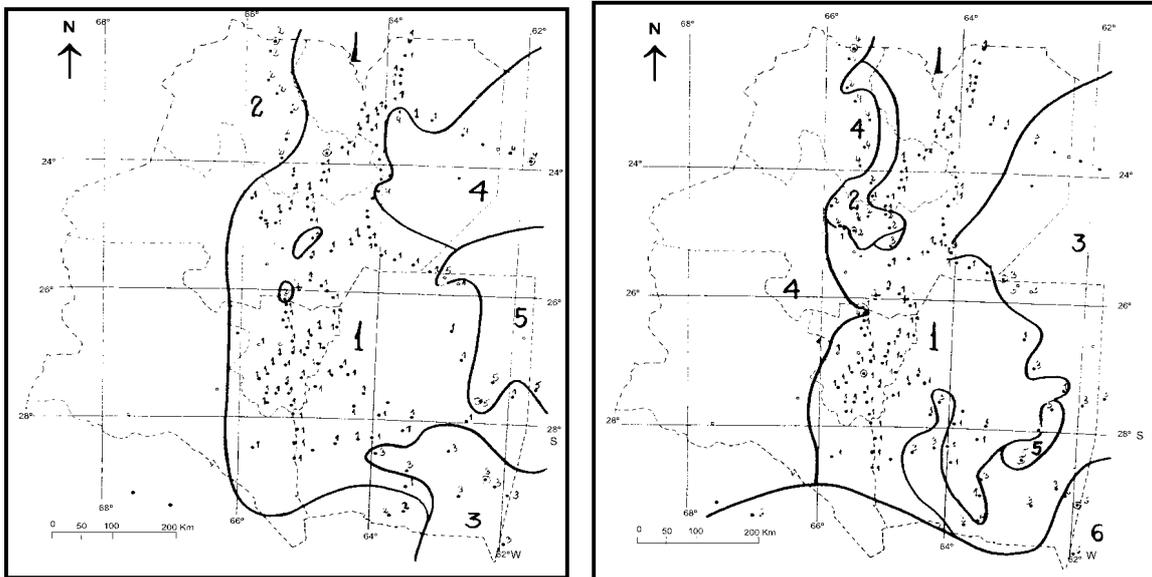


Figura 16 a y b. Idem a la figura 5 a y b para diciembre.

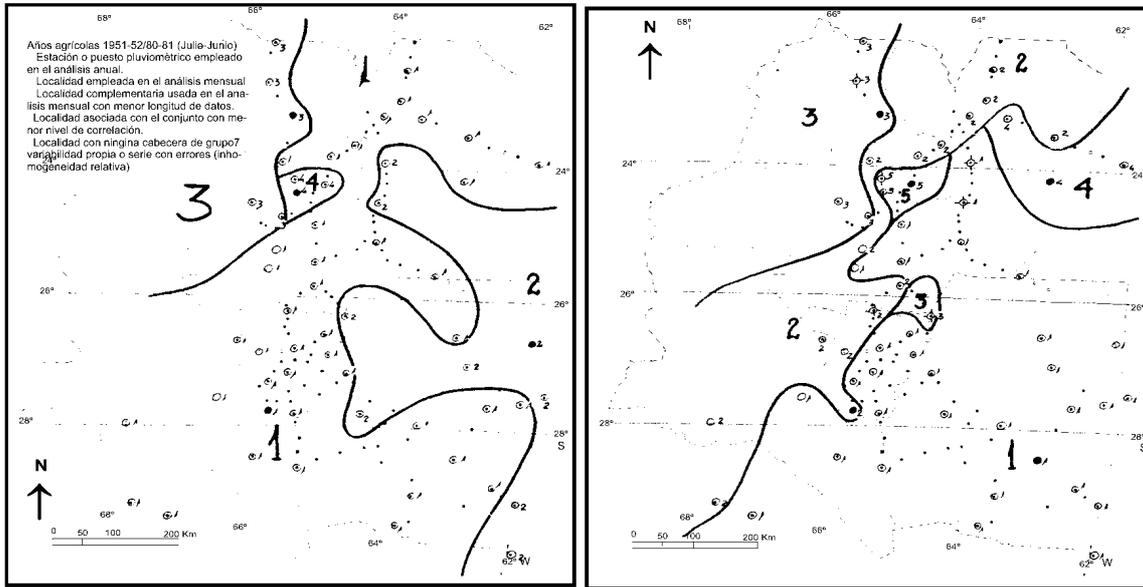


Figura 17. Idem a la figura 5 a y b para el año con niveles de correlaciones iguales o superiores de 0.35 y 0.45. Izquierda y derecha respectivamente.

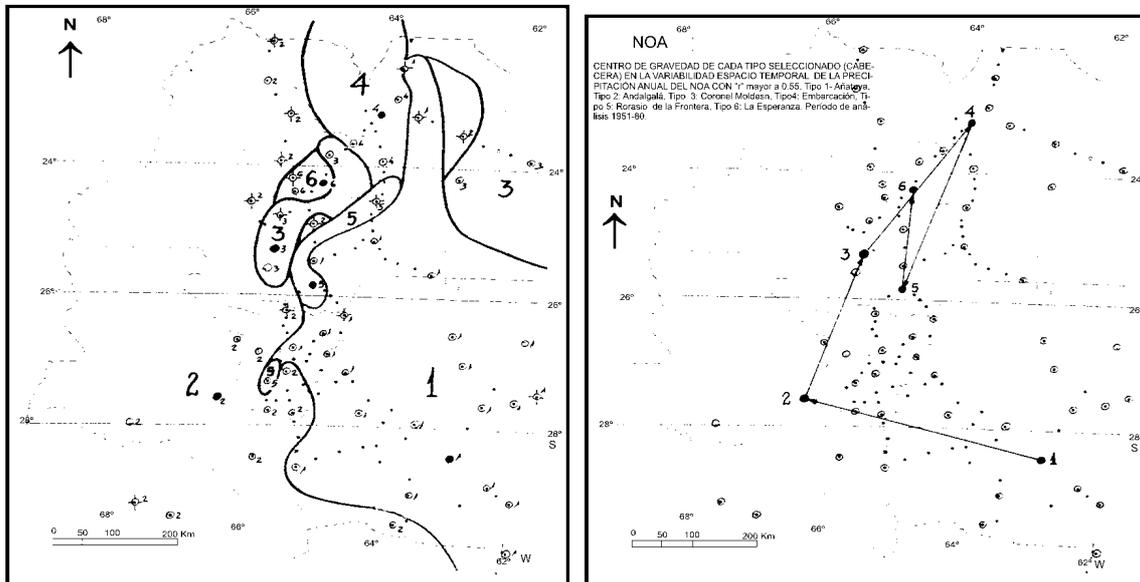


Figura 18 a. Idem a la figura 17 a y b con niveles de correlaciones iguales o superiores de 0.55. Figura 18 b. Distancias consecutivas entre localidades cabeceras de cada tipo homogéneo establecido en la figura 18 a. Izquierda y derecha respectivamente.

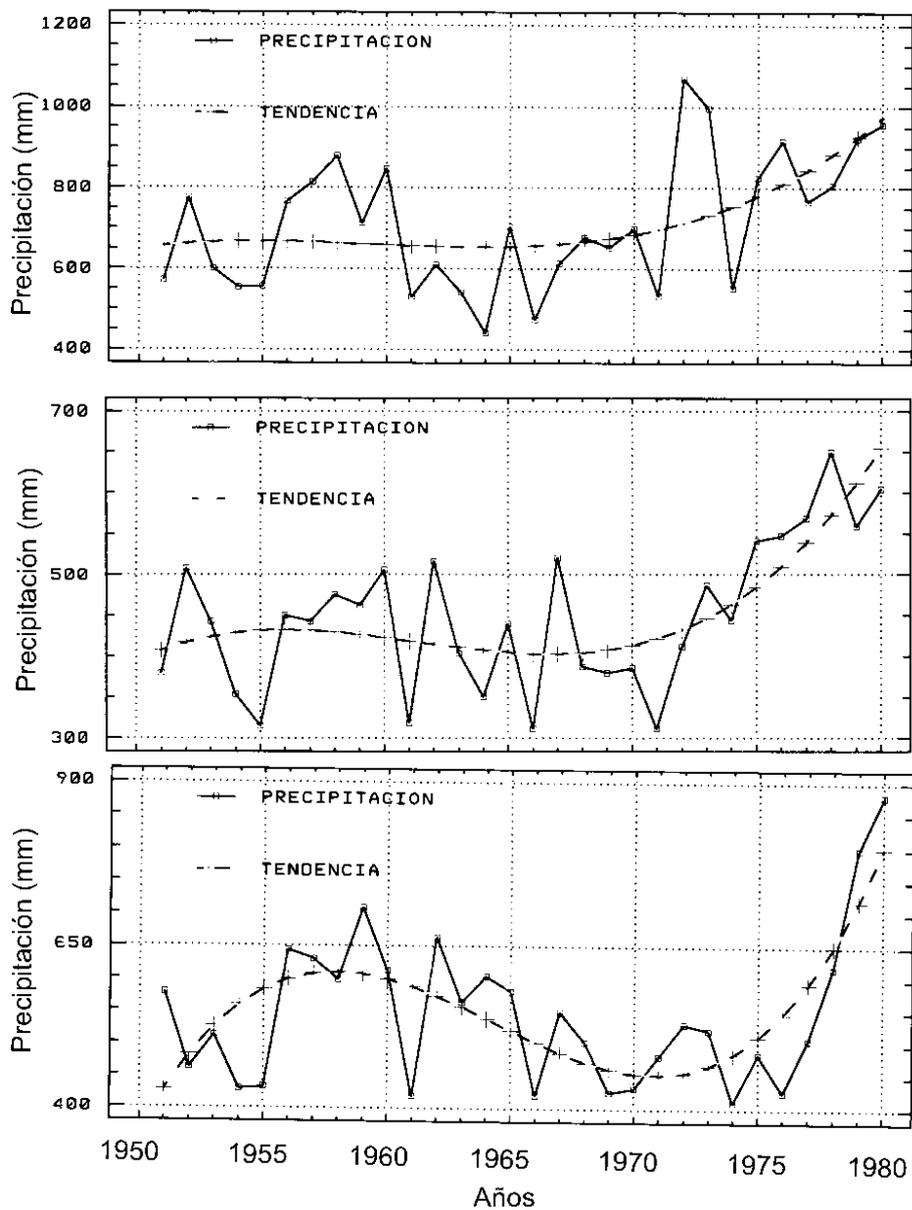


Figura 19. Tendencias (Polinomios de tercer grado) en las precipitaciones anuales por cada uno de los tipos 1 (arriba), 2 (al centro) y 3 (abajo) establecidas en la figura 18. Período 1951-1980.

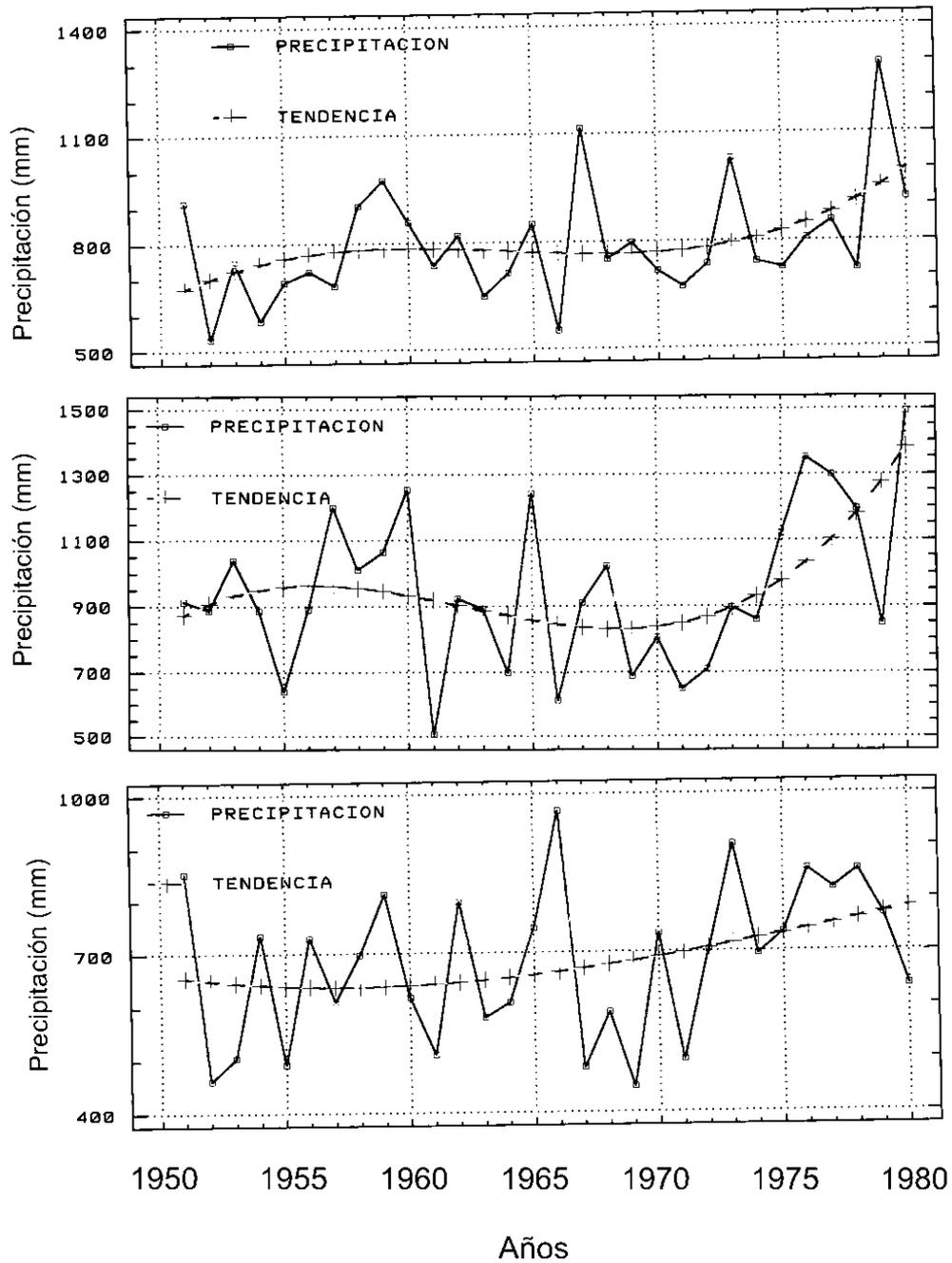


Figura 20. Idem a la figura 19, para los tipos 4 (arriba), 5 (al centro) y 6 (abajo). Período 1951-1980.

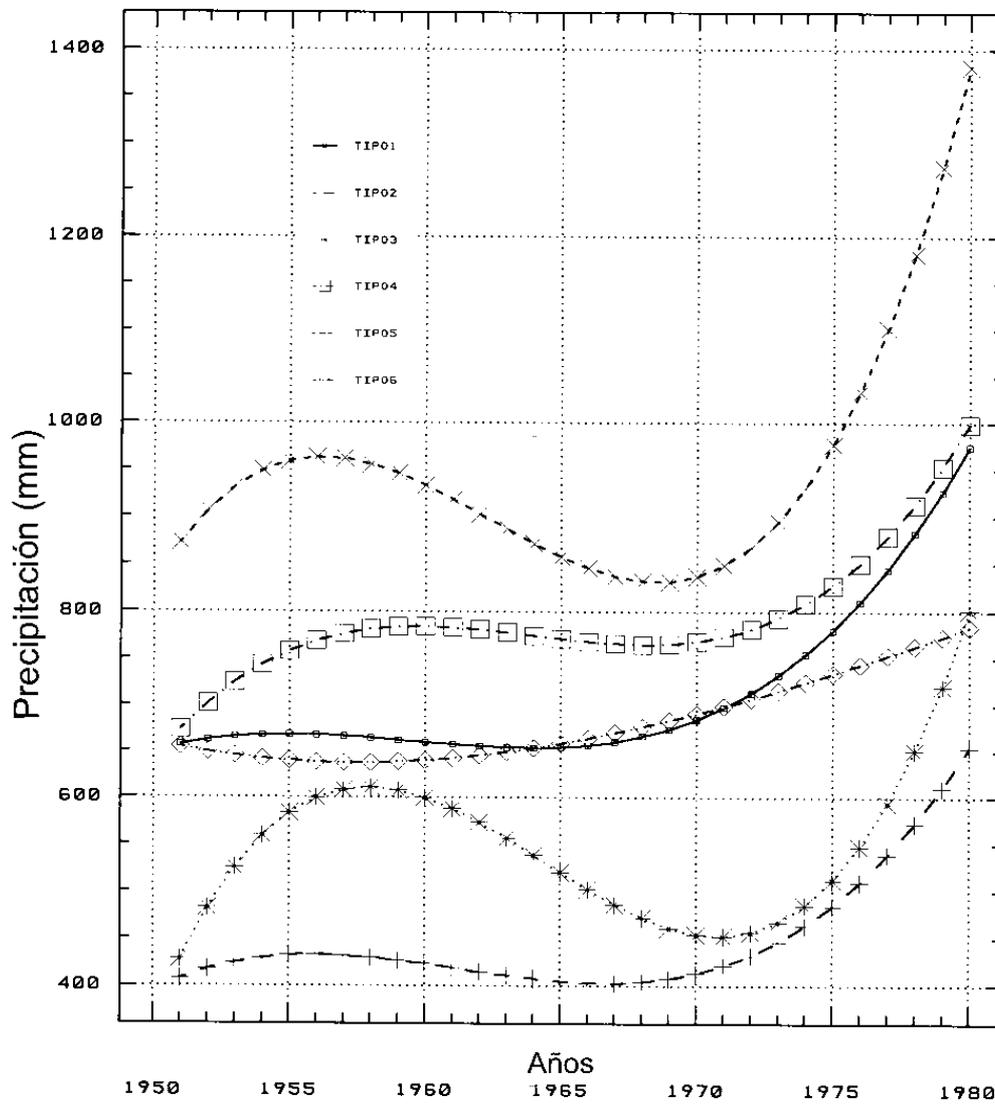


Figura 21. Agrupación de las tendencias de la precipitación promedio por regiones mesoscálicas en el NOA entre los tipos 1 al 6. Polinomios de tercer grado, período 1951-1980.

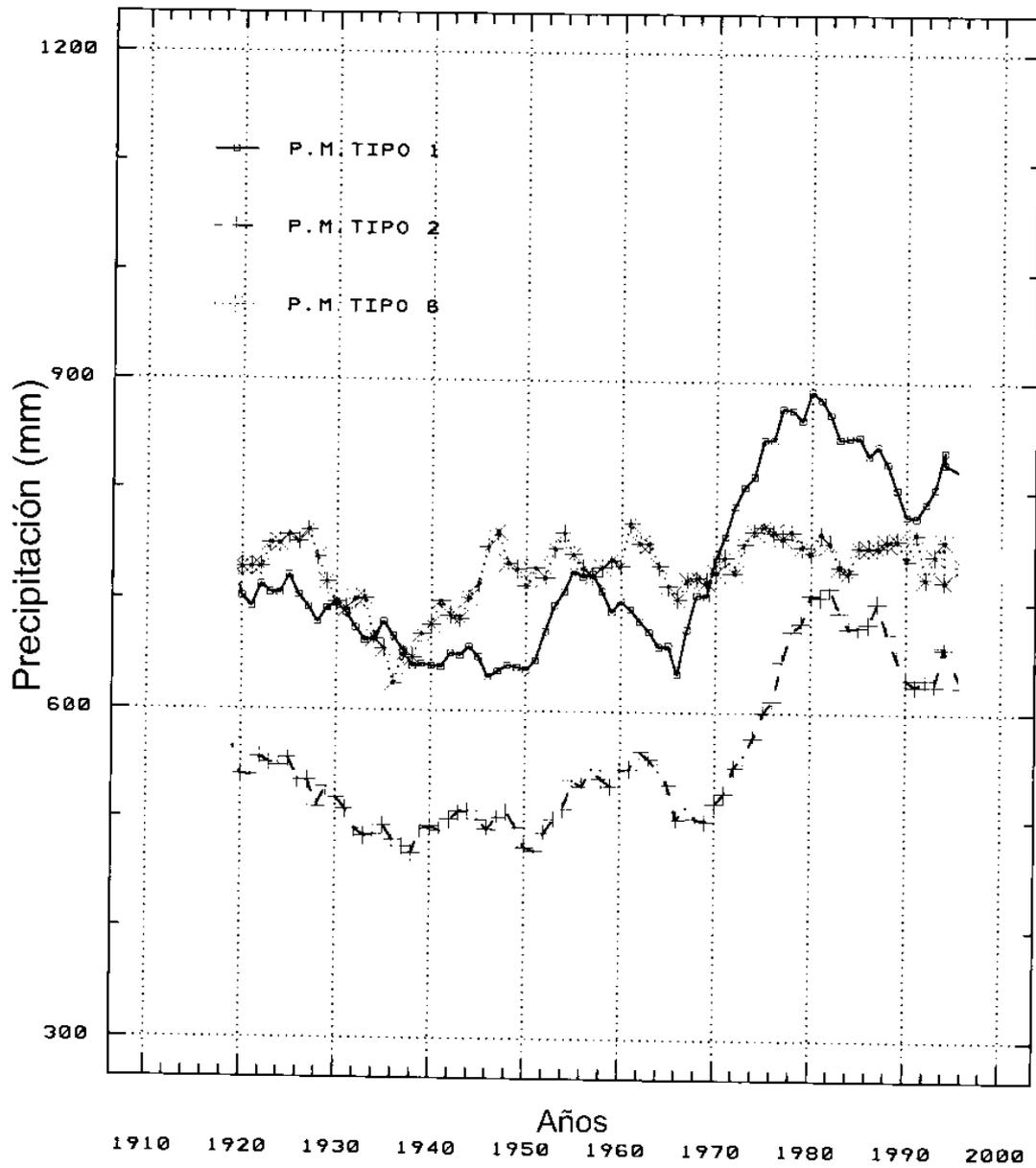


Figura 22. Promedios móviles de 11 años en las precipitaciones promedio anuales de los tipos 1, 2 y 6. Polinomios de tercer grado período 1916-2000.

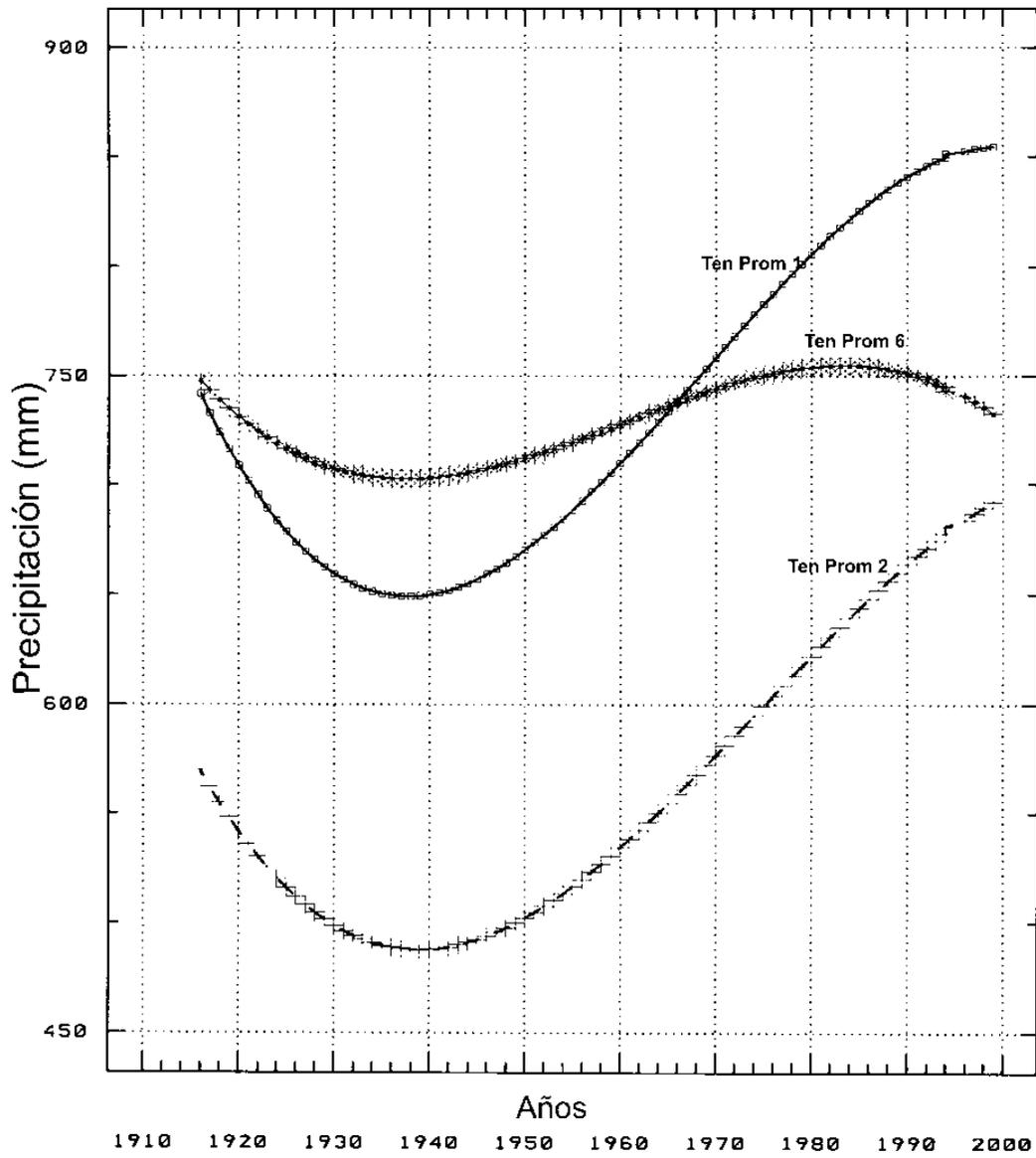


Figura 23. Tendencias de largo período en las precipitaciones anuales promedio de los tipos 1, 2 y 6. Polinomios de tercer grado, período 1910-2000.