



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS

INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS
POSTGRADO DE ECOLOGÍA TROPICAL



**TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN Y LA
DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS
LEÑOSAS EN UNA SABANA NEOTROPICAL**



Tesis Doctoral

Tesista: Dirk Thielen

Trabajo presentado ante la Universidad de Los Andes como requisito
parcial para obtener el grado de Doctor en Ecología Tropical

Jurado: Dr. Juan F. Silva (ULA) - *Tutor*
Dra. Lelys Bravo (USB)
Dr. José San José (IVIC)
Dr. Fermín Rada (ULA)

Mérida, Noviembre 2003

VEREDICTO


Quienes suscriben, integrantes del Jurado designado por el Consejo de Estudio de Postgrado de la Universidad de Los Andes, para conocer y emitir veredicto sobre la **TESIS DOCTORAL** presentado por **Dirk Rafael Thielen Engelbertz** para optar al título de **Doctor en Ecología Tropical** y que se titula:


“Tendencias de la precipitación y la dinámica espacial y temporal de las leñosas en una sabana estacional neotropical.”

Hacemos constar que hoy 26 de noviembre de 2003, a las 11 a.m., nos constituimos como jurado, siendo presidente del mismo el Dr. Juan Silva. Luego de considerar las observaciones de cada miembro del jurado, autorizamos la presentación pública de la Tesis. Luego a las 12:00 m se dio curso al acto público de sustentación de esta Tesis en el salón A-10 de la Facultad de Ciencias. Una vez concluida la presentación, el jurado interrogó al aspirante sobre los diversos aspectos a que el trabajo se refiere y seguidamente su presidente invitó al público asistente a formular preguntas y observaciones sobre el trabajo presentado. Una vez concluida la sustentación, el jurado procedió a su deliberación final y concluyó que:

SE APRUEBA LA TESIS DOCTORAL PRESENTADA A NUESTRA CONSIDERACIÓN.


Dr. Juan F. Silva A.
Tutor


Dra. Lelys Bravo
Jurado


Dr. José San José
Jurado




Dr. Fermín J. Rada R
Jurado

Idalba Guadua

LA PRESENTE TESIS FUE POSIBLE GRACIAS AL FINANCIAMIENTO DE VARIAS INSTITUCIONES COMO LA IAI (CRN-040), EL CONICIT (Agenda Biodiversidad # 98003404), ASÍ COMO A TRAVÉS DE SUBVENCIONES DEL CDCHT-ULA, DEL CEP-ULA Y DEL POSGRADO NACIONAL DE ECOLOGÍA.

RESUMEN

Los pronósticos de cambios globales nos alertan sobre uno de los retos más importantes – entender sus efectos sobre la dinámica de la vegetación en los ecosistemas de manera que puedan generarse prácticas de conservación y manejo ajustadas a las nuevas tendencias. En el caso de las sabanas, deben realizarse estudios que logren identificar los factores y describir los procesos que, a diferentes escalas, regulan la dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas a través del análisis de las interacciones que existen entre los patrones estables de distribución del sustrato y los patrones variables del clima. En este estudio, la cobertura de leñosas se estimó a partir de la interpretación de aerofotografías de los años 1938, 1961, 1978 y 1997, esto en 10 parcelas de 1 km². Para la dinámica de las galerías, se interpretó la cobertura en 43 km del cauce de un río. La interpretación se realizó con la ayuda de un sistema de información geográfico y con una apreciación de 1 m². La cobertura se relacionó con 7 formas de relieve presentes en el área y con la dinámica de las precipitaciones, en base mensual, anual y estacional, para el lapso 1922-1997; así como en base diaria, para el lapso 1961-1997. La dinámica anterior se correlacionó con la variabilidad temporal en las anomalías de diversos índices macroclimáticos.

Los resultados señalan que, para todas las formas de relieve, existe una tendencia lineal significativa a un incremento en la cobertura de leñosas. El incremento relativo anual (IRA) medio para los 59 años del estudio fue de 2,90%. Este incremento es temporalmente diferenciable y se obtiene a través de la secuencia de dos procesos distintos, no excluyentes: primero (serie 1938-1961), por la fusión o coalescencia de núcleos leñosos de poco porte que pasaron a formar polígonos de cobertura de un tamaño superior; y luego (series 1961-1978 y 1978-1997), por el establecimiento disperso de pequeños núcleos leñosos de <100m². El 72,4% de la cobertura original logra conservarse o persistir luego de 59 años, donde la mayor persistencia se observa en formas de relieve con dinámica hídrica de run-on; esto excepto para la forma que se ubica en el extremo húmedo que presenta una breve fase de anegamiento anual y presenta valores de persistencia similares a las formas con run-off. Las galerías presentaron un IRA medio de 4,20%, ocasionando un incremento lineal significativo en la cobertura del cauce del río desde el 22,3% en 1938, hasta el 64,8% en 1997. El establecimiento de leñosas en las galerías es temporalmente inverso a aquel de las formas de relieve: serie 1938-1961, el establecimiento es principalmente disperso y limitado a lo largo del cauce del río; mientras que para las para dos siguientes series, 1961-1978 y 1978-1997, el establecimiento es por fusión donde la galería invade nuevos espacios, esta vez, fuera del cauce del río.

Esta dinámica espacio temporal de la cobertura de leñosas es explicada por las variaciones históricas de las precipitaciones, y éstas a su vez, por la variabilidad temporal en las anomalías de diversos índices macroclimáticos. El análisis pluviométrico señala una redistribución intranual importante de las precipitaciones entre 1922 y 1997; y que resulta en un mejoramiento temporal de las condiciones climáticas relativas para la entrada de las lluvias (abril-mayo) así como para la estación húmeda propiamente (junio-septiembre), tornándose estas estaciones de una condición inicial relativamente mas seca (1922-1940) a una sensiblemente más húmeda, esto a lo largo de las series 1941-1959, 1960-1978 y 1979-1997. Mientras que para la salida de las lluvias, octubre-noviembre, la redistribución de las precipitaciones generó un proceso temporalmente inverso: se inicia con una condición climática relativa más húmeda tornándose luego en relativamente más seca. El análisis de las

precipitaciones en base diaria arroja evidencias donde una condición climática relativa “más húmeda” se logra a través de un incremento en los días de precipitación, y que para el caso de la serie 1961-1978, la mayor frecuencia es para precipitaciones de hasta 50mm/día de intensidad; mientras que para la serie 1979-1997, la mayor frecuencia es para las precipitaciones especialmente intensas (>50mm/día). La condición climática relativa de las series temporales analizadas presenta correlaciones significativas con la dinámica temporal de las anomalías de precipitación donde la condición “mas seca” inicial de la entrada de lluvias y de la estación húmeda se correlacionan a temperaturas cálidas en las aguas superficiales de la región del Pacífico N34; y su posterior transformación a una condición “más húmeda”, a la presencia de temperaturas elevadas en las aguas superficiales del Atlántico Norte Tropical. La elevada frecuencia de precipitaciones especialmente intensas durante 1979-1997 se correlaciona además a una mayor actividad de ENSO.

Durante la serie 1938-1961 el incremento de la cobertura de leñosas en las formas de relieve es por fusión en respuesta a un déficit hídrico (ADP) producto de una condición relativa más seca, especialmente para la estación húmeda. En una escala más local, el IRA está determinado por la dinámica hídrica dominante: run-on > run-off. Para las galerías, el incremento de la cobertura es disperso en respuesta al espacio disponible a lo largo del cauce del río, donde el déficit hídrico generalizado es mínimo. Para la siguiente serie, 1961-1978, el incremento de la cobertura en las formas de relieve es disperso en respuesta a un incremento generalizado en la oferta hídrica (ADP). Una mayor frecuencia de precipitaciones moderadas en la entrada de lluvias y la estación húmeda pudiera ocasionar condiciones de anegamiento en los niveles más bajos lo que explicaría que, en una escala más local, el IRA sea mayor en las formas de relieve mejor drenadas: run-off > run-on. El incremento generalizado en el ADP durante esta serie inicia además un proceso donde las galerías ocupan, por fusión, los nuevos espacios favorables que se generan fuera del cauce del río. Para la última serie, 1978-1997, el incremento de la cobertura es aún más disperso y responde a un incremento mayor en la oferta hídrica (ADP) tanto para la entrada de lluvias como para la estación húmeda. La mayor frecuencia de precipitaciones intensas aunado a una mayor frecuencia de días secos (veranitos) pudiera reducir las condiciones de anegamiento de la serie anterior. En una escala más local, el IRA se torna ahora espacialmente homogéneo, donde: run-off = run-on. Para las galerías, la situación hídrica es suficientemente favorable e invaden directamente la sabana.

Las variaciones temporales en las precipitaciones resultan en un mejoramiento en el balance hídrico suficiente para sobrellevar limitaciones impuestas por la heterogeneidad del sustrato, y ocasionar una invasión generalizada y significativa de leñosas. La tendencia lineal significativa sugiere que la sabana no está en equilibrio con las condiciones actuales, y su presencia pudiera interpretarse como formaciones relictuales desarrolladas bajo climas del pasado reciente y actualmente en vías de ser reemplazadas por ecosistemas correspondientes a nuevos escenarios de precipitaciones. Las prácticas de manejo y conservación de las sabanas estacionales del Neotrópico deben estar en concordancia, en el corto y mediano plazo, con el hecho que se tratan de sistemas inestables y dinámicos; y estar orientadas hacia la preservación de la tendencia natural del cambio y de la capacidad de respuesta que han demostrado ante la variabilidad climática histórica. En el largo plazo, las prácticas de manejo y conservación deberán incorporar el conocimiento sobre nuevos estudios de la dinámica ecológica a través de una ampliación de la escala espacio-temporal de trabajo; así como el de los avances en las tendencias del cambio climático con respecto a su dirección y su velocidad de cambio; es decir: ¿será mas seco o más húmedo el clima futuro para las sabanas estacionales? y ¿este cambio, se alcanzaría de forma gradual o abrupta?

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I

ECOLOGÍA Y DINÁMICA DE LAS SABANAS ESTACIONALES NEOTROPICALES Y LAS TENDENCIAS DE LOS CAMBIOS GLOBALES

I.1. CONSIDERACIONES GENERALES	1
I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
I.2.1. Objetivo General	8
I.2.2. Objetivos Específicos	8
I.2.3. Hipótesis General	8
I.2.4. Hipótesis Específicas	9
I.3 BIBLIOGRAFÍA	11

CAPÍTULO II

DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA COBERTURA DE LEÑOSAS

II.1. INTRODUCCIÓN	15
II.2. MATERIALES Y MÉTODOS	19
II.2.1. Descripción del Área de Estudio	19
II.2.2. Métodos	20
II.2.2.1. Criterios para el establecimiento del Área de Estudio	20
II.2.2.2. Metodología para la identificación de las Formas de Relieve	23
II.2.2.3. Establecimiento de las Unidades de Muestreo	26
II.2.2.4. Fotointerpretación de la cobertura de leñosas en las unidades de muestreo	27
II.2.2.5. Fotointerpretación de la cobertura de leñosas en configuración de galería	28
II.2.2.6. Análisis de los datos de cobertura de leñosas	29
II.3. RESULTADOS	31
II.3.1. Formas de Relieve del Área de Estudio y de las Unidades de Muestreo	31
II.3.2. Cobertura de Leñosas obtenida de la Fotointerpretación	35
II.3.2.1. Agrupación de los datos en clases de tamaño	46
II.3.3. Análisis de la Cobertura de Leñosas	49
II.3.3.1. Análisis de la dinámica de polígonos a partir de la población total de datos	49
II.3.3.2. Análisis de la dinámica de la cobertura discriminada por unidad de muestreo (UM)	57
II.3.3.3. Análisis de la dinámica de la cobertura leñosa discriminada por formas de relieve	63
II.3.3.3.1. Dinámica espacial	63
II.3.3.3.2. Dinámica temporal	70
II.3.3.3.2.1. Persistencia de la cobertura	90
II.3.3.4. Análisis de la dinámica de la cobertura de leñosas en configuración de galerías	94
II.3.3.4.1. Dinámica espacial	94
II.3.3.4.2. Dinámica temporal	98
II.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	105
II.5. BIBLIOGRAFÍA	113

CAPÍTULO III

DINÁMICA TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES

III.1. INTRODUCCIÓN	117
III.2. MATERIALES Y MÉTODOS	125
III.2.1. Definición de la Ventana de Trabajo	125
III.2.2. Análisis de los datos de la Ventana de Trabajo	126
III.2.3. Análisis en base diaria de las precipitaciones	127
III.2.4. Relación entre las precipitaciones de la ventana de trabajo la dinámica temporal de las variables macroclimáticas	128
III.2.5. Relación entre las precipitaciones diarias de San Fernando de Apure y la dinámica temporal de las variables macroclimáticas	130
III.3. RESULTADOS	131
III.3.1. Análisis espacial y temporal sobre la totalidad de la base de datos disponible	131
III.3.2. Análisis espacial y temporal de las precipitaciones en la ventana de trabajo	135
III.3.2.1. Análisis en base mensual de las precipitaciones en la ventana de trabajo	140
III.3.2.2. Análisis en base anual de las precipitaciones en la ventana de trabajo	147
III.3.2.3. Análisis en base a series anuales de las precipitaciones en la ventana de trabajo	157
III.3.3. Análisis en base diaria de las precipitaciones en San Fernando de Apure	164
III.3.4. Relación entre las precipitaciones y la dinámica temporal de los índices macroclimáticos	180
III.3.4.1. Relación con las precipitaciones mensuales de la ventana de trabajo	180
III.3.4.2. Relación con las precipitaciones diarias de San Fernando de Apure	197
III.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	199
III.5. BIBLIOGRAFÍA	207

CAPÍTULO IV

RELACIONES ENTRE LA DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA COBERTURA DE LEÑOSAS Y AQUELLA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

IV.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS MAS RELEVANTES	211
Establecimiento por fusión	211
Establecimiento disperso	215
Dinámica de Galerías	220
Variables Macroclimáticas	221
IV.2. CONCLUSIONES GENERALES	225
IV.3. BIBLIOGRAFÍA	227

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

229

CAPÍTULO I

ECOLOGÍA Y DINÁMICA DE LAS SABANAS ESTACIONALES NEOTROPICALES Y LAS TENDENCIAS DE LOS CAMBIOS GLOBALES

1.1. Consideraciones Generales

El término *sabana* describe aquella fisonomía donde las comunidades vegetales presentan una cobertura dominada por gramíneas con elementos leñosos más o menos dispersos que generan discontinuidades en un paisaje, que de otra forma, sería una extensa zona cubierta de herbáceas (Scholes y Archer 1997). Las sabanas se encuentran a lo largo de las zonas tropicales en todos los continentes; pero en particular, en las Américas, África y Australia (Solbrig 1996) y ocupan aproximadamente el 40% de su superficie (Cole 1986) (ver Figura I.1). En el neotrópico, las sabanas están presentes en dos bloques principales, fitofisionómicamente similares (Solbrig 1996, Ribeiro y Teles Walter 1998): (1) Los Llanos del Orinoco, al Norte del ecuador, y (2) el Cerrado, al Sur del ecuador; ver Figura I.2. Según Sarmiento (1990), los Llanos del Orinoco son planicies Cuaternarias que unen las estribaciones de las Cordilleras Andina y Caribe en el Norte con los bordes del Escudo Guayanés en el Sur. En el bloque de los Llanos del Orinoco, las sabanas no sólo predominan en la planicie sino que desbordan hacia los paisajes colineanos limitantes (ver Figura I.3). Si bien las sabanas presentes en el Escudo de Guayana se encuentran altamente fragmentadas, el autor advierte su importancia como puente de contacto entre los *Llanos* y el *Cerrado*.

En latitudes tropicales los contrastes entre estaciones húmedas y secas constituyen la pulsación ambiental más significativa en un primer nivel de análisis. En este sentido, en su trabajo de 1990, Sarmiento distingue tres tipos de sabanas de acuerdo a la disponibilidad de agua en el suelo para el estrato herbáceo, a saber: *estacional*, *hiperestacional* y *semiestacional*. Las sabanas *estacionales* poseen una estación seca de hasta seis meses consecutivos y una estación húmeda en el resto del año. Las sabanas *hiperestacionales* son aquellas donde se alternan cuatro períodos diferentes en cada ciclo anual: uno de deficiencia de agua; otro de exceso, provocando anegamiento, y dos estaciones sin ninguno

de estos estreses. Finalmente, las sabanas *semiestacionales* están caracterizadas por suelos que permanecen saturados en la mayor parte del año. En el caso de América del Sur, y el de las sabanas *estacionales* específicamente, la estacionalidad origina un continuo fisionómico que abarca desde pastizales sin árboles hasta bosques abiertos.

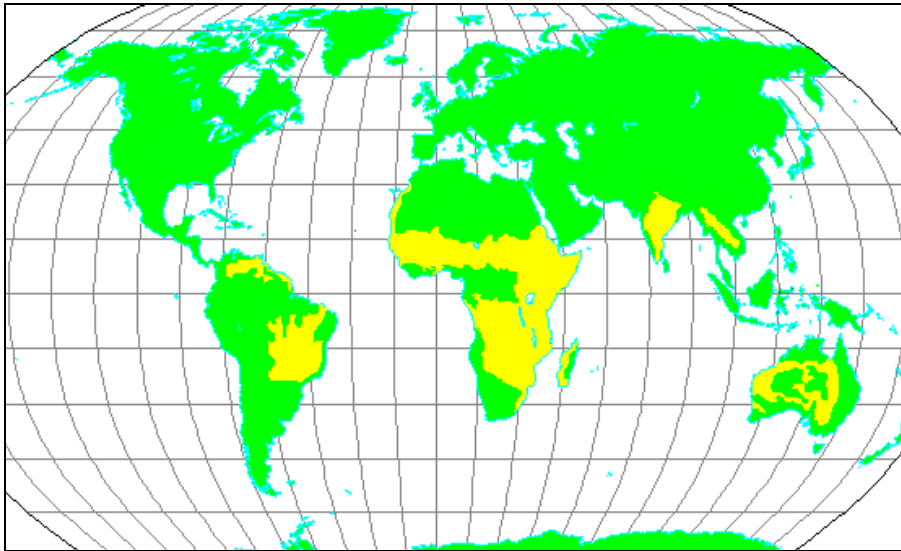


Figura I.1. En amarillo, distribución mundial de las Sabanas Tropicales (tomado de <http://www.runet.edu/~swoodwar/CLASSES/GEOG235/biomes/savanna>).



Figura I.2. Principales bloques de sabanas del Neotrópico: *Los Llanos del Orinoco* al Norte de ecuador y el *Cerrado* al Sur. Entre los dos bloques, y como puente de contacto, se encuentran las sabanas fragmentadas de la región *Gran Sabana-Rupununi-Río Branco* y las *Amazónicas* (Modificado de Sarmiento 1990).

En la Figura I.3 se representa la distribución de las principales regiones sabánicas de Los Llanos del Orinoco. Aquí, la distribución de las sabanas *estacionales* coincide con aquella de las *sabanas sobre mesas o altillanuras* y las de *pedemonte*.

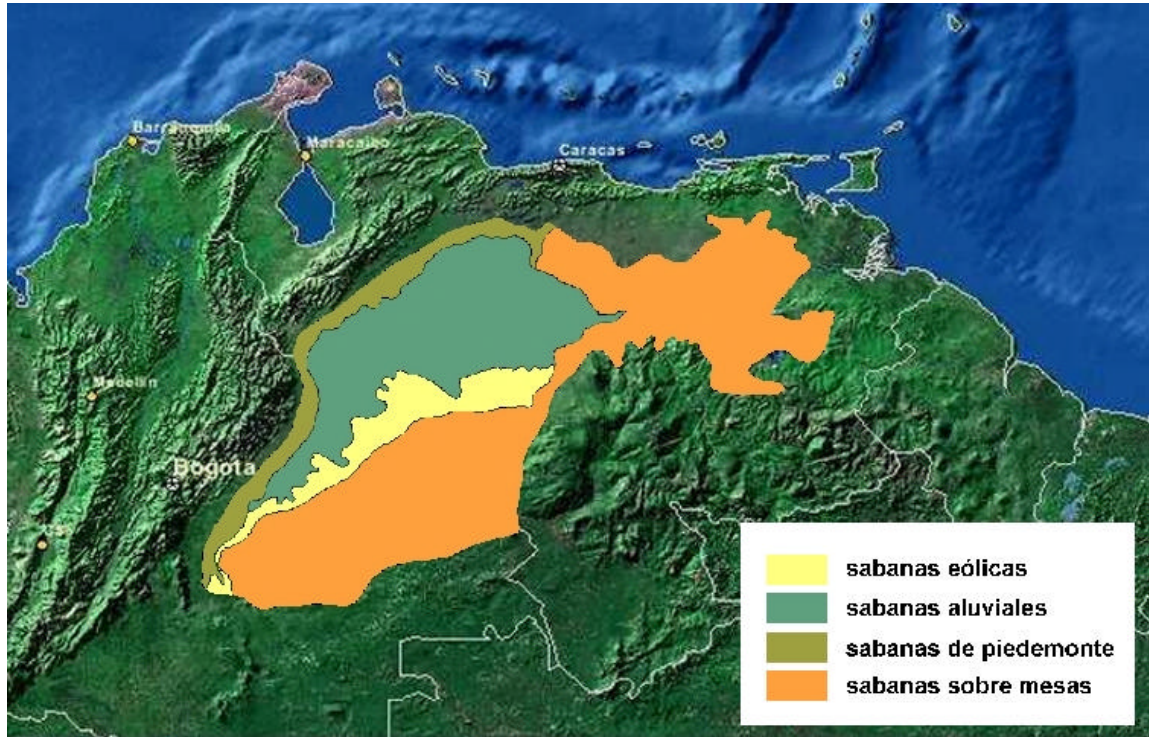


Figura I.3. Distribución de las principales regiones sabánicas de Los Llanos del Orinoco (*Adaptado de Sarmiento 1983*).

A pesar que la sabana es una fisionomía de una amplia distribución, esta no es siempre persistente en el tiempo y los cambios, naturales y/o antropogénicos, en las fuerzas selectivas o determinantes pueden hacer que los bordes de las áreas ocupadas por los diversos tipos de vegetación de sabana y los bordes de otros tipos de vegetación se desplacen (van der Hammen 1989, Furley *et al.* 1992). En este sentido se plantean cuatro determinantes principales que explican algunas de las características comunes así como las diferencias en la estructura y funcionamiento de las sabanas (Frost *et al.* 1986, Walker 1987, Sarmiento 1990 y Werner 1991). Estos son: 1) el agua disponible para la planta (ADP), 2) los nutrientes disponibles para la planta (NDP), 3) el fuego, y 4) el pastoreo. Estos determinantes interactúan en todas las escalas ecológicas, desde el paisaje hasta los parches locales, y su importancia relativa varía según la escala (Medina y Silva 1990,

Solbrig 1991, Sarmiento 1996). Cambios pequeños y pulsaciones periódicas de estos determinantes pueden alterar la composición y diversidad.

Las sabanas están caracterizadas por un régimen hídrico positivo (precipitación mayor a la evapotranspiración) durante la estación húmeda, y negativo durante la estación seca (Solbrig 1996). Bajo un régimen hídrico con una estación seca más corta o menos intensa, se encuentran bosques o selvas, así como bajo condiciones hídricas mucho más áridas prevalece una vegetación xerofítica. Aún cuando el clima *per se* no determina la fisonomía de las sabanas, existe una irrefutable relación entre la estacionalidad y la presencia de las sabanas, así como entre las variables de precipitación y la cobertura de leñosas de los diferentes grupos funcionales (Solbrig 1996).

Se sabe que en una escala temporal amplia, las grandes alteraciones climáticas han causando expansiones y contracciones de las diferentes formaciones de leñosas presentes en América del Sur (van der Hammen 1974 y 1983, Ribeiro y Teles Walter 1998). En los períodos interglaciares, por ejemplo, los bosques húmedos se expandieron ante un clima cálido y húmedo; para luego retraerse durante el clima frío y seco de las glaciaciones, especialmente a finales del Pleistoceno e inicio del Holoceno (glaciación Mérida, Schubert 1974) (Prance 1973, Bigarella *et al.* 1975, Ab´Saber 1977, Salgado-Labouriau 1994). En estos períodos glaciares cuaternarios, típicamente secos, sitios específicos estarían posibilitando el mantenimiento de remanentes de bosques húmedos y la expansión de bosques secos y de formaciones más abiertas (*i.e.* fisionomías de sabana) por grandes extensiones del continente (Prado y Gibbs 1993, Bigarella *et al.* 1975).

A pesar que se tienen muy pocos registros que permitan confirmarlo, al reducir la escala temporal de análisis, los cambios climáticos de corto plazo parecen ser comunes en las sabanas (Silva 1996). Se tiene, por ejemplo, que en el Sur de África los pulsos de precipitaciones, en especial los pulsos secos, son responsables por cambios en el tamaño de poblaciones y en la estructura de las comunidades de las sabanas en diferentes suelos y son considerados aquí como factores determinantes (O´Connor 1985). Tomando en cuenta que tendencias climáticas afectan, en la pequeña escala, la dinámica temporal del ADP, el estudio de las fluctuaciones en las variables de precipitación debe explicar la secuencia histórica de los cambios en la fisonomía de las sabanas. Hasta donde se sabe, son muy escasos los trabajos que logren relacionar las variables de precipitación y los cambios en la

estructura de las sabanas en general; en todo caso, son inexistentes para las sabanas neotropicales.

Tradicionalmente, la variación en la densidad de la vegetación leñosa ha sido interpretada como una respuesta a la presencia de un gradiente espacial en el determinante NDP. Aparentemente, la disponibilidad de nutrientes decrece del bosque dominado por árboles con altos requerimientos de nutrientes al pastizal dominado por gramíneas con pocas exigencias de nutrientes (Goodland y Pollard 1972). A pesar que, en la escala espacial grande, existe una clara correlación entre el número de especies de árboles y la fertilidad del suelo (Ratter y Dargie 1992), el cuadro es mucho más complejo y puede ser interpretado como el resultado de la mejora de las condiciones edáficas por parte de la vegetación (Furley y Ratter 1988, Oliveira-Filho *et al.* 1989, Belsky y Amundson 1992, Medina 1996). Trabajando con gradientes topográficos, Silva y Sarmiento (1976) y Sarmiento (1983), determinaron que la diversidad de especies en sabanas de Piedemonte (Barinas, Venezuela) responde al ADP pero no así al NDP. Son muchos los estudios que resaltan que las comunidades de las sabanas responden, en primer lugar, al régimen del ADP (Medina y Silva 1990, Solbrig 1991, Teague y Smit 1992). Bajo condiciones de precipitación homogéneas, variaciones en la fisionomía de la sabana deberán responder a determinantes más locales, como son la heterogeneidad del sustrato, la frecuencia e intensidad de quema y de pastoreo.

Efectivamente, Frost *et al.* 1986, Medina y Silva 1990, Solbrig 1991, Teague y Smit 1992, entre otros, consideran al fuego y al pastoreo como los principales modeladores de las propiedades de las sabanas en la escala local. A pesar que el fuego ha estado presente por largo tiempo como una importante fuerza selectiva, como se demuestra en las innumerables especies que presentan adaptaciones a la quema, su frecuencia e intensidad ha sido drásticamente alterada por la presencia del hombre (Solbrig *et al.* 1996). Exclusiones de fuego y pastoreo en las sabanas tropicales producen cambios significativos en la estructura de la vegetación, principalmente por un incremento de los elementos leñosos, así como en la composición de especies (Gillon 1983, Braithwaite y Estbergs 1985, Frost y Robertson 1987, Lonsdale y Braithwaite 1991, San José y Fariñas 1991, Moreira 1992, Medina y Huber 1992). Nuevas especies de árboles invaden la sabana durante la exclusión del fuego incrementando la diversidad de leñosas en las sabanas. Estudios de exclusión de fuego realizados en Calabozo, Estado Guárico, muestran que todas las especies de leñosas

reaccionan de forma positiva a la exclusión del fuego (San José y Fariñas 1991), pero difieren en la velocidad y magnitud de sus reacciones (Silva 1996). La disponibilidad de propágulos de los bosques cercanos también es importante. La ausencia de quemas puede causar un cambio de estado de sabana a bosque (Braithwaite 1996). Contrariamente, el fuego puede afectar los bordes de los bosques y otros hábitat y convertirlos a sabanas (Stott *et al.* 1990).

Los paisajes dominados por el fuego no están totalmente en estado de equilibrio (Pitkett y White 1985, Pickett *et al.* 1989, Baker *et al.* 1991, Turner *et al.* 1993). Pequeños cambios en el clima, y los subsecuentes cambios clima inducidos en el régimen de quemas, pueden resultar en cambios rápidos en el patrón y los procesos a la escala del paisaje. (Suffling *et al.* 1988, Clark 1989 y 1990, Graham *et al.* 1990, Baker *et al.* 1991, Balling *et al.* 1992, Davis y Burrows 1993). Los cambios dependerán de la distribución original y de la diversidad funcional presente en el área (Bilbao *et al.* 1996).

En lo que respecta al pastoreo, las gramíneas de las sabanas están en capacidad de soportar cierto grado de presión por parte de este disturbio antes de cambiar a una nueva configuración de herbáceas. En todo caso, la repuesta final del estrato herbáceo dependerá de su composición florística inicial. A medida que se incrementa la presión de pastoreo, la estructura de la comunidad es alterada y la composición de herbáceas cambia (Launchbaugh 1955, Humphrey 1958, Smeins *et al.* 1974, McNaughton 1983, Archer *et al.* 1988). Cuando la presión de pastoreo es reducida o suprimida, el banco de semillas del suelo y el potencial de regeneración vegetativo permiten el restablecimiento de la composición original de especies. Pero, si se mantiene la presión de pastoreo (con la consecuencia natural de reducción en la frecuencia e intensidad de las quemas) la densidad de leñosas existentes aumenta y nuevas especies leñosas comienzan a establecerse, alcanzándose un umbral transitorio de cambio (Walker 1981). En este punto, nuevos procesos sucesionales rigen el sistema y las modificaciones autogénicas del suelo y el microclima por las especies invasoras facilitan una conversión de la fisonomía. Con el tiempo, un sistema estable de sabana cerrada se desarrolla y las modificaciones del suelo, banco de semillas y regeneración vegetativa hacen poco probable que esta nueva configuración pueda transformarse nuevamente en una sabana abierta (Niering y Goodwin 1974, Walker 1981, West *et al.* 1984, Hobbs y Mooney 1986).

Existe mucha contraposición con respecto a la estabilidad de las sabanas. Producto quizás de divergencias en las escalas espaciales y temporales a los cuales se han realizado los estudios. La importancia de la escala es comúnmente reconocida porque esta pertenece a todos los tipos de datos ecológicos y es un aspecto crucial de la heterogeneidad ecológica. Esto último es una función de la escala y su interpretación depende del nivel de observación establecido en el estudio de un sistema ecológico (*e.g.* Meentemeyer y Box 1987, Kolasa y Rollo 1991, Collins 1992, Levin 1992, Dutilleul y Legendre 1993). Debido a que no existe una escala fundamental de investigación, el estudio de la dinámica de un paisaje debe llevarse a cabo tomando en cuenta las diferentes escalas de observación: un paisaje determinado puede ser heterogéneo en una escala y homogéneo en otra (Allen y Hoekstra 1990, Gosz 1992). Estudiar los cambios en un paisaje a través de un enfoque multiescalar - tanto en el espacio como en el tiempo - permite especificar con diferentes niveles de detalle las características del proceso de cambio. Esto es particularmente cierto en ecosistemas fragmentados (Lord y Norton 1990, Hansson *et al.* 1995). Entender como el patrón de distribución de las formaciones de leñosas se relaciona con los factores ecológicos puede contribuir a la formación de hipótesis sobre las causas, al igual que sobre la dinámica de invasión de árboles y la estabilidad de la sabana (San José *et al.* 1991). Aspectos importantes para el mantenimiento de la diversidad biológica en este tipo de paisajes son aquellos que se refieren al tamaño y continuidad espacial de las formaciones vegetales (Ambuel y Temple 1983, Forman y Gordon 1986, Hansen *et al.* 1992) y de los bordes generados por estos (Rescia *et al.* 1994 y 1995, Gosz 1995, Zaletaev 1995).

1.2. Planteamiento del problema

En la conservación de los ecosistemas se requieren de prácticas de manejo que estén fundamentadas, en primer lugar, en el conocimiento de la resiliencia y la secuencia de reemplazos del sistema ocasionada por cambios históricos en el uso y el clima; y en segundo lugar, en el conocimiento de las tendencias actuales y posibles escenarios futuros al cambio. En este sentido, la información y el conocimiento que genere un estudio multiescalar, que explique no solo los patrones históricos de distribución de las formaciones de leñosas sino que también identifique la participación de los determinantes

en las distintas escalas espaciales y temporales, incorporado todo a modelos de simulación y predicción, servirá para establecer prácticas de manejo acertadas y ajustadas a *un pasado* y *un presente real*, y sobre todo a un *futuro posible*, permitirá el logro de uno de los retos más importantes ante la dinámica de los cambios globales: la conservación de uno de los ecosistemas más importantes del mundo – la sabana estacional.

I.2.1. Objetivo General

Identificar factores y describir procesos que, a diferentes escalas, regulan la dinámica espacial y temporal de las formaciones de leñosas en las sabanas estacionales del neotrópico a través del estudio de las interacciones que existen entre los patrones estables de distribución del sustrato y los patrones variables en el régimen de precipitaciones; así como conocer los efectos de la actividad antrópica (*i.e.* quema y pastoreo) sobre estas interacciones.

I.2.2. Objetivos Específicos

1. Documentar los cambios fisonómicos de sabanas estacionales y el avance y el retroceso del límite sabana-bosque durante este siglo y establecer relaciones entre estos cambios y la dinámica de la precipitación.
2. Relacionar la dinámica espacial y temporal de las diferentes formaciones de leñosas en las sabanas estacionales con la heterogeneidad del sustrato.
3. Discutir los resultados en el contexto de los modelos disponibles en la literatura, con miras a su aplicación a las respuestas de las sabanas estacionales a los cambios globales.

I.2.3. Hipótesis General

La densidad y los patrones espaciales del componente leñoso en sabanas estacionales responden a la secuencia histórica de las fluctuaciones en las precipitaciones.

Esta respuesta es a su vez modificada por una jerarquía de determinantes que actúan a la escala local.

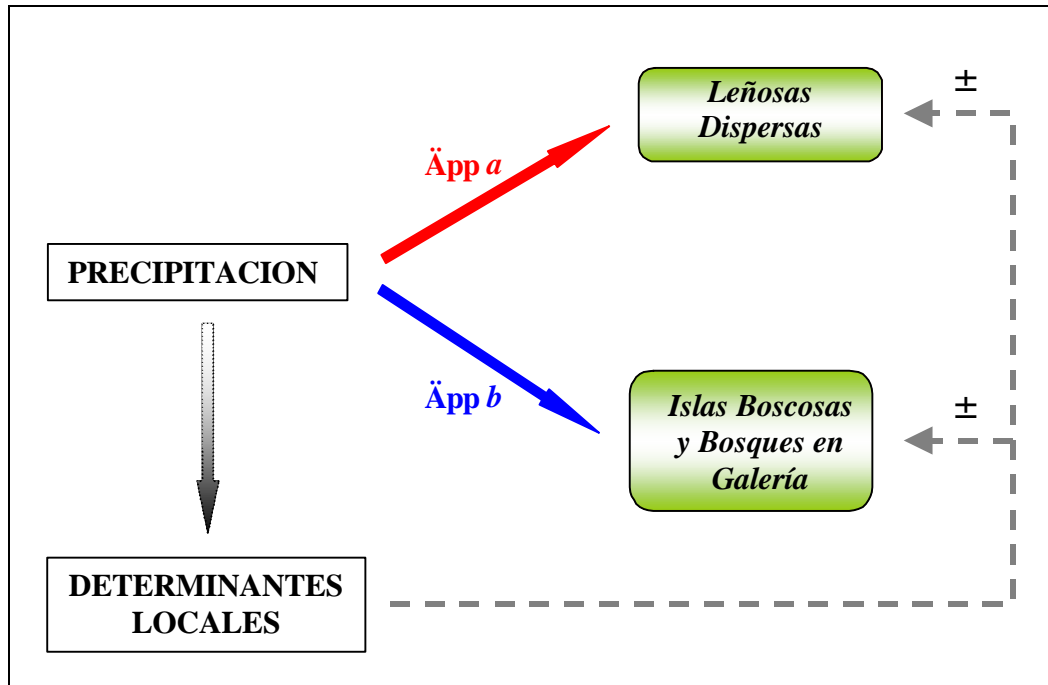


Figura I.4. Hipótesis general de trabajo: interacciones entre las precipitaciones históricas, los determinantes locales y el establecimiento de leñosas en las sabanas estacionales.

I.2.4 Hipótesis Específicas

1. A la escala del paisaje, la dinámica en la fisionomía de una sabana se correlaciona a los cambios en las precipitaciones. En este sentido, la secuencia histórica de los cambios en la fisionomía de una sabana se correlaciona a la secuencia histórica de determinadas fluctuaciones en las variables de precipitación (*i.e.* distribución, frecuencia e intensidad).
2. En la escala local, los cambios en la fisionomía de las sabanas estacionales dependen de determinantes como lo es la heterogeneidad del sustrato. Variaciones en los valores de este determinante generan situaciones donde los cambios en la fisionomía ocurren por establecimiento nucleado o disperso de leñosas.

- 2.1. El establecimiento nucleado estará correlacionado positivamente con aquellas áreas que presenten un balance hídrico más favorable (*run on*). Esta relación será mas fuerte durante las series de años que presenten bajas precipitaciones.
 - 2.2 El establecimiento disperso de leñosas ocurre cuando el cambio climático implica un incremento significativo en la media anual de las precipitaciones. La correlación entre la distribución de leñosas y la heterogeneidad del sustrato pierde significación proporcionalmente a la magnitud de este cambio.
- 3.** La combinación del conocimiento de las respuestas de la fisonomía de la vegetación que se genera de un estudio multiescalar como el que se plantea en el presente trabajo hace posible una modelización predictiva de los escenarios de cambios futuros en el clima y la intensidad de uso.

I.3 Bibliografía

- Ab´Saber, A.N. 1977. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternarios. *Paleoclimas*, 3:1-19.
- Allen, T.F.H. y T. Hoekstra. 1990. The confusion between scale-defined and conventional levels on organization in ecology. *J. Veg. Sci.*, 1:5-12.
- Ambuel, B. y S.A. Temple. 1983. Area dependent changes in the bird communities and vegetation of southern Wisconsin forests. *Ecology*, 64:1057-1068.
- Archer, S., C. Scifres, C.R. Bassham y R. Maggio. 1988. Autogenic succession in a subtropical savanna: conversion of grassland to thorn woodland. *Ecol. Monog.*, 58:111-127.
- Baker, W.L., S.L. Egbert y G.F. Frazier. 1991. A spatial model for studying the effects of climate change on the structure of landscape subject to large disturbances. *Ecol. Model.*, 56:109-125.
- Balling, R.C., G.A. Meyer y S.G. Wells. 1992. Climate change in Yellowstone National Park: is the drought-related risk of wildfires increasing? *Climate Change*, 22:35-45.
- Belsky, A.J. y R.G. Amundson. 1992. Effects of trees on understory vegetation and soils at forest-savanna boundaries. *In: Nature and dynamics of forest-savanna boundaries*. Furley, P.A., J. Proctor y J.A. Ratter (Eds.). Chapman and Hall, London. pp 353-366.
- Bigarella, J.J., D. Andrade-Lima y P.J. Riehs. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *An. Acad. Brasileira Ciên.*, 47:411-464.
- Bilbao, B., R. Braithwaite, C. Dall´Aglia, A. Moreira, P.E. Oliveira, J.F. Ribeiro y P. Stott. 1996. Biodiversity, fire, and herbivory in tropical savannas. *En: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: A global perspective*. Ecological Studies, Vol. 121. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva. (Eds.). Cap. 11. pp 197-203. Springer-Verlag, Berlin.
- Braithwaite, R.W. 1996. Biodiversity and fire in the savanna landscape. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 121-140.
- Braithwaite, R.W. y J.A. Estbergs. 1985. Fire patterns and woody vegetation trends in the Alligator Rivers region of northern Australia. *In: Ecology and management of the World´s savannas*. Tohill, J.C. y J.J. Mott (Eds.). Aust. Acad. Sci., Canberra. pp 359-364.
- Clark, J.S. 1989. Ecological disturbance as a renewal process; theory and application to forest history. *Oikos*, 56:17-30
- Clark, J.S. 1990. Fire and climate change during the last 759 years in northwestern Minnesota. *Ecol. Monogr.*, 60:135-159.
- Cole, M.M. 1986. The savannas. Biogeography and geobotany. Academic Press. London. p438.
- Collins, S.L. 1992. Fire frequency and community heterogeneity in tallgrass prairie vegetation. *Ecology*, 73:2001-2006.
- Davis, F.W. y D.A. Burrows. 1993. Spatial simulation of fire regime in mediterranean-climate landscape. *In: The role of fire in Mediterranean-type ecosystems*. Talens, M.C., W.C. Oechel y J.M. Moreno (Eds.). Springer-Verlag, New York, NY.
- Dutilleul, P. y P. Legendre. 1993. Spatial heterogeneity against heteroscedasticity: an ecological paradigm versus a statistical concept. *Oikos*, 66:152-167.
- Forman, R.T.T. y M. Gordon. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Frost, P.G.H. y F. Robertson. 1987. Fire. The ecological effects of fire in savannas. *In: Determinants of tropical savannas*. Walker, B.H. (Ed.). IUBS, Paris. pp 93-140.

- Frost, P.G.H., E. Medina, J.C. Menaut, O.T. Solbrig, M. Swift y B.H. Walker. 1986. Responses of savannas to stress and disturbance. *Biol. Int., Spec. Issue*, 10, IUBS, Paris. pp1-82.
- Furley, P.A. y J.A. Ratter. 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazil cerrado and their development. *J. Biogeogr.*, 15:97-108.
- Furley, P.A., J. Proctor y J.A. Ratter. 1992. Nature and dynamics of forest-sabana boundaries. Chapman and hall, London.
- Gillon, D. 1983. The fire problem in tropical savannas. *In: Bourliere, F. (Ed.) Tropical savannas*, Vol. 13. Elsevier. Amsterdam. pp 617-641.
- Goodland, R. y R. Pollard. 1972. The Brazilian Cerrado vegetation: a fertility gradient. *J. Ecol.*, 61:219-224.
- Gosz, J.R. 1992. Ecological functions in a biome transition zone: translating local responses to broad-scale dynamics. *In: Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows*. Hansen, A.J. y F. di Castri (Eds.). Springer-Verlag, New York, NY. pp.55-75.
- Gosz, J.R. 1995. Edges and natural resources management: future directories. *Ecol. Int.*, 22:17-34.
- Graham, R.L., M.G. Turner y V.H. Dale. 1990. How increasing atmospheric CO₂ and climate change affects forests. *BioSci.*, 40:575-587.
- Hansen, A.J., P.J. Risser y F. di Castri. 1992. Epilogue: biodiversity and ecological flows across ecotones. *In: Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows*. Hansen, A.J. y F. di Castri (Eds.). Springer-Verlag, New York, NY. pp.423-438.
- Hansson, L., L. Fahrig y G. Merriam (Eds.) 1995.. Mosaic landscapes and ecological processes. Chapman y Hall, London.
- Hobbs, R.J. y H.A. Mooney. 1986. Community changes following shrub invasion of grassland. *Oecologia*, 70:508-513.
- Humphrey, R.R. 1958. The desert grassland: A history of vegetation changes and an analysis of causes. *Bot. Rev.*, 24:193-252.
- Kolasa, J. y C.D. Rollo. 1991. Introduction: the heterogeneity of heterogeneity: a glossary. *In: Ecological heterogeneity*. Kolasa, J. y S.T.A. Pickett (Eds.). Springer-Verlag, New York, NY. pp.1-23.
- Launchbaugh, J.L. 1955. Vegetational changes in the San Antonio prairie associated with grazing, retirement from grazing, and abandonment from cultivation. *Ecol. Monogr.*, 25:39-57.
- Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73:1943-1967.
- Lonsdale, W.M y R.W. Braithwaite. 1991. Assessing the effects of fire on vegetation in tropical savannas. *Austr. J. Ecol.*, 16:363-374.
- Lord, J.M. y D.A. Norton. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conserv. Biol.*, 4:197-201.
- McNaughton, J.S. 1983. Serengeti grassland ecology: the role of composite environmental factors and contingency in community organization. *Ecol Monogr.*, 53:291-320.
- Medina, E. 1996. Biodiversity and nutrient relations in savanna ecosystems: Interactions between primary producers, soil microorganisms and soil. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 45-57.
- Medina, E. y J.F. Silva. 1990. The savannas of northern South America: a steady state regulated by water-fiere interactions on a background of low nutrient availability. *J. Biogeogr.*, 17:403-413.
- Medina, E. y O. Huber. 1992. The role of biodiversity in the functioning of savanna ecosystems. *In: Biodiversity and Global Change*. Solbrig, O.T., H.M. van Emden y P.G.W.J. van Oordt. (Eds.). CAB Int., Wallingsford. pp 141-160.
- Meentemeyer, V. y E. Box. 1987. Scale effects in landscape studies *In: Landscape heterogeneity and disturbance*. Turner, M.G. (Ed.). Springer-Verlag, New York, NY. pp.15-34.

- Moreira, A. 1992. Fire protection and vegetation dynamics in Brazilian cerrado. Tesis Doctoral, Harvard University, p201.
- Niering, W.A. y R.H. Goodwin. 1974. Creation of relatively stable shrublands with herbicides: arresting "succession" on rights-of-way and pastureland. *Ecology*, 55:784-795.
- O'Connor, T.G.O. 1985. A synthesis of field experiments concerning the grass layer in the savanna regions of southern África. SANSP # 114. Found. Res. Dev., Pretoria.
- Oliveira-Filho, A.T.D., G.J. Shepherd, F.R. Martins y W.H. Stubblebine. 1989. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. *J. Trop. Ecol.*, 5:413-431.
- Pickett, S.T.S., J. Kosala, J.J. Armesto y S.L. Collins. 1989. The concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, 54:129-136.
- Pickett, T.A. y P.S. White. 1985. Patch dynamics: a synthesis. En: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Pickett, T.A. y White, P.S. (Ed.) Capítulo 21. Academic Press, Orlando. pp371-384.
- Prado, D.E. y P.E. Gibbs. 1993. Patterns of species distribution in the dry seasonal forest of South America. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 80:902-927.
- Prance, G.T. 1973. Phytogeographic support for the theory of Pleistocene forest refuges in the Amazon Basin, based on evidence from distribution patterns in Caryocaraceae, Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae and Lecythidaceae. *Acta Amazonica*, 3:5-28.
- Ratter, J.A. y T.C.D. Dargie. 1992. An analysis of the floristic composition of 26 Cerrado areas in Brazil. *Edinburgh J. Bot.*, 49:235-250.
- Rescia, A.J., M.F. Schmitz, P. Martín de Agar, C.L. de Pablo, J.A. Atauri y F.D. Pineda. 1994. Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in Northern Spain. *J. Veg. Sci.*, 5:505-516.
- Rescia, A.J., M.F. Schmitz, P. Martín de Agar, C.L. de Pablo, J.A. Atauri y F.D. Pineda. 1995. Ascribing plant diversity values to historical changes in landscape: a methodological approach. *Landscape Urban Plann.*, 31:181-194.
- Ribeiro, J.F. y B. M. Teles Walter. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: Cerrado: ambiente e flora*. Matiko, S. y S. Pedrosa de Almeida (Eds.). Planaltina, DF, Brasil. 89-166.
- Salgado-Labouriau, L. 1994. *História ecológica da terra*. Edgard Blücher, São Paulo. 307p.
- San José, J.J. y M. Fariñas. 1991. Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta Oecol.*, 12:237-247.
- San José, J.J., M.R. Fariñas y J. Rosales. 1991. Spatial patterns of trees and structuring factors in a *Trachypogon* Savanna of the Orinoco Llanos. *BIOTROPICA* 23:114-123.
- Sarmiento, G. (Ed.) 1990. *Las Sabanas Americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y utilización*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas, Venezuela. p332.
- Sarmiento, G. 1983. Patterns of specific and phenological diversity in the grass community of the Venezuelan tropical savannas. *J. Biogeogr.*, 10:373-391.
- Sarmiento, G. 1996. Biodiversity and water relations in tropical savannas. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 62-75.
- Scholes, R.J. y S.R. Archer. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 28:517-544.
- Schubert, C. 1974. Late Pleistocene Mérida Glaciation, Venezuelan Andes. *Boreas*, 3:147-152.
- Silva, J.F. 1996. Biodiversity and stability in tropical savannas. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 161-171.
- Silva, J.F. y G. Sarmiento. 1976. La composición de especies de las sabanas en Barinas en relación con las unidades edáficas. *Acta Cient. Venez.*, 27:68-78.

- Smeins, F.E., T.W. Taylor y L.B. Merrill. 1974. Vegetation of a 25-year exclosure on the Edwards Plateau, Texas. *J. Range. Manage.*, 29:24-29.
- Solbrig, O.T. 1991. Savanna modeling for global change. *Biol. Int., Spec. Issue, IUBS, Paris.* 24:1-45.
- Solbrig, O.T. 1996. The Diversity of the Savanna Ecosystem. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective.* Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). *Ecological Studies* 121. Springer, Berlin. pp 1-27.
- Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva. 1996. Determinants of Tropical Savannas. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective.* Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). *Ecological Studies* 121. Springer, Berlin. pp 31-41.
- Stott, P.A., J.G. Goldammer y W.L. Werner. 1990. The role of fire in the tropical lowland deciduous forests of Asia. *In: Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges.* Goldammer, J.G. (Ed.). Springer, Berlin. pp 32-44.
- Suffling, R. C. Lihou y Y. Morand. 1988. Control of landscape diversity by catastrophic disturbance: a theory and a use of fire in a Canadian boreal forest. *Environ. Manage.*, 12:73-78.
- Teague, W.R. y G.N. Smit. 1992. Relations between woody and herbaceous components and the effects of bush-clearing in southern African savannas. *J. Grassl. Soc. South Afr.*, 9:60-71.
- Turner, M.G., Y. Wu, W.H. Romme y L.L. Wallace. 1993. A landscape simulation model of winter foraging by large ungulates. *Ecol. Model.*, 69:163-184.
- van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *J. Biogeogr.*, 1:3-26.
- van der Hammen, T. 1983. The palaeology and palaeogeography of savannas. *In: Tropical savannas.* Bourliere, F. (Ed.). Elsevier, Amsterdam.
- van der Hammen, T. 1989. History of the montane forest of the northern Andes. *Plant Syst. Evol.*, 162:109-114.
- Walker, B.H. 1981. Is a succession a viable concept in African savanna ecosystem?. *In: Forest Succession: concepts and application.* Shugart, H. y D. Botkin (Ed.) Springer-Verlag, Berlin.
- Walker, B.H. 1987. *Determinants of Savannas.* IRL, Oxford.
- Werner, P. (Ed.) 1991. *Savanna ecology and management. Australian perspectives and intercontinental comparisons.* Blackwell, Oxford.
- West, N.E., F.D. Provenza, P.S. Johnson y M.K. Owens. 1984. Vegetation change after 13 years of livestock grazing exclusion on sagebrush semidesert in West Central Utah. *J. Range. Manage.*, 37:262-264.
- Zaletaev, V.S. 1995. Structural arrangement and management of ecotones. *Ecol. Int.*, 22:35-48.

CAPÍTULO II

DINÁMICA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA COBERTURA DE LEÑOSAS

II.1. Introducción

La pregunta sobre la existencia del equilibrio leñosas/gramíneas en sabanas no perturbadas ha sido ampliamente discutida en la bibliografía (Walker *et al.* 1981, Walker y Noy-Meir 1982, Belsky 1990, Menaut *et al.* 1990, Skarpe 1991; Taiton y Walker 1992, Scholes y Walker 1993). En estas discusiones, el término *estabilidad* se refiere realmente a la coexistencia de leñosas y gramíneas en una amplia escala temporal (Walker y Noy-Meir 1982). La visión de fluctuaciones alrededor de uno o más estados estables (Walker y Noy-Meir 1982) ha sido reemplazada por una visión de desequilibrio en la cual la coexistencia se alcanza a través de los disturbios (Skarpe 1992; Scholes y Walker 1993). Episodios de mortalidad en individuos adultos, a través de varios agentes de disturbio (fuego, herbivoría, sequía, extracción de madera, etc.), previenen a los árboles de alcanzar un límite superior de densidad impuesto por la competencia interárbol, manteniendo por lo tanto la coexistencia de leñosas y gramíneas en las sabanas (Scholes y Walker 1993; Jeltsch *et al.* 1996).

La propuesta clásica de coexistencia se basa en la hipótesis de Walter (1971) que establece que los árboles y las gramíneas tienen un acceso diferente al factor limitante “agua”. Este autor asume que las gramíneas son los competidores superiores en los primeros horizontes del suelo. Los modelos no-espaciales apoyan la idea que esta separación de nichos lleva a la coexistencia de árboles y gramíneas en las sabanas (Walker *et al.* 1981; Walker y Noy-Meir 1982; Walker 1985; Belsky *et al.* 1993), pero estudios más recientes sugieren que las raíces de los árboles y de las gramíneas explotan la humedad en horizontes que se sobrepone (Scholes y Walker 1993; Belsky 1994).

Scholes y Walker (1993) han propuesto que las sabanas no representan una mezcla estable de árboles y gramíneas, como se ha sugerido en el pasado, sino más bien una

mezcla intrínsecamente inestable que solo persiste debido a disturbios como el fuego, herbivoría y las fluctuaciones de las precipitaciones.

Ahora bien, el incremento en la presencia de leñosas en las sabanas ha sido reportado a nivel mundial (en África: Barnes 1979, van Vegten 1983; en Australia: Harrington *et al.* 1984; en India: Singh y Joshi 1979; en Norte América: Buffington y Herbel 1965, Blackburn y Tueller 1970, Herbel *et al.* 1972, Hobbs y Mooney 1986, Archer *et al.* 1988, Archer 1989; y en Sudamérica: Bucher 1982, Schoefield y Bucher 1986, Moreira 2000, Silva *et al.* 2001). En algunos casos, los cambios de pastizal a sabana arbolada ocurren por un incremento rápido en el tamaño y abundancia de especies leñosas (Johnston 1963). En otros casos, los cambios son graduales y ocurren en un gran lapso de tiempo (Hunziker *et al.* 1977; van Devender y Spaulding 1979). En una revisión bibliográfica realizada por Archer (1995) se evidencia que la invasión de leñosas en las sabanas ha sido por lo general: (1) rápida, con cambios sustanciales en los últimos 50 a 300 años; (2) no-lineal y acentuada por eventos climáticos extremos; (3) asociada con el pastoreo, eliminación de ramoneadores o supresión de las quemas; (4) influenciada por los factores topoedáficos; (5) dirigida por una afluencia de leñosas no-palatables, siempreverdes tolerantes al disturbio o fijadoras de nitrógeno; y (6) estructura irreversible con el tiempo relacionada al manejo del ecosistema.

En las sabanas estacionales, con un clima relativamente uniforme sobre grandes extensiones, es muy probable que los factores ambientales relevantes en las variaciones fisonómicas de la sabana y en los límites sabana-bosque estén ligados a la heterogeneidad del sustrato, a factores derivados de la utilización social del suelo (Sarmiento 1996) y a la presencia de facilitadores biológicos (Yeaton 1988).

En las sabanas estacionales existe una gran diversidad de estrategias y de formas de vida (Sarmiento 1990 y 1996). En el caso de las leñosas, estas varían a lo largo de un continuo desde especies siempreverdes, esclerófilas y piro-resistentes en un extremo hasta especies decíduas, mesófilas y no-piro-resistentes en el otro (Silva 1996). Aquí, los bosques decíduos pueden estar presentes en extensiones variables, generando un paisaje de mosaico; o pueden presentarse formando islas en el pastizal, llamadas localmente “*matas*”) dándole a las sabanas estacionales una fisonomía que ha sido llamada de *Sabana Parque* (Sarmiento *et al.* 1971). Las *matas* presentan una situación microclimática, humedad edáfica y

contenido de nutrientes del suelo intermedia entre el bosque y la sabana abierta (Farji-Brener 1992). Ellas aumentan de área no sólo mediante el crecimiento de sus individuos, sino también por la incorporación de nuevos individuos, a través de un reclutamiento diferencial (Archer *et al.* 1988), y su ubicación dentro de la *mata* responde a sus características funcionales (Farji-Brener 1992). Se tiene, por ejemplo, que las especies decíduas son exitosas en el intermedio y centro de la *mata*, donde están protegidas del fuego y poseen un medio más favorable para su germinación y desarrollo; mientras que los árboles de sabana, intolerantes a la sombra pero tolerantes al fuego, quedan restringidos a los bordes (Sarmiento y Monasterio 1983, Sarmiento *et al.* 1985, Medina y Silva 1990). En términos generales, los árboles de sabana poseen una mayor proporción de individuos adultos en las *matas* que en el hábitat abierto adyacente (San José *et al.* 1991). Según Farji-Brener (1992), es posible que las *matas* se generen por sucesión autogénica a partir de núcleos de árboles de sabana que modifican su entorno. Scholes y Archer (1997) sugieren que en las sabanas, todas las combinaciones de árboles maduros y gramíneas son inestables. Ante la ausencia de disturbios como las quemadas recurrentes, deforestación antrópica y el pastoreo, la cobertura de leñosas se incrementaría a expensas de la producción de gramíneas hasta que ésta es limitada por la competencia árbol-árbol. En este sentido, Archer *et al.* (1988) y Archer (1990) sostienen que el paisaje *sabana parque* no solo es inestable, sino que representa un estadio intermedio en la conversión fisonómica de una sabana abierta a una sabana cerrada.

Las técnicas de estudio de isótopos estables, dendrocronología y de aerofotografías ofrecen la oportunidad de generar reconstrucciones espacialmente explícitas de la historia de la vegetación y determinar las tasas y dinámica de los cambios (Archer 1996). A medida que se incrementa el número de estos estudios, se incrementará el conocimiento de la dinámica de la vegetación en la escala del paisaje y regional.

Cuando se dispone de una serie aerofotográfica apropiada, ésta puede usarse para cuantificar e integrar el resultado de las interacciones en los procesos en la pequeña escala así como el efecto de las fluctuaciones climáticas en los patrones de la vegetación. Sirve como una importante herramienta en la cuantificación de la dinámica del paisaje en escalas de tiempo y espacio relevantes en la historia de vida de las especies vegetales perennes, procesos de sucesión y prácticas de manejo y conservación (Archer 1996).

La interpretación de series aerofotográficas es una herramienta subutilizada capaz de suministrar la información necesaria para reconstruir, entender e interpretar la dinámica de la vegetación en las sabanas (Archer 1996). Esta herramienta permite la cuantificación de los cambios pasados en la distribución de la vegetación dentro de un marco de trabajo espacialmente explícito en series relevantes en sentido ecológico y que permiten establecer prácticas de manejo y/o conservación.

II.2. Materiales y Métodos

II.2.1. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio está ubicada en el Parque Nacional Aguaro-Guariquito (PNAG), al Sur del Estado Guárico. Con una extensión original de 585.750 ha, y luego de 612.150 ha¹, el PNAG se convierte en 1974 (Decreto Ejecutivo N° 1686 y Gaceta Oficial N° 30.349) en el área protegida más importante dentro de la geografía de Los Llanos del Orinoco, no sólo por su extensión² sino también por la elevada diversidad ambiental que presenta. Se trata de un área heterogénea, con muchos caracteres marginales y ecotonales, situada en la confluencia de las principales unidades geográficas de la región llanera: el Alto Llano y el Bajo Llano (Sarmiento y Monasterio 1969 y 1971, Morales 1978). En el PNAG se encuentran equivalentes fitofisonómicos y geomorfológicos a las de las cuatro regiones sabánicas definidas por Sarmiento (1983^a) para Los Llanos del Orinoco (ver Figura I.3), manifiestas en un gradiente de dirección Norte-Sur. Según Sarmiento y Monasterio (1969), al Norte se tienen sabanas de *Trachypogon* sobre un relieve de mesas disectadas por cañadas donde aparecen los típicos morichales de *Mauritia minor*, configurando en conjunto, un patrón de vegetación esencialmente similar al de Los Llanos Orientales de Anzoátegui y Monagas (*sabanas sobre mesas*). Luego, existen pastizales sobre suelos aluvionales y bosques semidecídúos en galerías fluviales, comparables en composición, estructura y ecología con los de Los Llanos Occidentales de Barinas y Portuguesa (*sabanas de piedemonte*). Al Sur, y correspondientes ya al Bajo Llano, aparecen sistemas de médanos (*sabanas eólicas*) intercalados en llanuras bajas con suelos lateríticos hidromorfos, que no se diferencian de las del centro y Sur del Estado Apure (*sabanas aluviales*).

Dentro del PNAG, las sabanas estacionales se presentan en aquella región ocupada por la unidad geográfica *Alto Llano* y está caracterizada por un paisaje de mesas. De acuerdo a un análisis macroecológico realizado en la zona (Sarmiento y Monasterio 1971), éste pertenece al *Paisaje de Mesa de Becerra*. En una interpretación altimétrica simplificada del PNAG y realizada a una escala 1:400.000 se deduce que esta unidad ocupa un área aproximada de

¹ Producto de una donación, recientemente se anexaron 26.400 ha a la región Norte del PNAG.

² Entre los 43 Parques Nacionales que existen actualmente en Venezuela, el PNAG ocupa el 4^{to} lugar.

315.000 ha; es decir, partiendo del extremo Norte, cubre el 51% de la extensión del parque. Es aquí donde, con una extensión de 17.200 ha y equivalente al 5,5% de la superficie ocupada por sabanas estacionales en el PNAG, hemos ubicado nuestra área de estudio (Figura II.1).

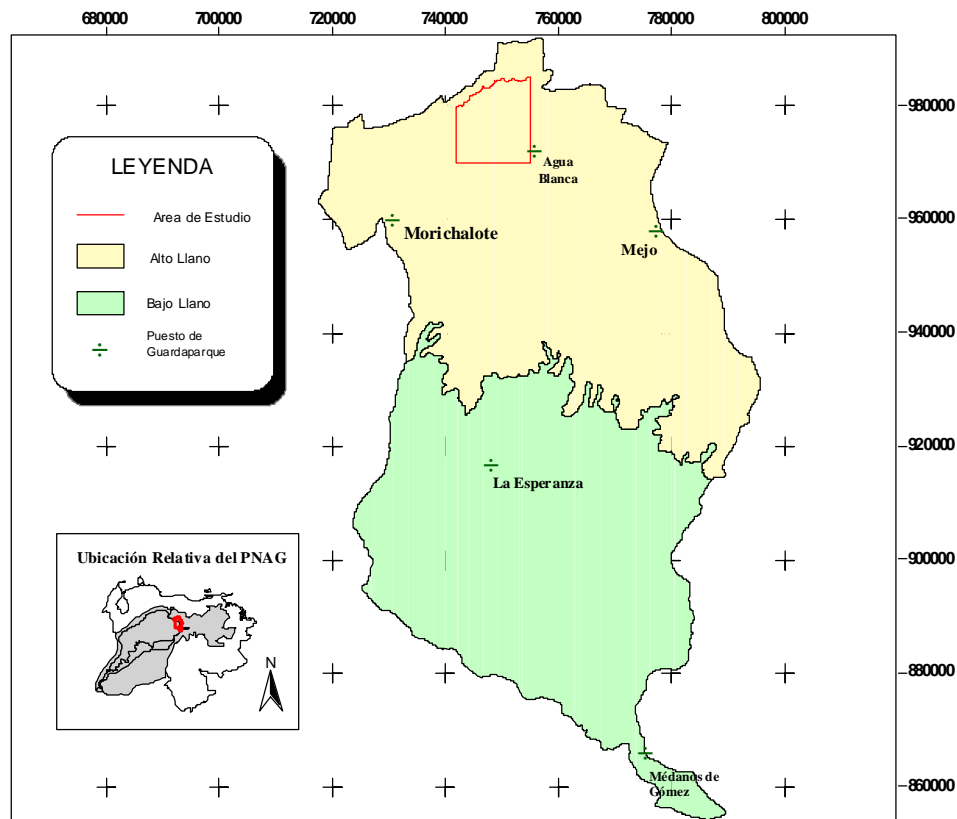


Figura II.1. Ubicación del área de estudio con relación al PNAG y las unidades geográficas presentes. Coordenadas en UTM (Huso 19).

II.2.2. Métodos

II.2.2.1. Criterios para el establecimiento del Área de Estudio

Previa a la selección de la ubicación definitiva del área de estudio se consideraron dos premisas esenciales: en primer lugar, éste debía disponer de cobertura aerofotográfica para una secuencia de tiempo lo más amplia posible; y luego, el área debía ser lo suficientemente extensa que permitiera la expresión de la mayor diversidad de fitofisonomías, así como de variables ambientales posibles; esto sin perjuicio de las implicaciones logísticas y técnicas

inherentes al protocolo de trabajo. En un primer reconocimiento, se estableció un *área preliminar de trabajo* de aproximadamente 50.000 ha, cuyas fronteras Sur, Este y Oeste quedan comprendidas entre los ejes de coordenadas LAT 970.000-985.000³ y LON 720.000-760.000. Al Norte, el borde de mesa funciona como frontera natural (ver Figura II.2).

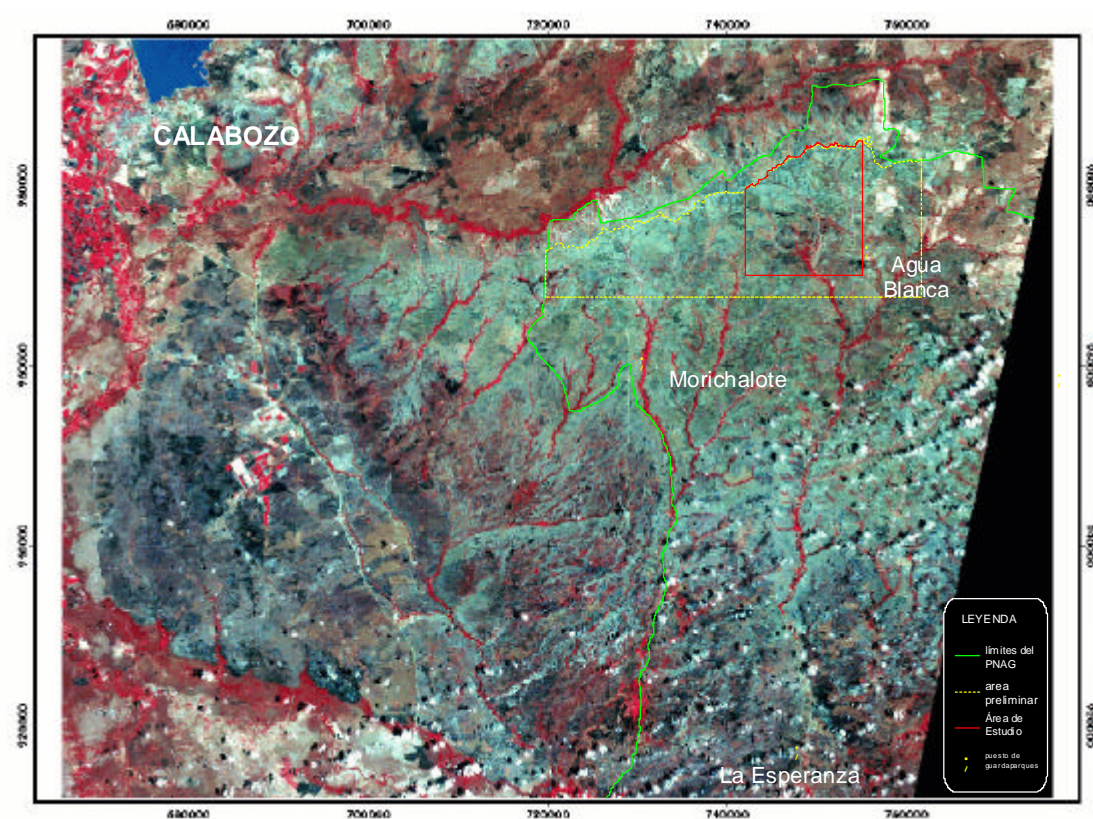


Figura II.2. Ubicación del área de estudio con relación al *área preliminar*, al PNAG y a Calabozo. Imagen satelital base cortesía del Instituto de Ingeniería, USB-Caracas, a través de la Dra. Tania Zambrano.

A partir de fotografías aéreas de escala 1:60.000 de fecha 1997 (Misión 0305149 del IVGSB-MARN⁴) y de mapas cartográficos 1:100.000 y 1:25.000, también del IVGSB-MARN, realizamos una caracterización o interpretación cualitativa del área en lo que respecta a la altimetría, a las unidades de relieve (dinámica hídrica superficial de escorrentía o de deposición: *run-on* ó *run-off*) y a la abundancia de leñosas. De igual forma, realizamos visitas al área para calibrar en campo las observaciones anteriores así como para considerar la accesibilidad y otras implicaciones logísticas. Las Figuras II.3 y II.4 resumen la distribución espacial de las diferentes unidades de relieve y la cobertura de leñosas correspondiente. El

³ Unidades en UTM, Huso 19.

⁴ Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar” – Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales

análisis de estas figuras permitió identificar aquella zona que presentaba una mayor diversidad de situaciones o variables.

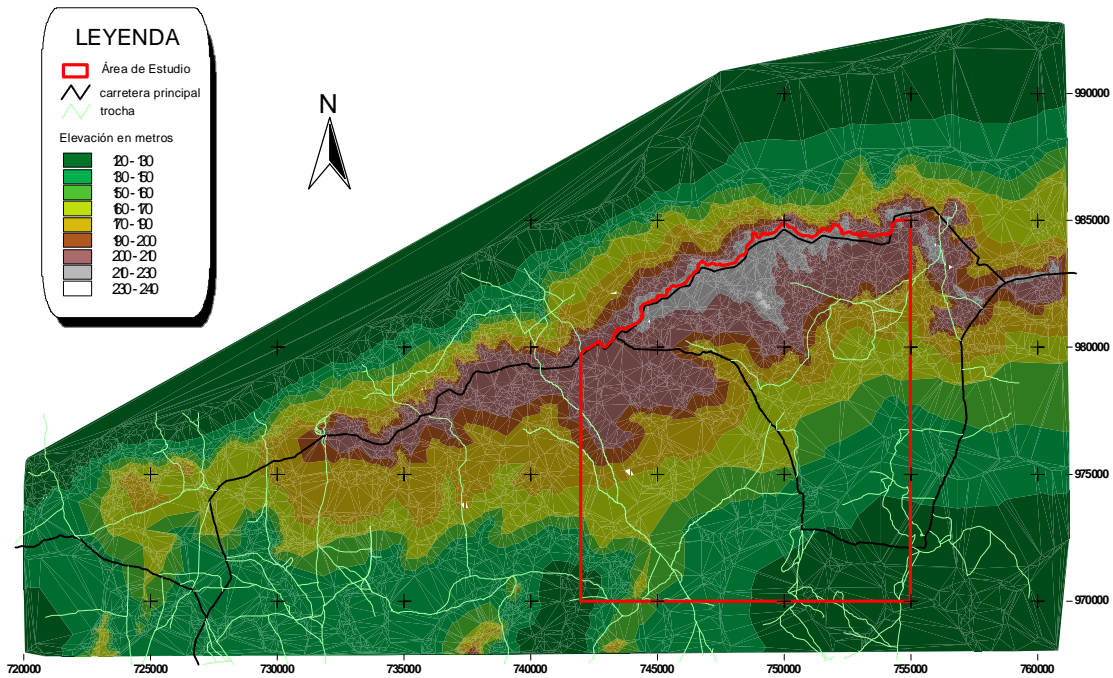


Figura II.3. Altimetría y vialidad presente en el área preliminar de trabajo.

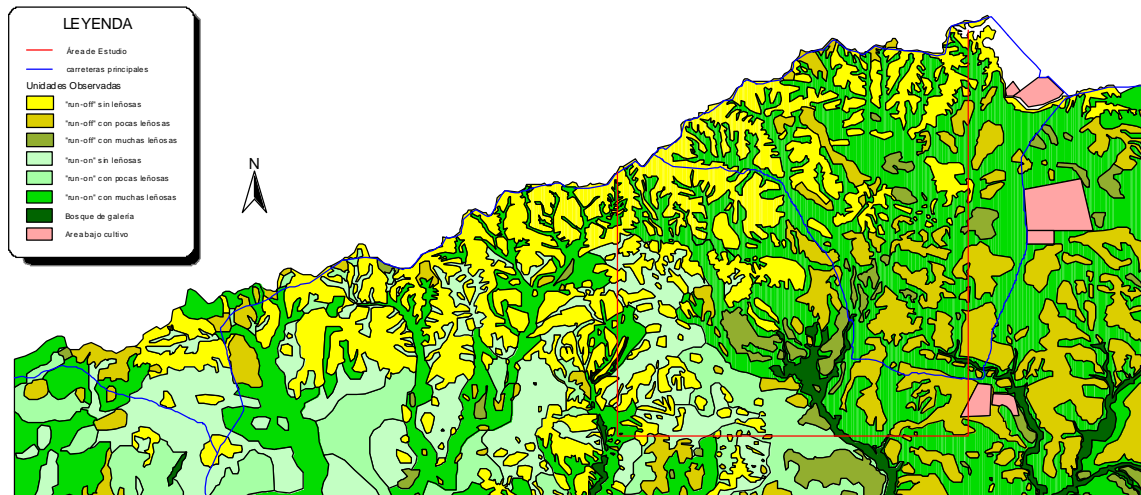


Figura II.4. Unidades de dinámica hídrica superficial y de abundancia de leñosas presentes en el área preliminar de trabajo.

Para el presente trabajo, nuestra *Área de Estudio* quedó entonces definida como aquella comprendida entre los Paralelos 970.000-985.000 y los Meridianos 720.000-760.000, donde el borde de mesa funciona como frontera al Norte. El área resultante es de 17.227,9 ha y su

centro geométrico, coordenadas 748500-977500, se ubica a 72 km de la ciudad de Calabozo. En las figuras anteriores de este capítulo, el área de estudio aparece delimitada por líneas rojas.

Usando la nomenclatura de Sarmiento y Monasterio (1971) sobre los sistemas y formas de relieve presentes en la región donde está comprendida la sección Norte del PNAG, observamos que, tanto en el campo como en las aerofotografías, la primera mitad (dirección N-S) del paisaje de llanura fuertemente ondulada está dominado por componentes que caracterizan al *Sistema de Relieve Las Piñas*, y que según la nomenclatura usada por estos autores corresponden a: *cerritos* de cantos rodados; *intercerritos* donde una delgada coluvial cubre los cantos rodados; *amplias cañadas* con sabana pastizal, pantano estacional y morichal; *caños encauzados* bordeados por una angosta selva en galería. Al Sur del área de estudio se presentan otras formas de relieve que fueron descritas por estos autores en otro sistema de relieve del área denominado por ellos *El Alcornocal*⁵. El relieve chato dominante en esta zona establece una dinámica hídrica superficial de deposición, *run-on*, formándose así extensas *llanuras coluviales* y *llanuras de erosión*. La erosión hídrica en las mesas, de carácter predominantemente laminar, arrastró los sedimentos superficiales más finos, depositándolos hacia sus bordes meridionales, para formar así una franja de redepósitos de tipo coluvial, de extensión variable en cada una de las mesas y que puede alcanzar hasta un par de metros de espesor. En estas zonas los suelos son por lo tanto más profundos, por no existir la barrera laterítica. Pero también más pesados y de drenaje más lento debido a la granulometría más fina de los redepósitos. En ellos se mantiene una sabana diferente a la que existe sobre los sedimentos originales.

II.2.2.2. Metodología para la identificación de las *Formas de Relieve*

La metodología parte de una interpretación detallada de las fotografías aéreas de todo el área de estudio, para lo cual se utilizaron fotos de la Misión 0305149 del IVGSB-MARN del año 1997. Tomando en cuenta que la escala original de estas fotos era muy pequeña (1:60.000), se trabajó con copias que fueron previamente ampliadas al doble de su formato original (23 cm x 23 cm). Estas copias fueron luego digitalizadas a una resolución de 600 dpi

⁵ Si bien Sarmiento y Monasterio (1971) ubican a *El Alcornocal* al Norte de *Las Piñas*: en vertiente distinta y opuesta a la que se presenta en el área de estudio; se observa que algunas de las formas de relieve pueden compartirse.

con un *scanner* y georeferenciadas con un sistema de información geográfico (SIG). La interpretación de los elementos geomorfológicos o formas de relieve se llevó a cabo directamente sobre las imágenes con la ayuda del SIG *Ilwis 3.1* a una escala constante de 1:5.000. Para cada forma de relieve y en la totalidad de la extensión del área de estudio (17.227,9 ha), fueron identificados y delimitados los bordes; el SIG empleado permitió expresar los resultados en polígonos de cobertura de área y perímetro conocido.

Luego de diferenciar y considerar la diversidad de formas de relieve presentes en el área de estudio, y de consultar la bibliografía disponible sobre la geomorfología de la zona, se decidió adoptar, con algunas modificaciones, la clasificación propuesta por Sarmiento y Monasterio (1971) en su análisis macroecológico de la región natural donde está comprendida el área de este estudio. En su trabajo original, estos autores identifican, según un gradiente altimétrico, las formas: *cerrito*, *intercerrito*, *cañada amplia*, *llanura coluvial* y *llanura de erosión*; en el sistema también están presentes los *caños encauzados*, pudiendo extenderse a lo largo de las demás formas geomorfológicas. Para el presente estudio, se decidió renombrar algunas de estas formas de relieve de acuerdo a una nomenclatura geomorfológica más acorde, así como se realizó una subdivisión de algunas de las formas en respuesta a la resolución del presente trabajo. La Tabla II.1 resume los resultados de estas clasificaciones y consideraciones.

Tabla II.1. Formas de relieve presentes en el área de estudio.

<i>Siglas</i>	<i>Forma de Relieve</i>	<i>Según Sarmiento y Monasterio (1971)</i>	<i>Dinámica hídrica</i>	<i>Características</i>
<i>A_I</i>	afloramientos altos	<i>cerritos</i>	<i>run-off</i>	Se tratan de afloramientos de granzón basal de la Formación Mesa. Tienen una altura entre 130 y 240 msnm, pero sus alturas relativas con respecto a los niveles inferiores oscilan entre 10 y 15 m. Sus contornos son redondeados y suaves, como corresponde a la naturaleza de sus sedimentos superficiales: una capa de grava de cuarzo, suelta, formada por rodados bien trabajados, de hasta 10 cm de largo. Los afloramientos de mayor altura tienen un espesor de varios metros, mientras que en los más bajos y desgastados por la erosión se reduce a una capa delgada de menos de 1 m.
<i>A_{II}</i>	afloramientos medios	<i>cerritos</i>	<i>run-off</i>	Afloramientos de la Formación Mesa con aluviones menos gruesos que <i>A_I</i> . De altura variable e insertos en los abanicos de explayamiento (<i>LL_{II}</i>), pueden ser considerados como remanentes de los <i>A_I</i> . Se ubican como zona de transición entre el paisaje de mesa y el paisaje de llanura coluvial.

<i>Siglas</i>	<i>Forma de Relieve</i>	<i>Según Sarmiento y Monasterio (1971)</i>	<i>Dinámica hídrica</i>	<i>Características</i>
<i>A_{III}</i>	aforamientos bajos	<i>cerritos</i>	<i>run-off</i>	Son similares a los <i>A_{II}</i> , sólo que aquí son mucho más bajos y desgastados por la erosión, presentándose en muchos casos como pequeños afloramientos de rodados. Pueden ser considerados como los últimos remanentes del escalón alto adyacente que quedaron aislados en medio de un relieve muy desgastado.
<i>LL_I</i>	canales de explayamiento	<i>intercerritos</i>	<i>run-on</i>	Son áreas planas o ligeramente cóncavas, situadas entre los <i>A_I</i> o entre éstos y los <i>LL_{II}</i> . Los canales de explayamiento, aunque producto de la erosión, presentan por encima del estrato de grava una delgada capa de sedimentos arenosos, de hasta 20 cm de espesor, arrastrados y depositados por las aguas que bajan de los <i>A_I</i> adyacentes. A veces el canal es tan estrecho que se reduce a una línea de drenaje; a estos los consideramos como componentes integrales de <i>A_I</i> . Si bien los <i>LL_I</i> pueden superar los 200 m de ancho, son por lo general más estrechos. En las partes más amplias presentan una gama mayor de condiciones de humedad edáfica, de manera que en el fondo de la cubeta formada por el canal se produce un anegamiento temporal del suelo.
<i>LL_{II}</i>	abanicos de explayamiento	<i>cañadas amplias</i>	<i>run-on</i>	Los abanicos de explayamiento son cauces chatos que drenan el sistema hacia el Sur. Nacen muy cerca del borde Norte y forman en conjunto una red de drenaje casi paralela, de depresiones poco profundas, pero que llegan a alcanzar hasta 1 km de ancho. Los sedimentos aluvionales recientes, son arenosos y profundos, manteniéndose húmedos durante todo el año. Por el centro o por uno de sus bordes, corre un pequeño curso de agua estacional que en la temporada de lluvias desborda inundándola totalmente, mientras que en la estación seca su caudal disminuye hasta desaparecer a finales de la misma.
<i>LL_{III}</i>	llanuras coluviales	<i>llanuras coluviales</i>	<i>run-on</i>	Estas llanuras pueden ser asimiladas a <i>LL_I</i> o <i>LL_{II}</i> , muy amplios y casi planos, cubiertas por una variedad de sedimentos coluviales originados en el escalón alto vecino, que granulométricamente va desde limos y arenas finas hasta gravas, formando un intrincado micromosaico. En otras partes la llanura es más uniforme, apareciendo vastas extensiones cubiertas por arena casi pura, muy suelta.
<i>LL_{IV}</i>	llanuras de erosión	<i>llanuras de erosión</i>	<i>run-on</i>	Aquí afloran los estratos subyacentes a la Formación Mesa. Es una forma de relieve cuyo rasgo más característico es la microtopografía sumamente irregular, constituida por depresiones circulares de hasta 5 m de diámetro, unidas entre sí por grietas profundas, originando una trama que en las fotos aéreas a escala 1:20.000 aparece como si fueran huellas digitales. Este microrelieve se ha formado sobre areniscas localmente calcáreas que

<i>Siglas</i>	<i>Forma de Relieve</i>	<i>Según Sarmiento y Monasterio (1971)</i>	<i>Dinámica hídrica</i>	<i>Características</i>
				se encuentran en la base de la Formación Mesa y que en esta unidad han quedado expuestas por la erosión local de los estratos que las recubrían. Por las típicas depresiones circulares que la componen, esta microtopografía aparece “viruelada”, patrón ocasionado por la naturaleza calcárea del substrato. En los espacios más o menos planos situados entre las depresiones circulares o “viruelas” son frecuentes pequeñas lentes de rodados.
CÑE	caños encauzados	<i>caños encauzados</i>	<i>run-on</i>	La última forma de relieve, muy poco importante en extensión pero de gran interés por su papel en la formación del relieve, está constituida por las cabeceras de los caños embarrancados. Estos ríos de mayor poder erosivo que las cañadas, van por erosión retrogradante formando profundas cárcavas que carcomen la franja de cerritos marginales acentuando así su relieve.

II.2.2.3. Establecimiento de las *Unidades de Muestreo*

El ejercicio de identificación de *Formas de Relieve*, expuesto en la sección anterior, nos planteó la necesidad de aumentar la escala de trabajo para adecuarla al gradiente de formaciones de leñosas presentes en las imágenes. Se observó que, si bien en algunas situaciones la cobertura de leñosas se presentaba en grandes unidades o extensiones, eran muy frecuentes los casos donde la cobertura no excedía de unos pocos metros cuadrados. La experiencia señala que, hasta para un área de 1 km², es posible aumentar la escala de trabajo de las imágenes hasta 1:2.000, permitiendo diferenciar coberturas de leñosas de hasta 1,0 m². Se decidió, entonces, el establecimiento de 10 *unidades de muestreo* (**UM**) de 1.000 m x 1.000 m cada una. Partiendo que existe la posibilidad dentro del área de 155 de coordenadas UTM exactas (eg. 748.000-975.000), se sorteó la ubicación del centro geométrico de cada **UM** entre las opciones. La Figura II.5 muestra la posición definitiva de las 10 **UM** *colocadas al azar*.

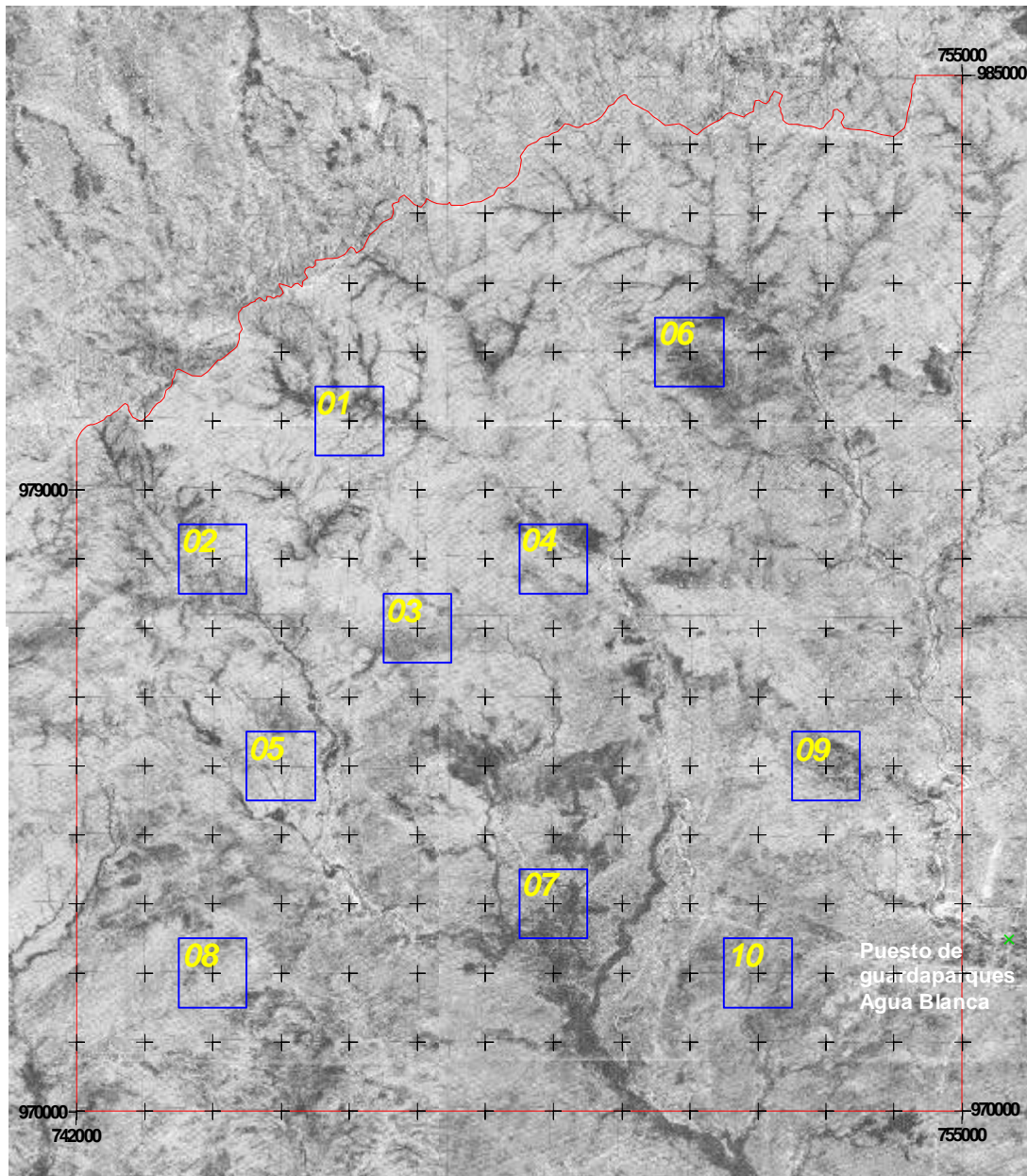


Figura II.5. En azul, ubicación de las 10 *unidades de muestreo* (UM) dentro del área de estudio (en rojo). Los números amarillos identifican cada UM. Imagen base: fotomosaico de la Misión 0305149 del año 1997.

II.2.2.4. Fotointerpretación de la cobertura de leñosas en las *unidades de muestreo*

Para el área de estudio, y específicamente para los 10 UM's, se disponía de cobertura aerofotográfica para una serie de 59 años en cuatro misiones distintas, a saber: 1938, 1961, 1978 y 1997. En la Tabla II.2 se resumen algunas de las características más relevantes de estas misiones.

Tabla II.2. Información aerofotográfica de las misiones empleadas en la fotointerpretación.

<i>Año</i>	<i>Misión</i>	<i>Escala original</i>	<i>Película</i>	<i>Origen</i>
1938	0305-M-48	1:20.000	pancromática	IGVSB-MARN
1961	0305-M-172	1:25.000	pancromática	IGVSB-MARN
1978	0305112	1:50.000	pancromática	IGVSB-MARN
1997	0305149	1:60.000	pancromática	IGVSB-MARN

Previa a la digitalización y georeferenciación de las imágenes, se adquirieron del IGVSB-MARN ampliaciones al doble de las fotos cuya escala original fuera superior a 1:20.000, esto para lograr una uniformidad, en todo el material aerofotográfico, en lo que respecta escala y resolución de trabajo. La digitalización se llevo a cabo con un *scanner* a una resolución de 600 dpi. El uso del SIG, además de permitir la georeferenciación, garantizó que la interpretación fuera realizada en una escala de trabajo constante de 1:2.000. Con una apreciación de 1 m², esta escala permitió calcular tanto el área como el perímetro de los polígonos que resultaban de la delineación de la cobertura de leñosas. La delineación se llevó a cabo en la totalidad del área de cada uno de los 10 UM's y en cada una de las misiones. Este esfuerzo implicó la fotointerpretación de 10 km² por misión y de 40 km² para la totalidad de la serie considerada.

II.2.2.5. Fotointerpretación de la cobertura de leñosas en configuración de *galería*

Partiendo del mismo material aerofotográfico empleado para las UM, y de una escala de trabajo también de 1:2.000, sé fotointerpretó la dinámica espacio-temporal de cobertura de leñosas a lo largo del cauce de la Qda. Calabocito y sus tributarios; desde sus nacientes hasta las coordenadas LAT 750.448 LON 970.000, punto donde abandona el área de estudio (ver Figura II.6). Representando el 66,7 % de la red hidrológica del *Área de Estudio* y con una extensión total de 43 km de cauce con aguas permanentes, la Qda. Calabocito y sus tributarios recorren 7 de las 8 formas de relieve presentes en el área de estudio, todas excepto las *llanuras de erosión (LLIV)*.

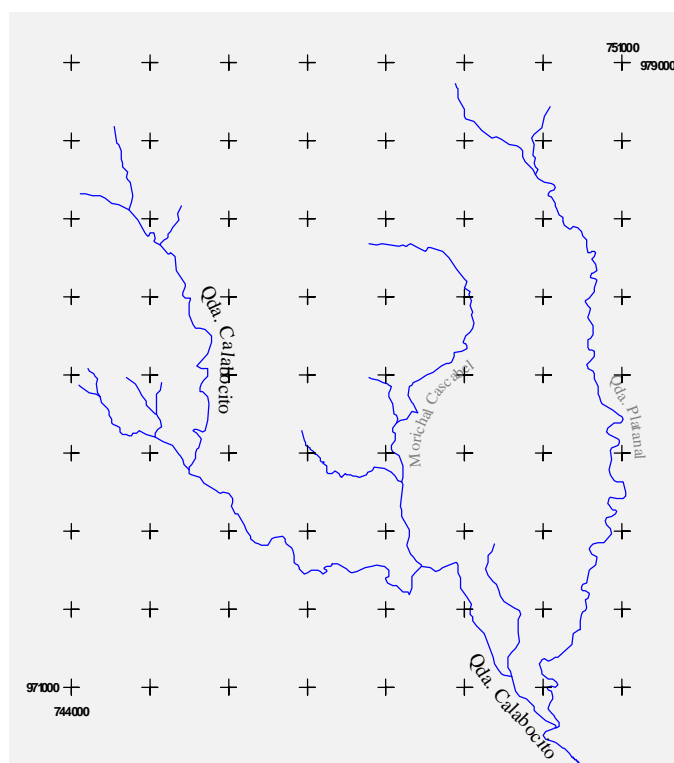


Figura II.6. Cauce de la Qda. Calabocito y sus tributarios en el área de estudio.

II.2.2.6. Análisis de los datos de cobertura de leñosas

Para simplificar el análisis espacio-temporal de la cobertura de leñosas sobre la base de diversos criterios (*e.g.* pertenencia a una forma de relieve y/o serie temporal), se realizó una agrupación de la base de datos en clases de tamaño; esto en respuesta a la variabilidad de sus valores y al gradiente de posibilidades fitomorfológicas. A partir del área mínima de cobertura diferenciable (apreciación del SIG a la escala 1:2.000) y por observaciones cualitativas en campo sobre la diversidad florística y estructural del gradiente de situaciones, dentro del espectro de posibilidades resultante de $<10 \text{ m}^2$ hasta $>10.000 \text{ m}^2$, las clases de tamaño fueron agrupadas, a su vez, en *superclases* de cobertura de leñosas con el propósito de reducir aún más la variabilidad.

Luego de esta primera clasificación y agrupación, y con el propósito de establecer la dinámica espacio-temporal de la cobertura, los datos fueron nuevamente agrupados sobre la base de diferentes criterios. En primer lugar, sobre su pertenencia a un año dentro de la serie

temporal 1938-1997; luego, sobre la base de su pertenencia a una *unidad de muestreo* o *forma de relieve* determinada, total y a un año particular.

Sobre estas bases de datos se realizaron comparaciones múltiples entre las medias de cada una de las diferentes variables a través del análisis de la varianza de dos factores (*two-way ANOVA*) y de la prueba de Tukey-Kramer. Para ajustarse a los requerimientos de estos análisis paramétricos, las bases de datos fueron sujetas a una transformación logarítmica (\log_{10}).

Con el propósito de obtener una cuantificación en la variación temporal de la cobertura de leñosas en las diferentes situaciones de agrupación de datos antes descrita, y para las series particulares: 1938-1961 (23 años), 1961-1978 (17 años), 1978-1997 (19 años); y para la serie global o total: 1938-1997 (59 años); se trabajó con un índice de *incremento relativo anual (IRA)*, estimado a través de la fórmula: $IRA = (\text{área}_t - \text{área}_{t-1}) \times 100 / (\text{área}_{t-1} \times (t - (t-1)))$.

De igual forma, y con la ayuda del SIG, se logró estimar el porcentaje de cobertura que lograba persistir las diferentes series. Esto se obtuvo a partir de los polígonos que resultaban de la intersección de la cobertura de leñosas de una misión aerofotográfica determinada con los de otra misión. La persistencia de la cobertura, expresada como porcentaje de la cobertura inicial, se estimó para las diferentes *formas de relieve* en las series: 1938-1961, 1961-1978, 1978-1997 y 1938-1997.

En el caso de los datos generados por la interpretación de la cobertura de leñosas en configuración de *galería* (sección II.2.2.4), se aplicó el mismo proceso estadístico y de análisis descrito anteriormente.

II.3. Resultados

II.3.1. Formas de Relieve del Área de Estudio y de las Unidades de Muestreo

En líneas generales, la cobertura neta de las formas de relieve con dinámica hídrica de escurrimiento (*run-off*) es de 42,9%, mientras que aquellas con dinámica de deposición (*run-on*) cubren el 57,1%. Del análisis altimétrico del área de estudio se puede evidenciar *a priori* un fuerte gradiente de dinámica hídrica de dirección N-S y NO-SE (Figura II.7).

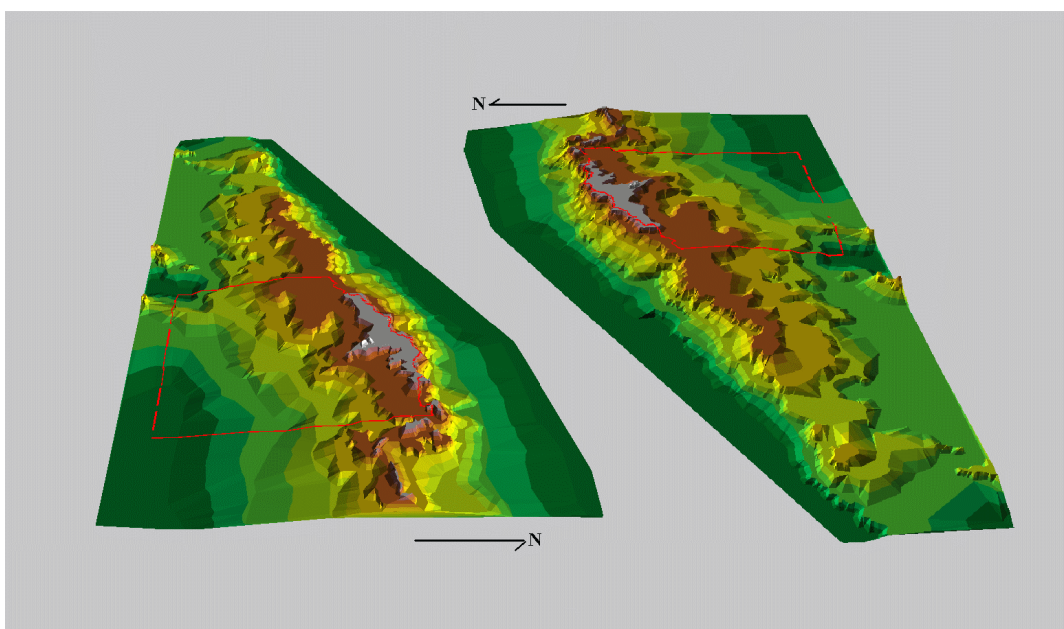


Figura II.7. Vista tridimensional del área de estudio.

Como consecuencia, la distribución espacial de las distintas formas de relieve responden a este gradiente. En la Figura II.8, se puede apreciar que éstas se distribuyen en tres bloques diferenciables. El primer bloque, con una altura máxima de 240 m snm y una superficie de 6.300 ha, se extiende desde el borde de mesa hasta la cota 190. Al estar conformado por un 73,3% de A_I y un 26,7% LL_I , su dinámica hídrica superficial es predominantemente de escurrimiento (*run-off*). Los A_I presentan un microrelieve muy accidentado producto de la disección de líneas de drenaje.

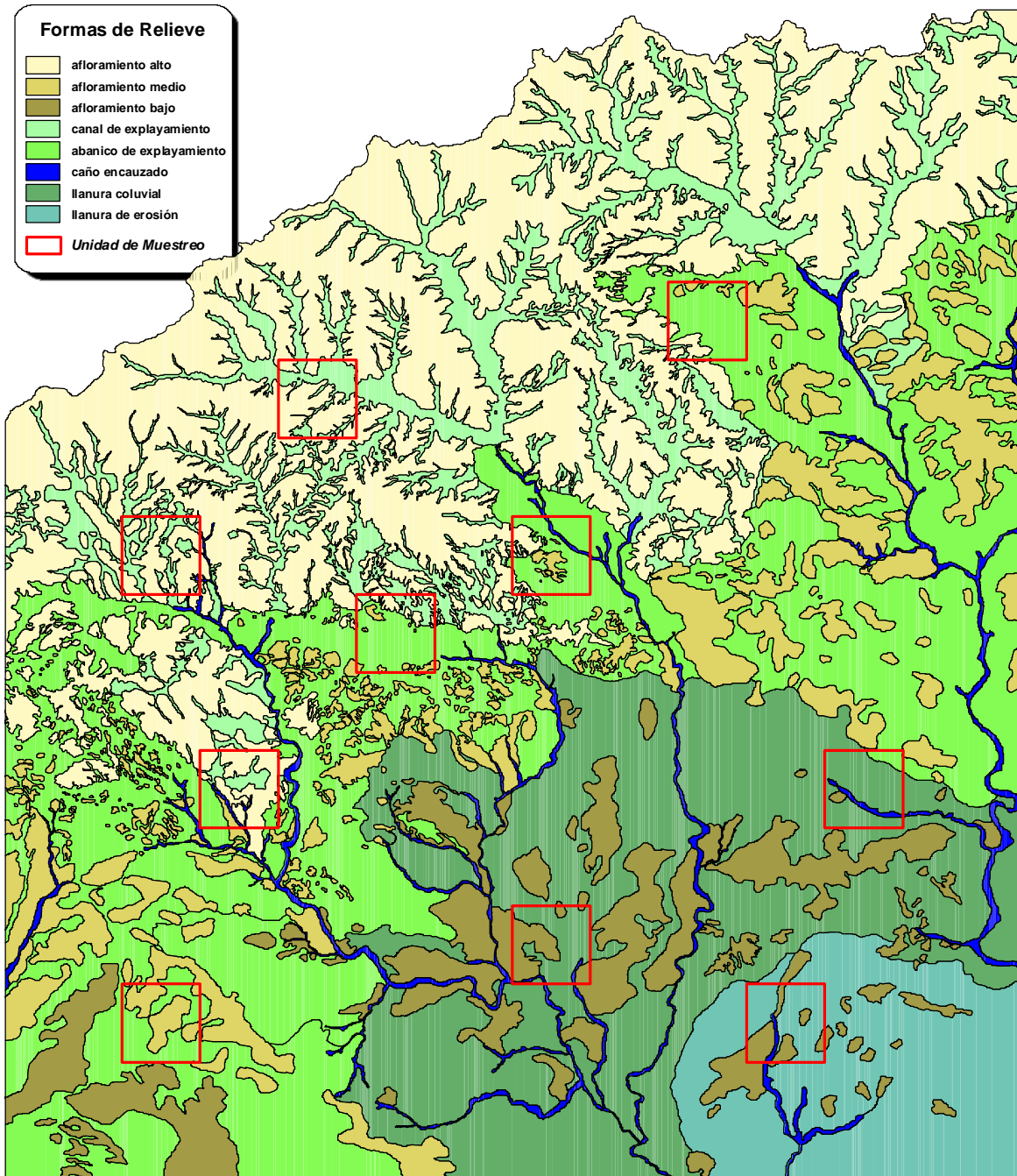


Figura II.8. Distribución espacial de las formas de relieve presentes en el área de estudio.

El segundo bloque, comprendido entre las cotas 190 y 130, ocupa una superficie de 5.700 ha. Está conformado en un 72,6% por la forma de relieve *run-on* LL_{II} y 27,4% por los “*run-off*” A_{II} . Este último en un patrón de distribución que sugiere que se tratan de remanentes de A_I muy desgastados. El tercer y último bloque ocupa el nivel más bajo del gradiente altimétrico: cotas 130-120. Se extiende como una planicie chata de 4.800 ha de LL_{III} y LL_{IV} .

La Figura II.9 muestra el patrón “viruelado” característico de las LL_{IV} y que las distingue de las LL_{III} . Esta planicie chata se encuentra interceptada por A_{III} , forma de relieve de *run-off* extremadamente desgastada sin repercusión sensible en el relieve. Con una altura siempre < 3 m, los A_{III} se detectan en las aerofotografías por diferenciación de vegetación y en el campo por un delgado manto de cantos rodados que los recubre.

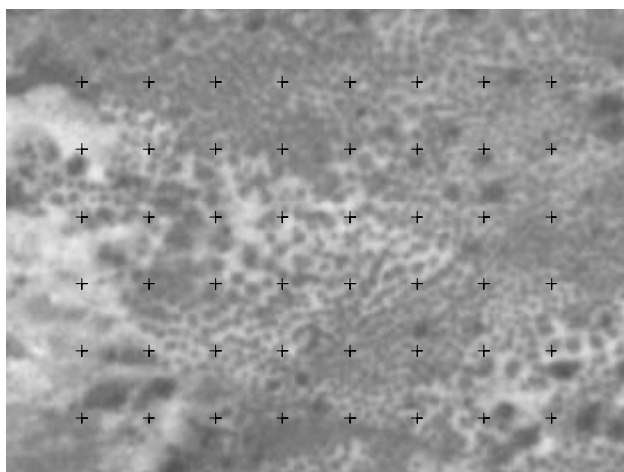


Figura II.9. Patrón “viruelado” que caracteriza las LL_{IV} . Las formas más oscuras representan núcleos leñosos de áreas inferiores a 100 m^2 . En la parte izquierda de la imagen puede apreciarse discontinuidad en el patrón producto de la presencia de A_{III} . Distancia entre marcas, 50 m .

En la Figura II.10 se presentan dos perfiles idealizados de dirección N-S y NO-SE del gradiente altimétrico presente en el área de estudio así como la ubicación relativa de las formas de relieve que caracterizan los bloques antes descritos.

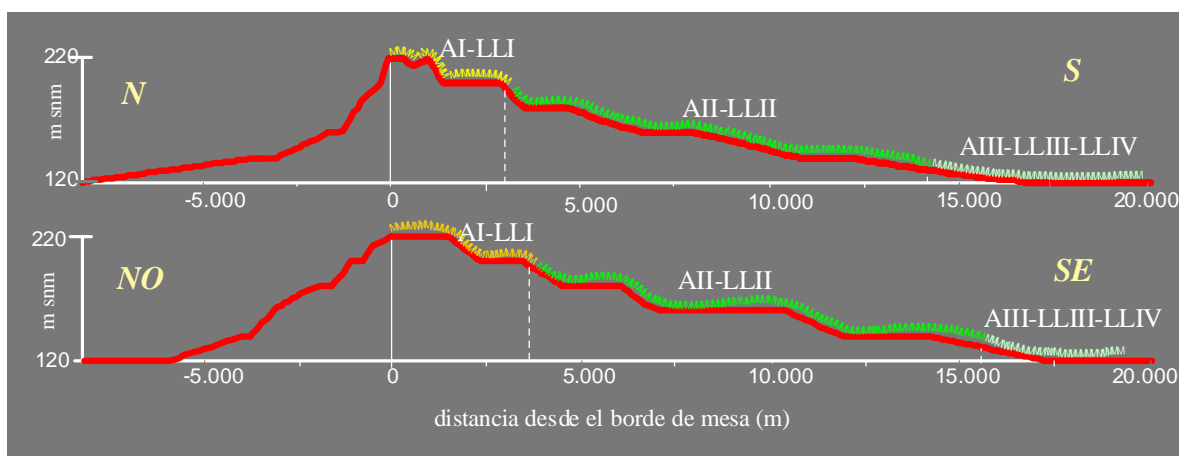


Figura II.10. Perfiles N-S y NO-SE del área de estudio y distribución de las formas de relieve.

Según la Tabla II.3, los A_I ocuparon la mayor superficie (26,8%), seguidos por las LL_{II} con 24,3%; la suma de ambas formas, cubre una extensión de algo menos de 9.000 ha (51,1%). La siguiente *forma de relieve* en extensión es LL_{III} con 15,0%. Disectando los A_I , los LL_I logran cubrir una superficie de 9,8 % del área de estudio; mientras que los A_{II} , rompiendo la homogeneidad de las LL_{II} , se extienden por 1.582 ha (9,2%). Las formas A_{III} y LL_{IV} presentan los valores de cobertura más bajos, con 6,9% y 6,0% respectivamente. La *forma de relieve* $CÑE$ ocupa la menor superficie (apenas 2%); pero esto no es del todo cierto, pues con una longitud de 64,6 km se extiende a través de todas las demás formas a excepción de los A_I en cuyo límite más bajo (al Sur), nacen por lo general estos caños.

Tabla II.3. Resumen de los valores obtenidos de la fotointerpretación de las formas de relieve presentes en el área de estudio.

<i>Forma de Relieve</i>	<i>Siglas</i>	<i>Nº de polígonos</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>% de superficie</i>
<i>afloramiento alto</i>	A_I	224	655.817,5	4.617,3	26,8
<i>afloramiento medio</i>	A_{II}	396	331.451,3	1.581,9	9,2
<i>afloramiento bajo</i>	A_{III}	80	160.083,1	1.186,9	6,9
<i>canal de explayamiento</i>	LL_I	39	546.854,4	1.682,2	9,8
<i>abanico de explayamiento</i>	LL_{II}	25	518.567,8	4.189,6	24,3
<i>llanura coluvial</i>	LL_{III}	10	177.583,9	2.577,9	15,0
<i>llanura de erosión</i>	LL_{IV}	2	43.102,6	1.032,9	6,0
<i>caño encauzado</i>	$CÑE$	5	207.740,1	359,2	2,0
<i>Total</i>				17.227,9	100,0

Con respecto a las *formas de relieve* presentes en las *unidades de muestreo*, la Tabla II.4 resume los valores en porcentaje de superficie que se obtuvieron. Aquí se observa que las **UM 01** y **02** son representativos del primer bloque: A_I-LL_I (ver Figura II.10). Las **UM 03**, **04**, **05** y **06** presentan diferentes situaciones con valores que corresponden en todo caso a la transición entre el primer y el segundo bloque ($A_I-LL_I \rightarrow A_{II}-LL_{II}$). Para el resto de las **UM**, los valores cobertura de las formas señalan que son representativos del segundo bloque exclusivamente (**UM 08**), así como del tercero ($LL_{III}-A_{II}-LL_{IV}$): **UM 07**, **09** y **10**. Al comparar los valores que se expresan en la última columna de las Tablas II.3 y II.4, es decir: % cobertura del área de estudio vs. % cobertura de **UM** global; se obtiene que, además de estar fuertemente correlacionados (*Pearson*, $r=0,9352$), no existe ninguna diferencia significativa entre sus medias (prueba *t*; $P=0,9992$).

Tabla II.4. Cobertura de las diferentes formas de relieve (en %) para cada una de las 10 unidades de muestreo. La última columna representa la cobertura (%) para los 10 km² de extensión de los UM.

	UM 01	UM 02	UM 03	UM 04	UM 05	UM 06	UM 07	UM 08	UM 09	UM 10	UM Global
<i>A_I</i>	62,9	64,5	12,5	13,4	46,6	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3
<i>A_{II}</i>	0,0	0,0	6,9	9,2	7,2	7,1	0,0	40,0	0,0	0,0	7,0
<i>A_{III}</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,0	0,0	2,3	27,5	6,9
<i>LL_I</i>	37,1	34,9	12,2	2,4	21,9	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
<i>LL_{II}</i>	0,0	0,0	68,4	71,9	20,6	77,3	0,0	60,0	7,7	0,0	30,6
<i>LL_{III}</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,1	0,0	84,5	0,0	14,3
<i>LL_{IV}</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	6,9
<i>CÑE</i>	0,0	0,6	0,0	3,1	3,7	0,0	2,9	0,0	5,5	3,1	1,9
											100,0

II.3.2. Cobertura de Leñosas obtenida de la Fotointerpretación

La serie de Figuras de la II.11 a la II.20 muestra representaciones gráficas del resultado de la fotointerpretación para la cobertura de leñosas presentes en las 10 UM's y en cada una de las misiones aerofotográficas: 1938, 1961, 1978 y 1997. De igual forma, se incluye la representación de la heterogeneidad del sustrato o cobertura de las formas de relieve, cuyos resultados se obtuvieron de la sección anterior.

El esfuerzo de la fotointerpretación por cobertura de leñosas resultó en la delineación de un total de 16.380 polígonos. La Tabla II.5 se resumen algunos de los estadísticos para esta población de datos.

Tabla II.5. Estadísticos para los 16.380 polígonos de cobertura de leñosas.

<i>Estadístico</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>
Media	232,7	36,1
Error típico	48,5	1,3
Mediana	35,2	23,9
Moda	16,5	11,6
Desviación estándar	6.203,4	167,0
Varianza de la muestra	38.482.576,8	27.876,8
Curtosis	4.364,5	3.087,5
Coficiente de asimetría	63,4	51,2
Rango	475.020,4	11.375,2
Mínimo	0,9	4,5
Máximo	475.021,3	11.379,7
Suma	3.812.434,7	591.488,2
Cuenta	16.380,0	16.380
Nivel de confianza (95,0%)	95,0	2,6

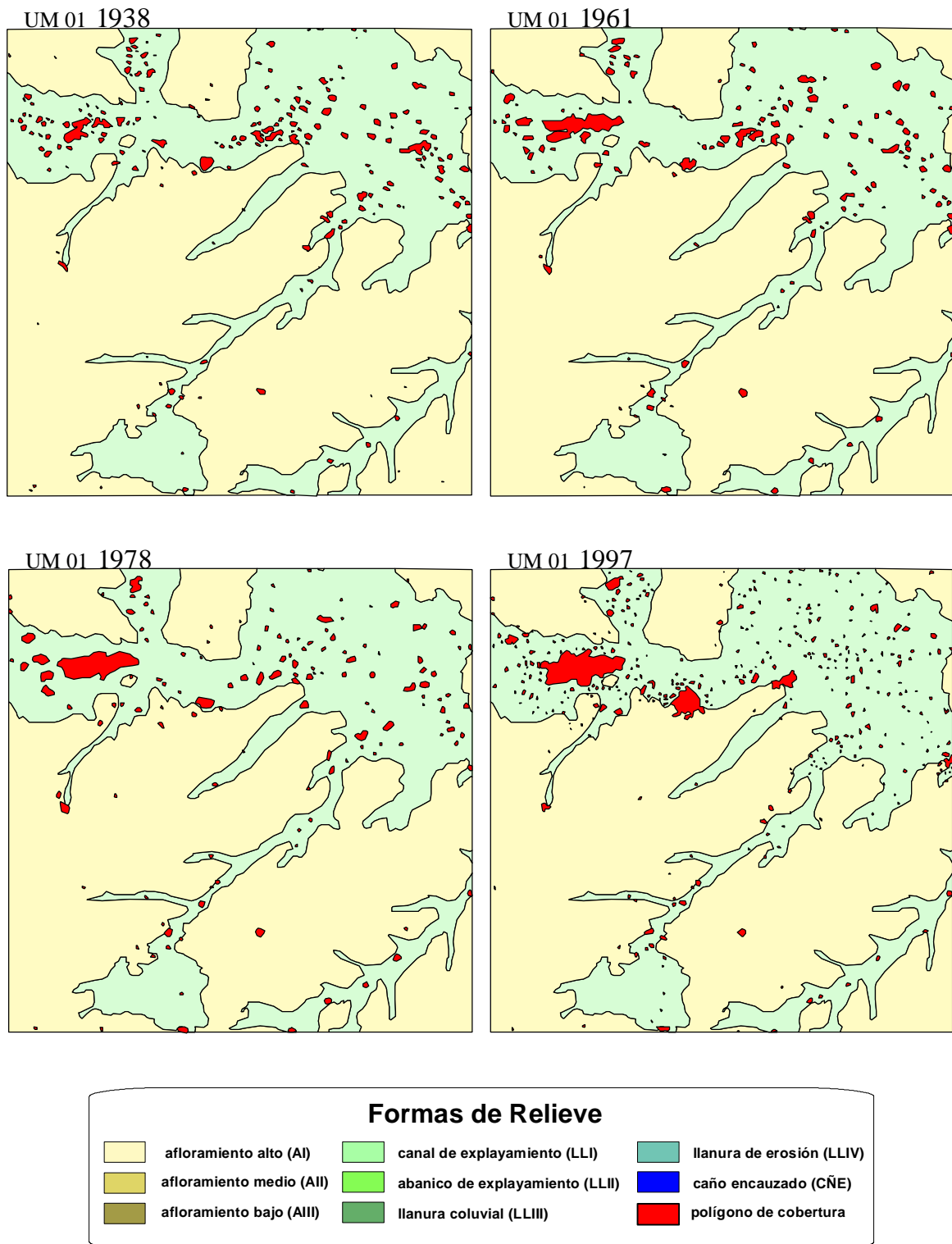


Figura II.11. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de líquenes en la *unidad de muestreo* 01. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve A_I en un 62,9% y LL_I en un 37,1%.

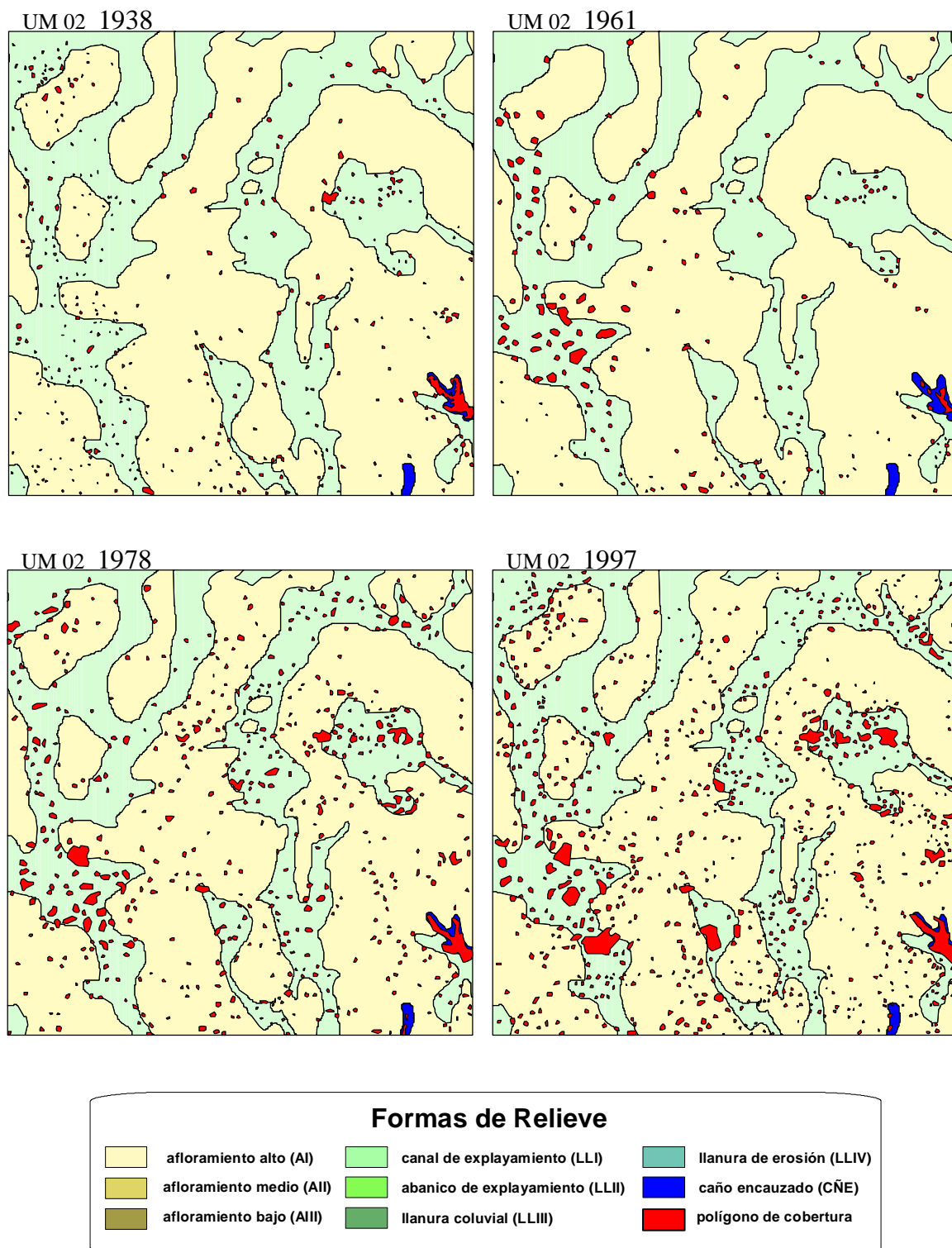


Figura II.12. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo 02*. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve A_I en un 64,5%, LL_I 34,9% y CÑE en un 0,6%.

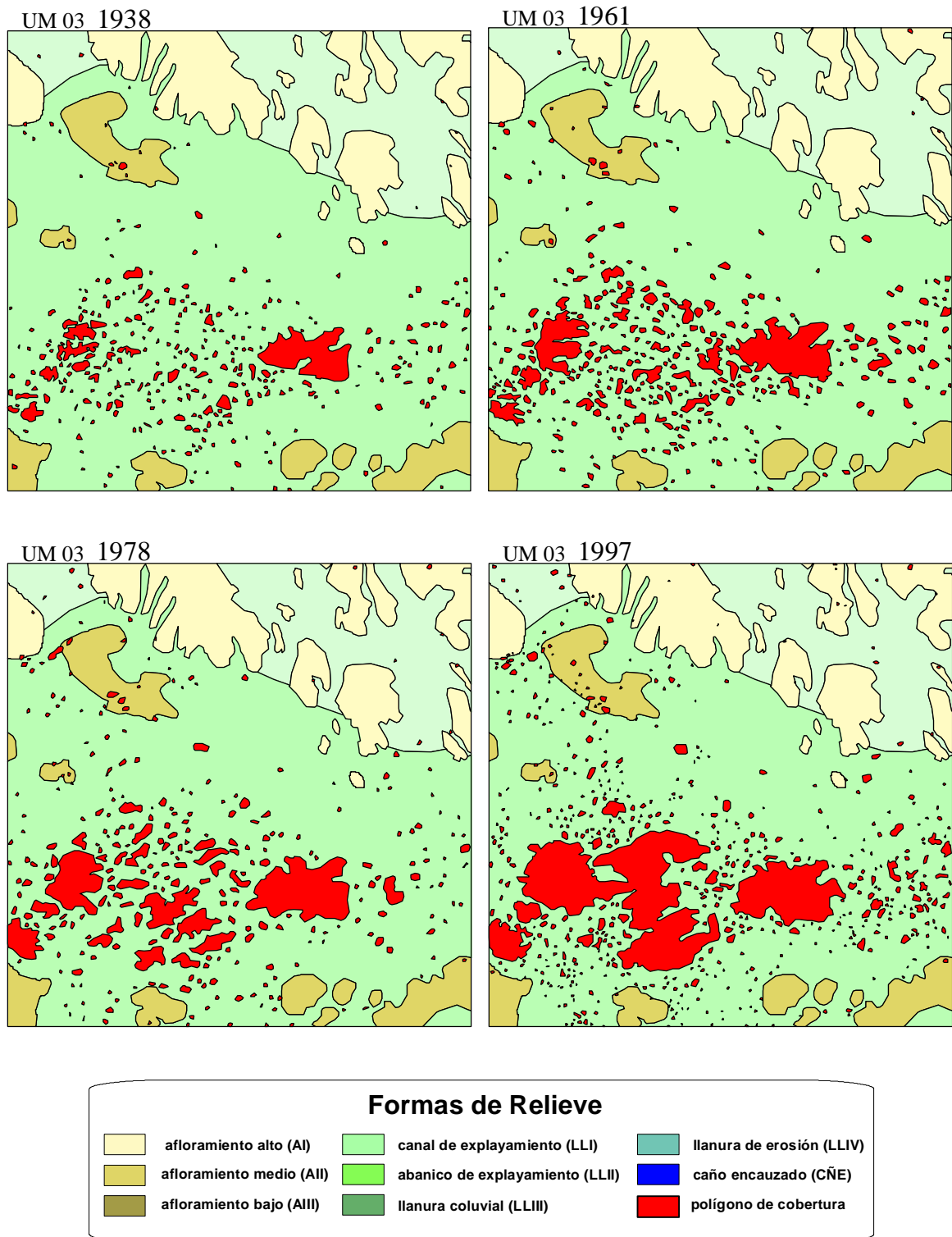


Figura II.13. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 03. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve: A_I, 12,5%, A_{II}, 6,9%, LL_I 12,2% y LL_{II} 68,4%.

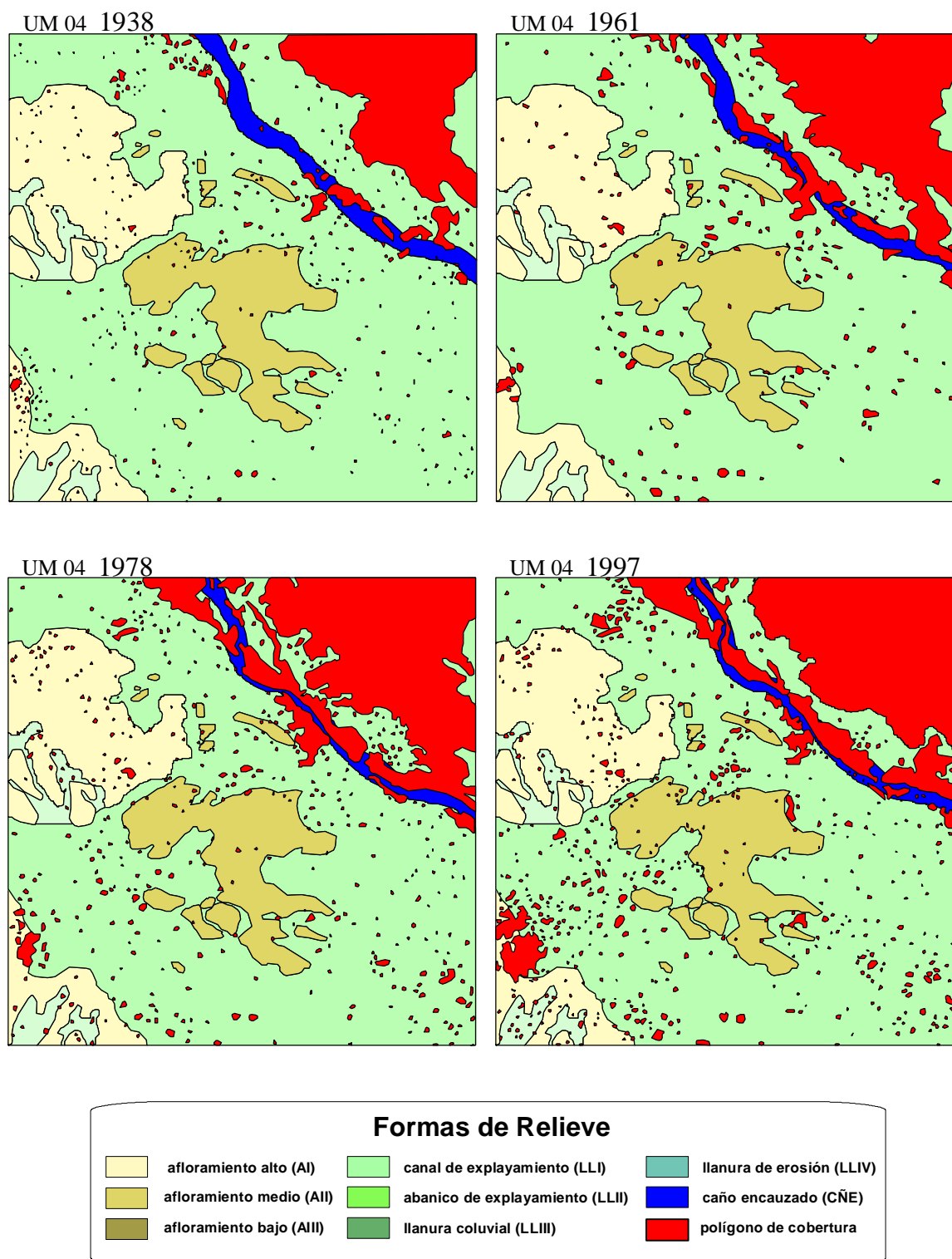


Figura II.14. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 04. El área de esta unidad es de 1 km^2 ($1.000 \text{ m} \times 1.000 \text{ m}$) y está cubierta por las formas de relieve: A_I , 13,4%, A_{II} , 9,2%, LL_I , 2,4%, LL_{II} 71,9% y $CÑE$ 3,1%.

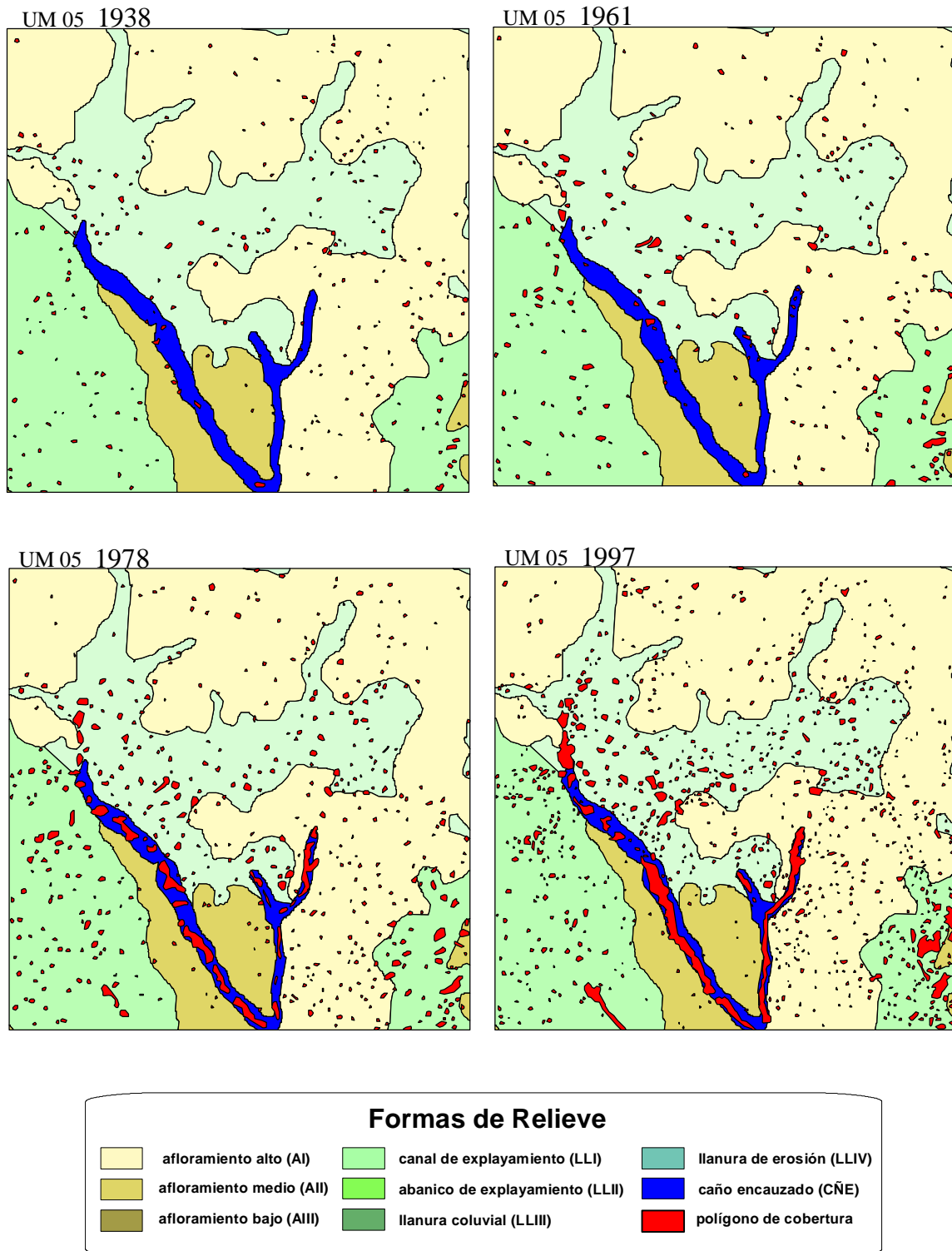


Figura II.15. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 05. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve: A_I, 46,6%, A_{II}, 7,2%, LL_I, 21,9%, LL_{II} 20,6% y CÑE 3,7%.

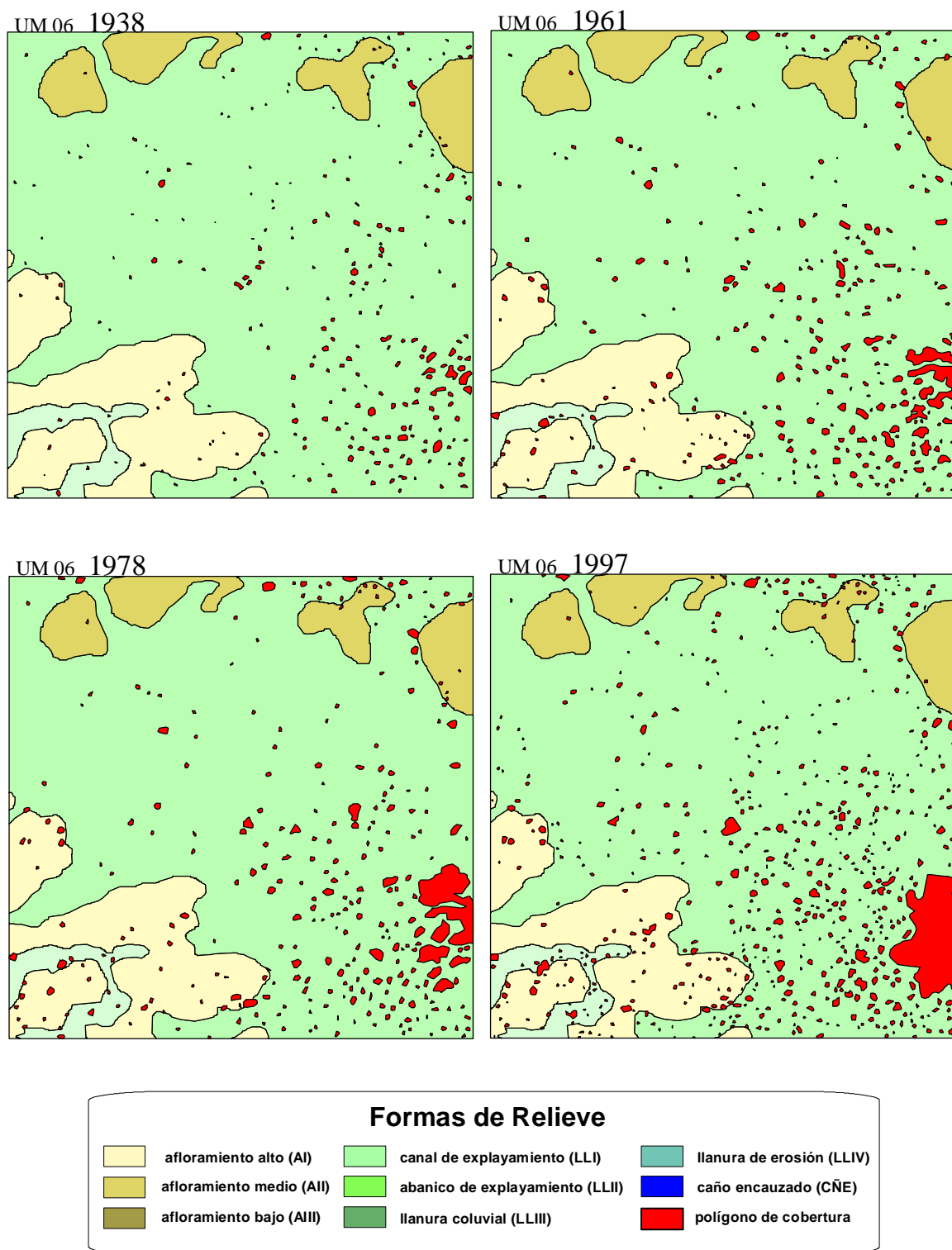


Figura II.16. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 06. El área de esta unidad es de 1 km^2 ($1.000 \text{ m} \times 1.000 \text{ m}$) y está cubierta por las formas de relieve: A_I , 13,2%, A_{II} , 7,1%, LL_I 2,4% y LL_{II} 77,3%.

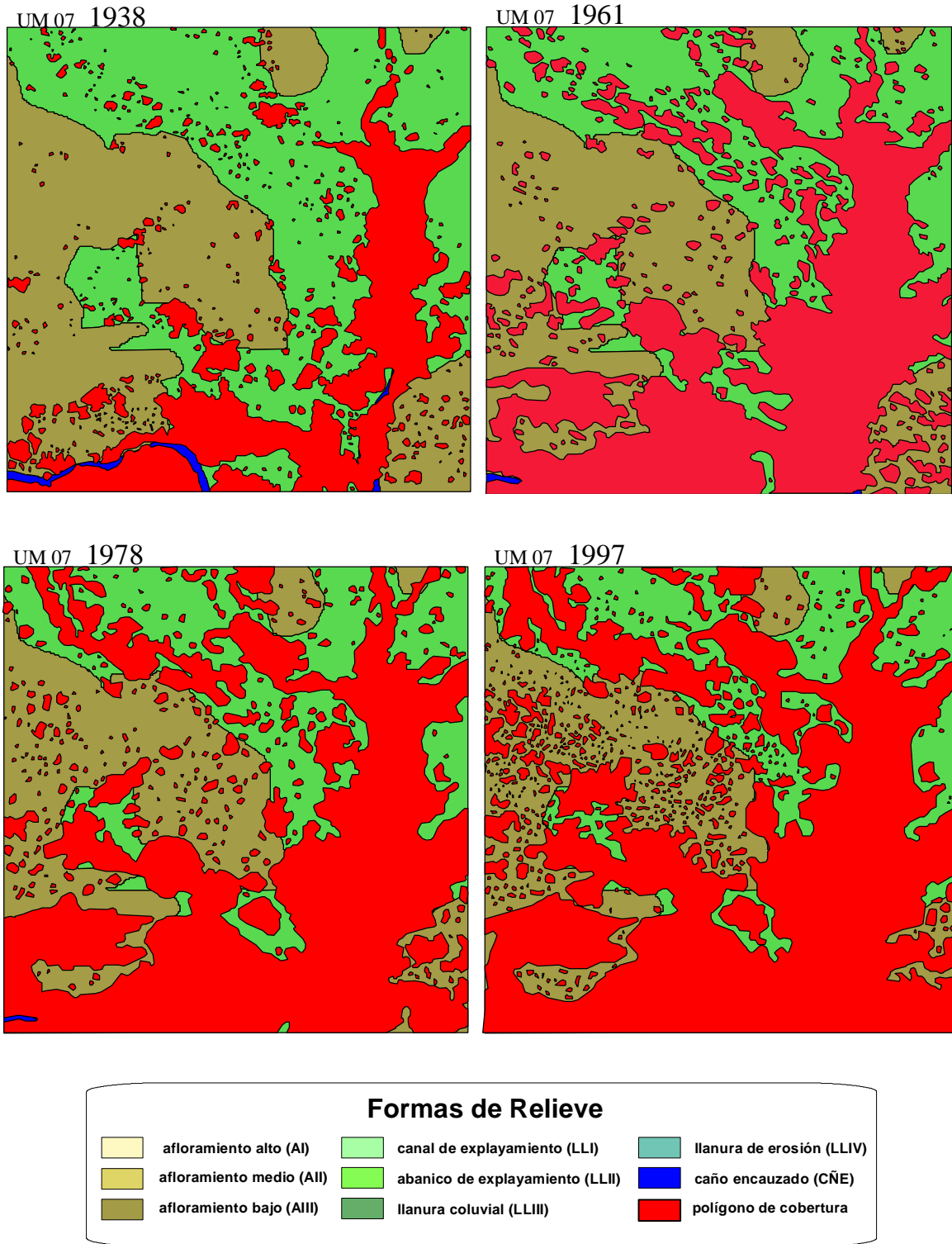


Figura II.17. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 07. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve: A_{III} 39,0%, LL_{III} 58,1% y CÑE 3,7%.

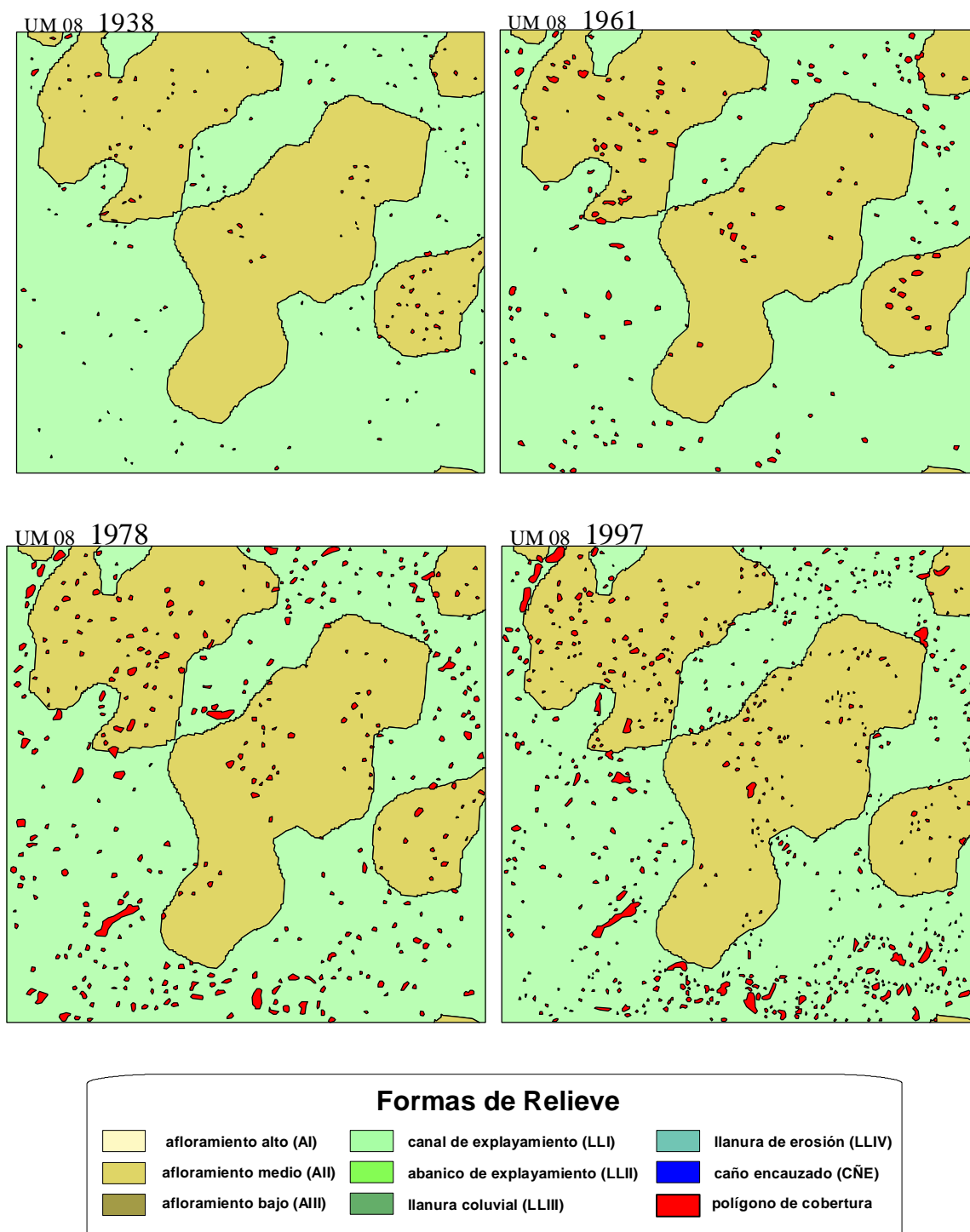


Figura II.18. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 08. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve: A_{II} 40,0% y LL_{II} 20,6%.

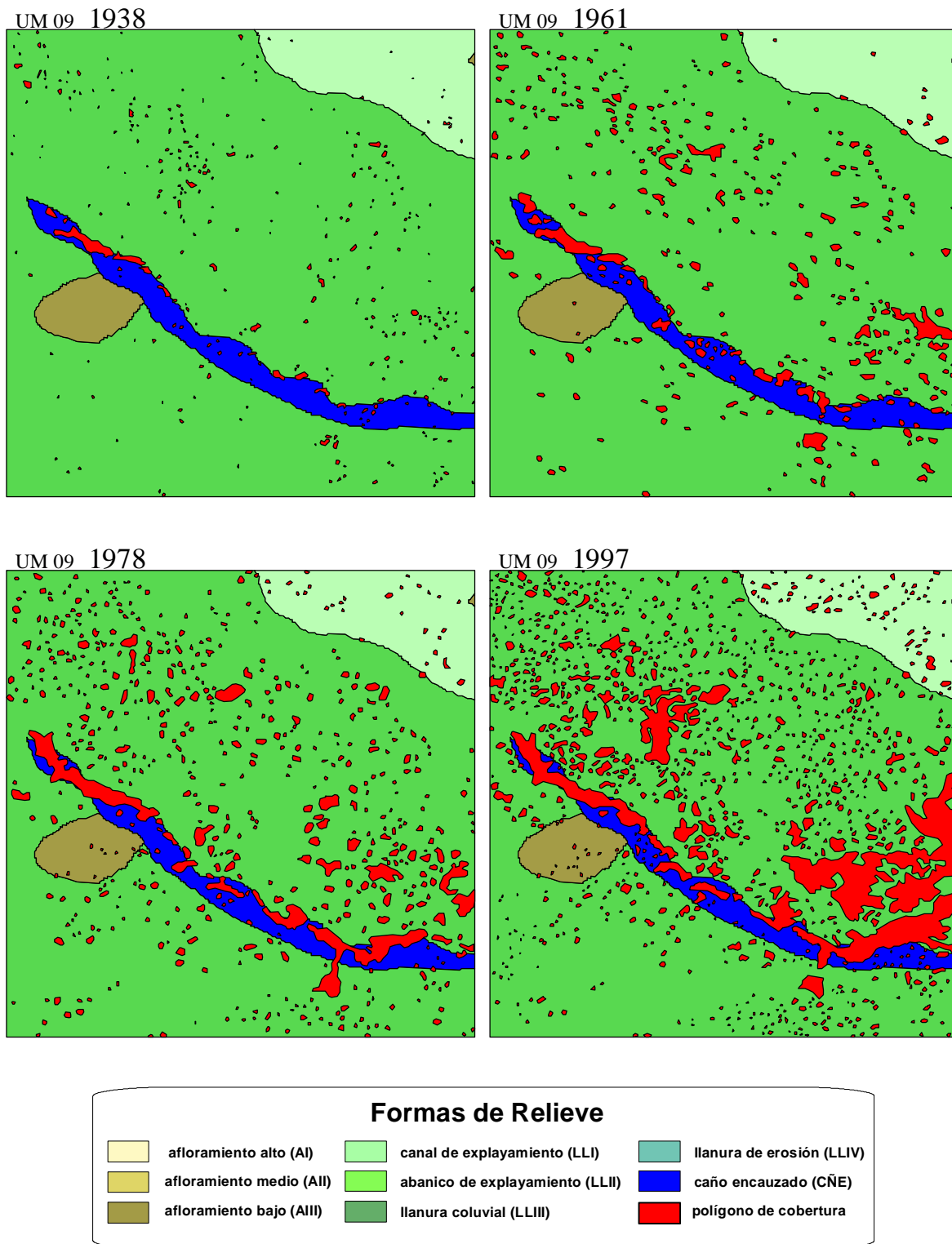


Figura II.19. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 09. El área de esta unidad es de 1 km² (1.000 m x 1.000 m) y está cubierta por las formas de relieve: A_{III} 2,3%, LL_{II} 7,7%, LL_{III} 84,5% y CÑE 5,5%.

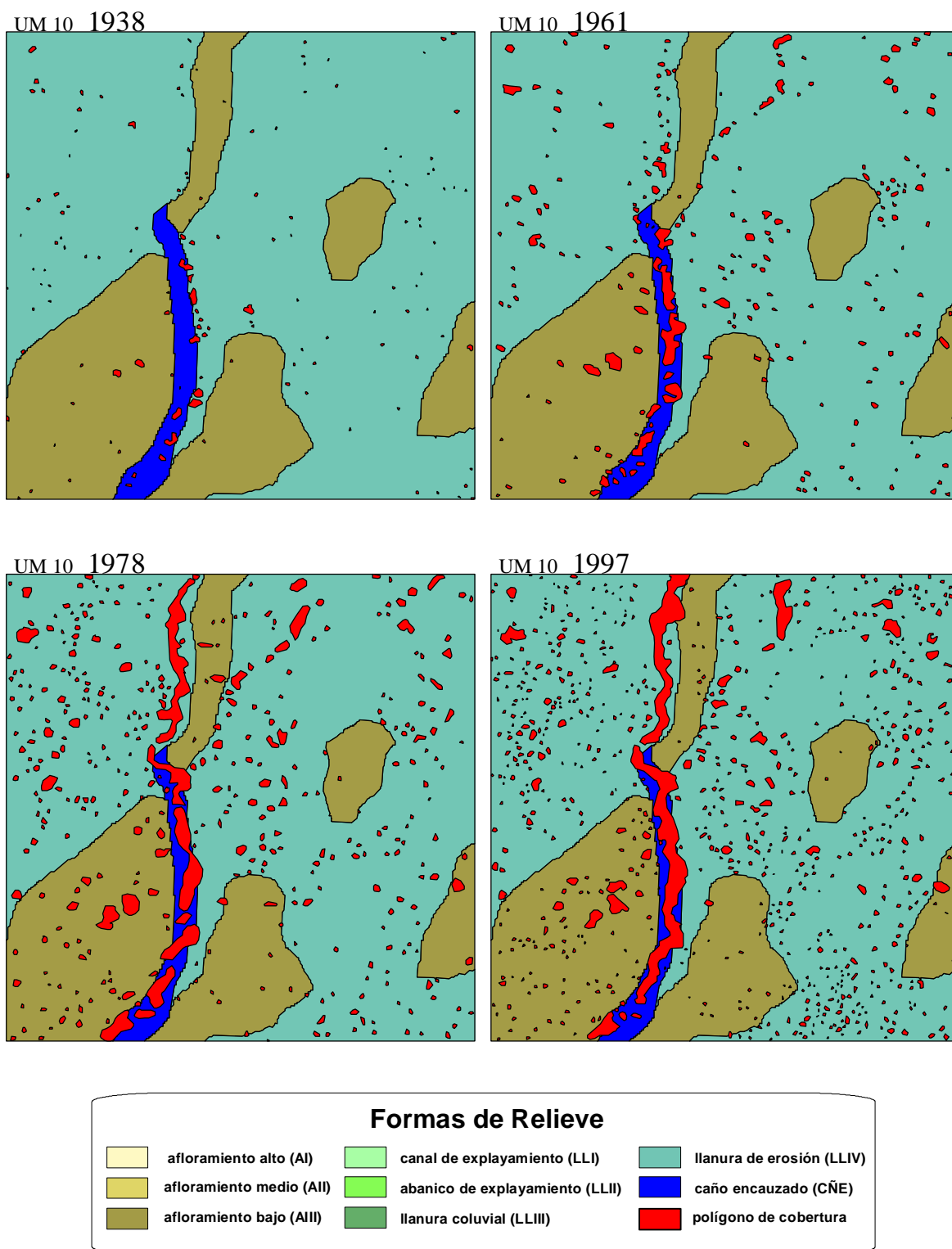


Figura II.20. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en la *unidad de muestreo* 10. El área de esta unidad es de 1 km^2 ($1.000 \text{ m} \times 1.000 \text{ m}$) y está cubierta por las formas de relieve: A_{III} 27,5%, LL_{IV} 69,4% y $CÑE$ 3,1%.

II.3.2.1. Agrupación de los datos en clases de tamaño

Para sobre llevar la variabilidad que genera un rango de 475.020 ha en 16.380 datos, se realizó una primera agrupación de los datos en 29 clases de frecuencia. Luego, y en base a las observaciones cualitativas de campo sobre la diversidad específica y estructural presente en esta amplia gama de tamaños, se decidió por agrupar las clases en cuatro superclases o *fases* (ver Tabla II.6).

Tabla II.6. Clases de frecuencia empleadas en el análisis espacio-temporal de la cobertura de leñosas y descripción de las *Fases*. La descripción corresponde a las observaciones de campo.

Clase de frecuencia (m ²)	Fase	Descripción
<10 m ² 10,0-19,9 20,0-29,9 30,0-39,9 40,0-49,9 50,0-59,9 60,0-69,9 70,0-79,9 80,0-89,9 90,0-99,9	I	En su primeras clases, esta <i>fase</i> parte de polígonos creados por individuos aislados de <i>Curatella americana</i> , <i>Bowdichia virgilioides</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> . Por lo general, sin sotobosque. De existir, está conformado por especies herbáceas marginales. En las clases medias y avanzadas de esta <i>fase</i> , los polígonos son <i>matas</i> pequeñas hasta medianas con dominancia de su núcleo por uno o más individuos de gran porte de las especies siempreverdes antes mencionadas. En la mayoría de los casos se presenta un sotobosque de especies herbáceas marginales y plantitas ¹ de leñosas piroresistentes.
100,0-199,9 200,0-299,9 300,0-399,9 400,0-499,9 500,0-599,9 600,0-699,9 700,0-799,9 800,0-899,9 900,0-999,9	II	Esta <i>fase</i> esta conformada por <i>matas</i> medianas hasta grandes. En las primeras clases la dominancia del núcleo de la <i>mata</i> es compartido por especies siempreverdes y de bosque decídúo (eg. <i>Copaifera officinalis</i>). En las clases de mayor extensión, las especies siempreverdes ceden la dominancia del núcleo a unos pocos individuos decídúos de gran porte. Las especies siempreverdes comienzan a configurarse en un cinturón piroresistente que rodea la <i>mata</i> . La dominancia por especies decídúas permite la acumulación de un colchón de hojarasca en el suelo. El sotobosque es ahora ralo y se observa la presencia de plantitas tanto de las especies dominantes como de otras cuya presencia no es detectada en la matriz de gramíneas.
1.000,0-1.999,9 2.000,0-2.999,9 3.000,0-3.999,9 4.000,0-4.999,9 5.000,0-5.999,9 6.000,0-6.999,9 7.000,0-7.999,9 8.000,0-8.999,9 9.000,0-9.999,9	III	<i>Mata</i> grande a <i>Islote de Bosque</i> . Centro con especies decídúas propias de áreas boscosas, rodeado por un cinturón bien diferenciable de especies piroresistentes. La dominancia del centro es exclusiva de especies propias del bosque, donde se observan individuos en diversos en estados de desarrollo. Si bien la presencia de un cinturón piroresistente es la norma, en los islotes de mayor tamaño, éste puede estar ausente.
>10.000,0	Bosque	Por lo general en configuración de galería, bordeando los cauces de los <i>CÑE</i> . Puede presentar “morichales” de extensión variable. En muchos casos los individuos de <i>Mauritia minor</i> se presentan aislados o en pequeños grupos alternando con las demás especies de la galería.

¹ Aquí, el término de “plantita” no debe confundirse con el de *plántulas*, refiriéndonos al tamaño del individuo y no a su edad.

Las primeras 10 clases, con 13.638 polígonos (desde $<10\text{ m}^2$ - $99,9\text{ m}^2$, rango = $99,0\text{ m}^2$), pertenecen a la primera *fase* (**Fase-I**). Las 9 siguientes clases, con 2.531 polígonos (desde $100,0\text{ m}^2$ - $999,9\text{ m}^2$, rango = $899,0\text{ m}^2$), agrupan a los polígonos cuya *fase* es II (**Fase-II**). La **Fase-III** agrupa a 180 polígonos, divididos en 9 clases (desde $1.000,0\text{ m}^2$ - $9.999,9\text{ m}^2$ y rango = $8.707,2\text{ m}^2$). La última *fase*, **Fase-Bosque**, presenta una sola clase pero incluye todos aquellos polígonos ($n = 31$) con un área superior a 10.000 m^2 (rango = $464.790,9\text{ m}^2$). Las Figuras II.21 a la II.25 ilustran sobre las diferentes situaciones.



Figura II.21. Fotografía de dos individuos de *Curatella americana*. Con una cobertura entre $20,0$ - $29,9\text{ m}^2$, son interpretados en las aerofotografías como polígonos de leñosas de *Fase-I*.



Figura II.22. Fotografía de una *mata* con dominancia de *Curatella americana*. Con una cobertura entre $100,0$ - $199,9\text{ m}^2$, es interpretada como polígono de leñosas de *Fase-II*.



Figura II.23. Fotografía de una *mata* con dominancia de *Copaifera officinalis*. Presenta cinturón piroresistente y una cobertura de 1.570 m², ubicándolo en la *Fase-III*.



Figura II.24. Fotografía de un *islot de bosque* con dominancia de especies decíduas. Presenta cinturón piroresistente y una cobertura de 8.354 m², ubicándolo en las últimas clases de la *Fase-III*.

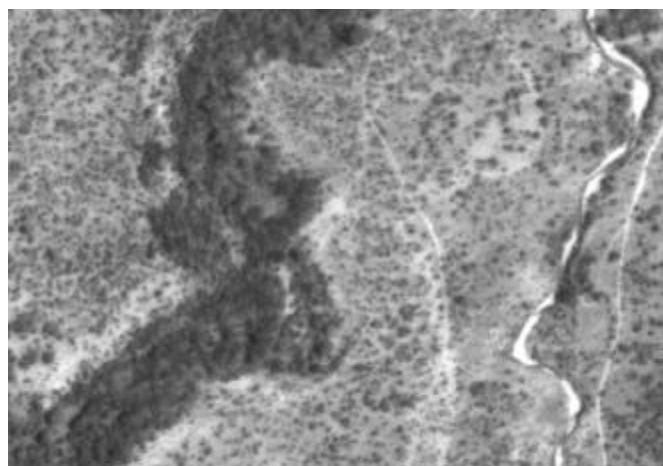


Figura II.25. Aerofotografía de *Bosque* en configuración de galería (franja obscura). Lo rodean polígonos de leñosas en *Fases I y II*, principalmente la *I*. A la derecha de la imagen, cauce de la Qda. Platanal con una galería incipiente en *Fases II y III*.

II.3.3. Análisis de la Cobertura de Leñosas

II.3.3.1. Análisis de la dinámica de polígonos a partir de la población total de datos

La Tabla II.7 presenta los resultados de la clasificación de los 16.380 polígonos discriminados por pertenencia a una misión aerofotográfica (1938, 1961, 1978 y 1997). Aquí se resumen los valores para cada una de las tres variables geométricas poligonales: *número*, *área* y *perímetro*.

Tabla II.7. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases, por año y total, para el número, área (m²) y perímetro (m) de los 16.380 polígonos de leñosas.

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos					Área de Polígonos					Perímetro de Polígonos				
	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
<10 m2	504	45	30	722	1.301	3.430,1	348,4	259,8	5.253,0	9.291,1	5.772,9	559,2	397,8	8.462,9	15.192,8
10,0-19,9	757	196	359	1.794	3.106	10.978,9	3.020,3	5.765,9	26.351,7	46.116,8	11.965,6	3.255,2	6.072,3	28.298,0	49.591,0
20,0-29,9	466	311	654	1.219	2.650	11.411,9	7.760,7	16.282,7	29.851,4	65.306,8	9.407,3	6.364,2	13.334,0	24.432,2	53.537,7
30,0-39,9	340	316	529	779	1.964	11.795,8	10.981,8	18.393,5	26.849,0	68.020,1	8.071,9	7.558,2	12.559,0	18.386,9	46.576,0
40,0-49,9	206	257	431	527	1.421	9.149,0	11.541,7	19.230,4	23.494,5	63.415,7	5.544,1	6.954,5	11.495,2	14.127,6	38.121,4
50,0-59,9	137	226	306	394	1.063	7.512,1	12.348,0	16.765,8	21.490,0	58.115,9	4.145,5	6.683,8	9.001,8	11.716,4	31.547,5
60,0-69,9	88	144	230	257	719	5.697,7	9.318,2	14.874,2	16.614,7	46.504,8	2.847,6	4.664,6	7.311,3	8.220,4	23.043,9
70,0-79,9	82	132	168	177	559	6.113,9	9.925,7	12.519,4	13.258,1	41.817,1	2.881,1	4.595,4	5.802,9	6.164,9	19.444,3
80,0-89,9	59	114	148	168	489	4.999,0	9.668,6	12.520,5	14.191,2	41.379,3	2.229,6	4.128,9	5.418,7	6.224,4	18.001,7
90,0-99,9	48	107	95	116	366	4.585,3	10.144,8	8.965,6	11.002,4	34.698,1	1.903,4	4.157,8	3.668,4	4.615,7	14.345,3
100,0-199,9	170	441	489	441	1.541	23.168,4	61.318,1	67.316,8	60.424,1	212.227,4	8.116,7	20.848,7	22.937,4	20.977,6	72.880,5
200,0-299,9	74	125	158	136	493	17.807,9	29.850,2	37.730,6	32.369,8	117.758,5	4.931,9	7.982,3	9.960,9	9.027,1	31.902,1
300,0-399,9	18	42	58	75	193	6.179,3	14.446,1	20.174,0	25.936,5	66.735,9	1.526,3	3.482,7	4.616,5	6.196,2	15.821,7
400,0-499,9	14	30	31	28	103	6.075,0	13.364,6	13.804,7	12.564,5	45.808,8	1.411,8	2.945,2	2.781,1	2.852,3	9.990,4
500,0-599,9	10	21	16	20	67	5.525,0	11.574,0	8.814,5	10.621,8	36.535,3	1.182,2	2.304,4	1.665,2	2.086,0	7.237,8
600,0-699,9	5	14	16	17	52	3.206,6	9.307,7	10.266,2	11.035,5	33.816,0	528,7	1.726,2	1.778,8	2.038,1	6.071,9
700,0-799,9	4	10	11	10	35	2.911,8	7.520,4	8.257,8	7.560,8	26.250,9	531,5	1.320,4	1.368,0	1.270,3	4.490,3
800,0-899,9	1	10	5	3	19	827,4	8.366,8	4.197,5	2.467,8	15.859,6	151,9	1.492,5	777,0	408,5	2.829,9
900,0-999,9	3	10	8	7	28	2.802,6	9.623,3	7.726,0	6.606,1	26.758,0	513,1	1.517,0	1.186,6	1.057,4	4.274,1
1000,0-1999,9	15	20	31	41	107	22.312,6	27.479,6	43.384,1	57.726,0	150.902,2	3.018,3	4.024,1	6.001,4	7.783,2	20.827,0
2000,0-2999,9	7	10	8	6	31	17.347,8	25.290,4	19.139,7	15.882,4	77.660,4	2.225,9	3.040,9	2.015,4	1.821,2	9.103,4
3000,0-3999,9	1	4	3	4	12	3.156,4	13.983,7	9.532,4	13.600,7	40.273,3	321,6	1.548,5	1.198,4	1.485,5	4.554,0
4000,0-4999,9	1	0	4	0	5	4.646,5	0,0	17.532,7	0,0	22.179,3	398,0	0,0	1.221,8	0,0	1.619,8
5000,0-5999,9	1	1	2	3	7	5.342,9	5.178,6	11.509,8	16.590,3	38.621,6	407,9	543,2	1.035,4	1.798,2	3.784,7
6000,0-6999,9	1	1	4	3	9	6.105,0	6.658,2	25.981,6	18.775,6	57.520,5	483,0	834,3	2.009,0	1.621,3	4.947,7
7000,0-7999,9	0	0	0	1	1	0,0	0,0	0,0	7.445,0	7.445,0	0,0	0,0	0,0	891,4	891,4
8000,0-8999,9	0	1	1	2	4	0,0	8.987,6	8.282,7	16.917,7	34.187,9	0,0	742,9	936,7	1.489,7	3.169,3
9000,0-9999,9	0	1	2	1	4	0,0	9.191,8	19.349,4	9.321,7	37.862,9	0,0	852,0	1.810,7	642,7	3.305,5
>10000,0 m2	4	4	8	15	31	287.869,9	510.192,4	673.494,7	817.808,8	2.289.365,8	9.536,3	14.981,9	20.121,7	29.745,6	74.385,4
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	16.380	490.958,7	857.391,8	1.132.073,1	1.332.011,0	3.812.434,7	90.054,1	119.108,8	158.483,4	223.841,9	591.488,2

Fases	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
Fase-I	2.687	1.848	2.950	6.153	13.638	75.673,6	85.058,2	125.577,9	188.355,9	474.665,7	54.768,9	48.921,6	75.061,5	130.649,4	309.401,4
Fase-II	299	703	792	737	2.531	68.503,9	165.371,3	178.288,1	169.586,9	581.750,2	18.894,1	43.619,5	47.071,4	45.913,6	155.498,6
Fase-III	26	38	55	61	180	58.911,3	96.770,0	154.712,4	156.259,4	466.653,0	6.854,8	11.585,8	16.228,9	17.533,2	52.202,7
Bosque	4	4	8	15	31	287.869,9	510.192,4	673.494,7	817.808,8	2.289.365,8	9.536,3	14.981,9	20.121,7	29.745,6	74.385,4
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	16.380	490.958,7	857.391,8	1.132.073,1	1.332.011,0	3.812.434,7	90.054,1	119.108,8	158.483,4	223.841,9	591.488,2

En la Figura II.26 (A) se puede apreciar que el número de polígonos es directamente proporcional al perímetro pero no al área de cobertura. Se tiene, por ejemplo, que aún cuando el 83,3% de los polígonos de leñosas pertenecen a la *Fase-I*, y de estos más del 55% en clases

inferiores a los 40 m², sólo representan el 12,5% del área total de cobertura (Figura II.26 (B)). Esta situación logra comprometer más del 50% del perímetro global. Con respecto a la **Fase-II**, la relación número/área se aproxima a 1:1. A partir de esta fase, sólo el 1,3% de los polígonos pertenecen a clases superiores a los 1.000 m², logrando extenderse en grandes bloques boscosos afectando más de 270 ha del área de estudio y 72,3% del total del área cubierta por leñosas.

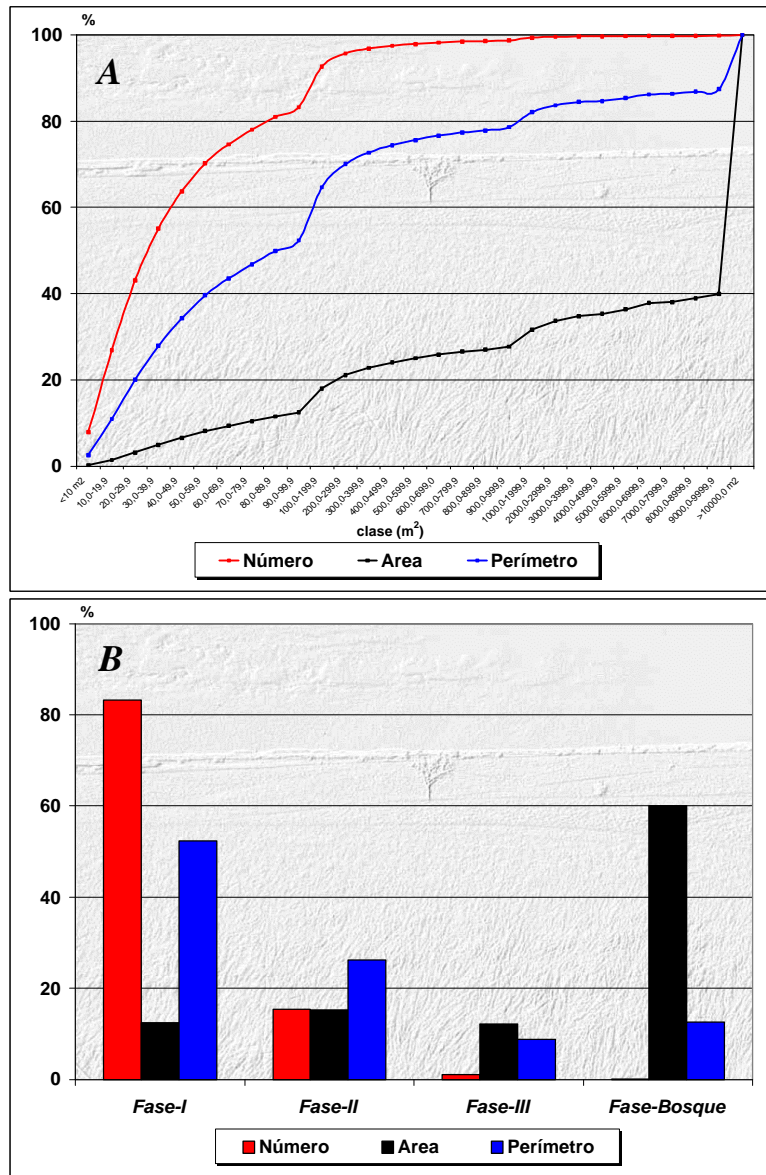


Figura II.26. Curvas de saturación (A) y distribución de frecuencias (B) para número, área y perímetro a partir de los 16.380 polígonos delineados en la fotointerpretación de las 10 UM's. Datos estimados de la Tabla II.7.

En la Figura II.27 se representa la distribución de las 29 clases de frecuencia desglosada según la pertenencia a cada una de las cuatro *fases* establecidas. Con una frecuencia de 19,0%, los polígonos de la clase de tamaño 10,0-19,9 m², son los más abundantes. Como se apuntó en la Tabla II.6, estos corresponden a individuos aislados de las especies siempreverdes *Curatella americana*, *Bowdichia virgilioides* y *Byrsonima crassifolia*. Las siguientes dos clases más frecuentes de polígonos, con 16,2 y 12,0% cada una, también pertenecen a la **Fase-I**. Se trata de las clases superiores inmediatas: 20,0-29,9 y 30,0-39,9 m². Con respecto a las clases de tamaño comprendidas en la **Fase-II**, con 9,4%, es apenas algo superior a la cuarta clase más frecuente de la **Fase-I**. La misma situación se presenta para la **Fase-III** donde su clase más frecuente (1.000-1.999,9 m² 0,6%) coincide con la frecuencia de la cuarta clase de tamaño de la **Fase-II** (400,0-499,9 m²). La **Fase-Bosque**, a pesar de presentar un intervalo abierto en su rango (>10.000 m²), presenta una frecuencia de sólo 0,2%.

La dinámica temporal del número de polígonos (Figura II.28.A) es significativamente diferente para las cuatro series ($P=0,0034$), estableciéndose las mayores diferencias entre las series 1938-1997 ($P<0,05$) y 1961-1997 ($P<0,01$). Con respecto al área de los polígonos (Figura II.28.B) su dinámica resulta en una diferencia significativa entre las series 1938-1997 ($P<0,05$); resultando a su vez en una variación significativa en el perímetro entre las series 1938-1978 ($P<0,05$), 1938-1997 ($P<0,001$), 1961-1997 ($P<0,001$) y 1978-1997 ($P<0,05$) (Figura II.28.C).

Al tomar en cuenta la dinámica temporal de las cuatro *fases* (Figura II.29) se observa significación en las diferencias de las medias de **Fase-I** ($P=0,0026$); en especial entre las series 1938-1997 ($P<0,05$), 1961-1997 ($P<0,01$) y 1978-1997 ($P<0,05$). El incremento en el número de polígonos (de 2.687 a 6.153) en los 59 años de las refleja una tendencia lineal significativa ($P<0,0001$).

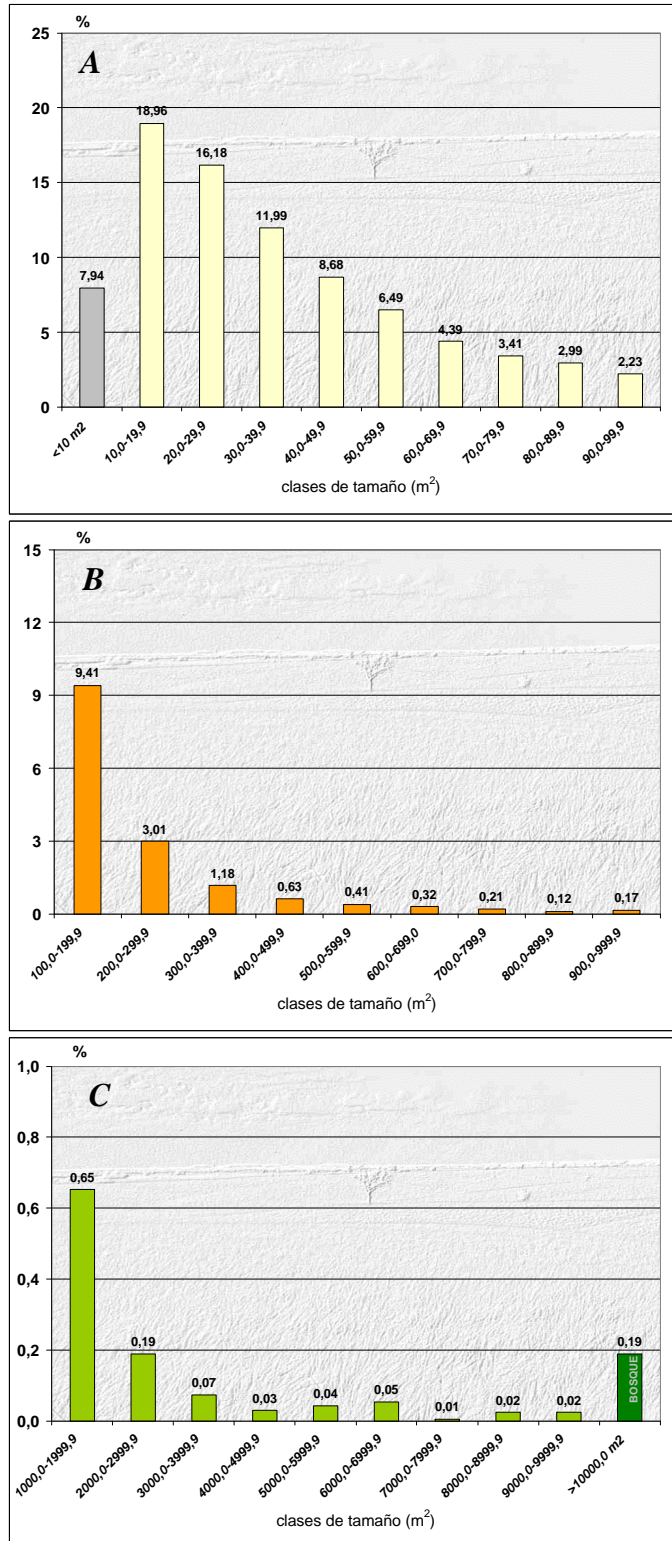


Figura II.27. Distribución de las 29 clases de frecuencias de tamaño dentro de las fases: I (A), II (B), III y Bosque (C). Datos tomados de la Tabla II.7.

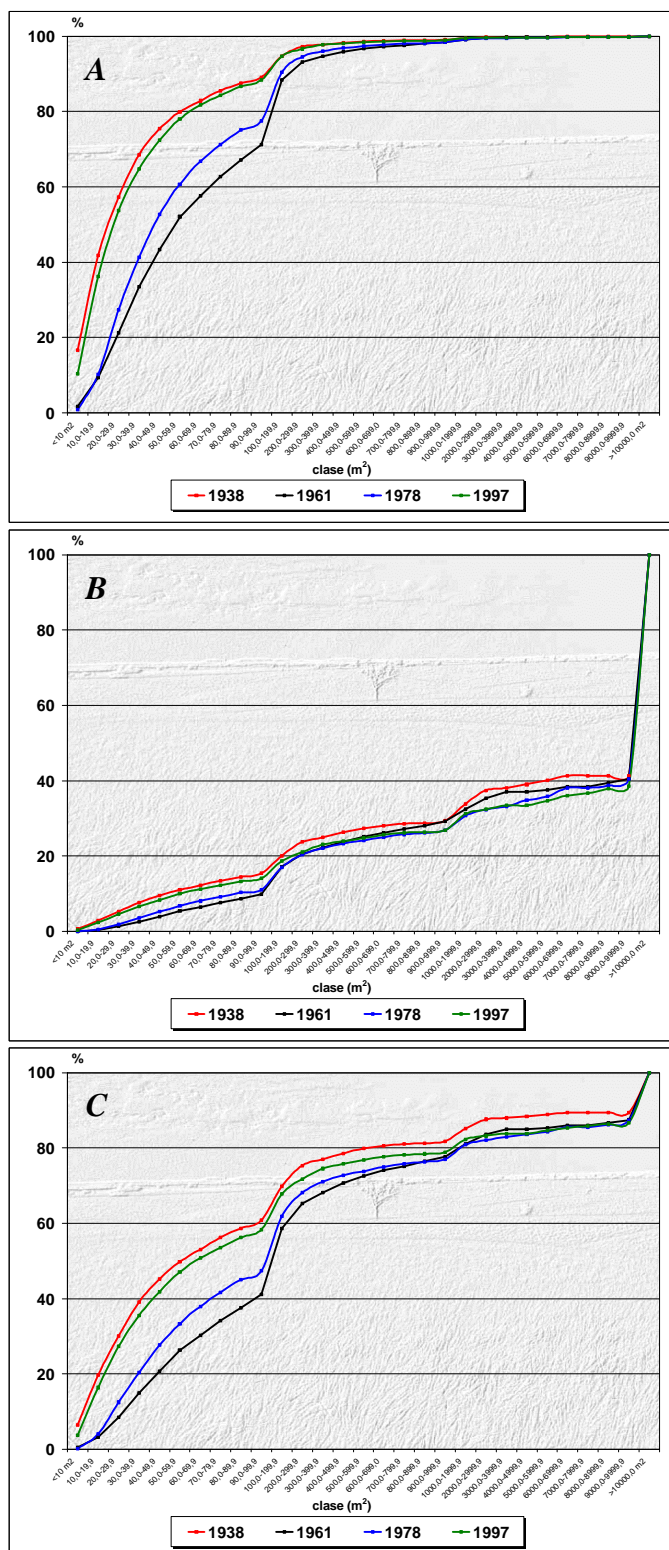


Figura II.28. Curvas de saturación para el número (A), área (B) y perímetro (C) de polígonos para los cuatro años de interpretación. Datos tomados de la Tabla II.7.

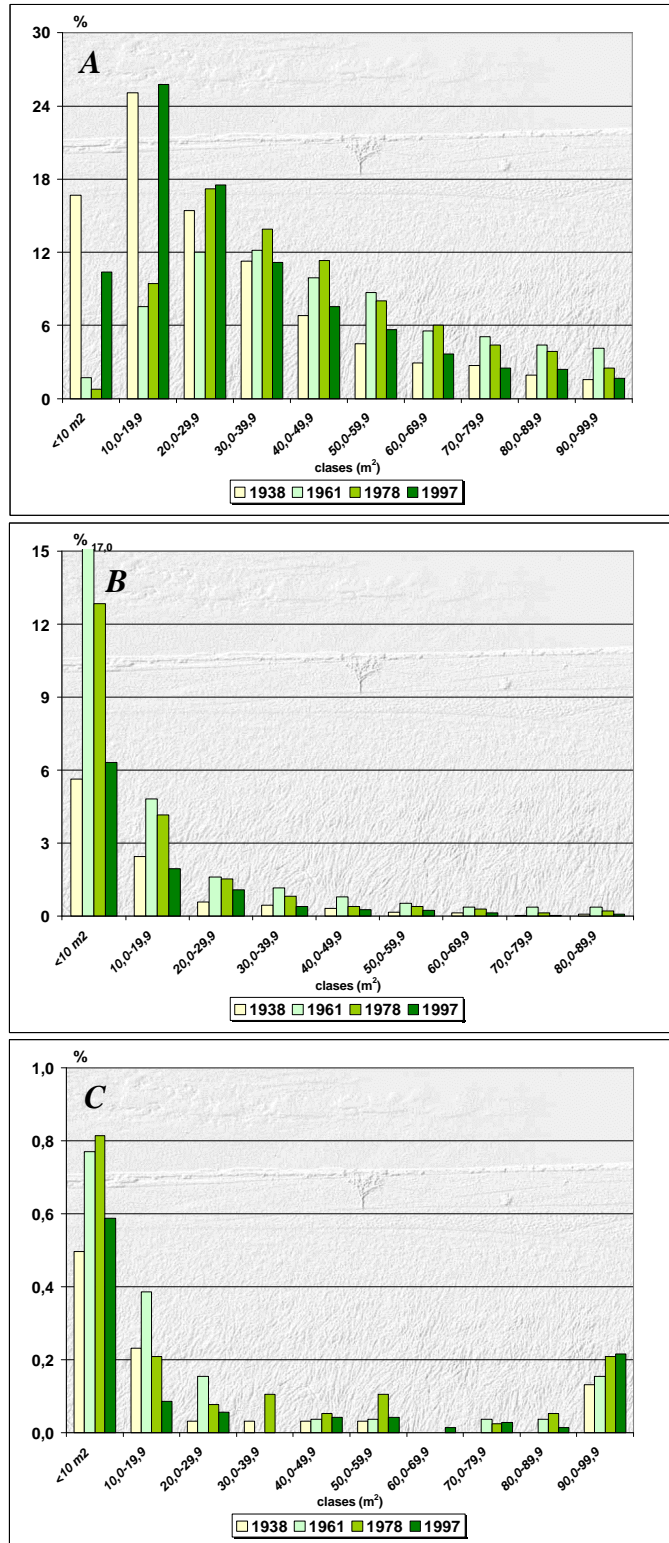


Figura II.29. Dinámica temporal de la frecuencia de clases dentro de las distintas fases: Fase-I (A), Fase-II (B), y Fase-III y Fase-Bosque (C).

Con respecto a la dinámica temporal del área de los polígonos, (gráfica B de la Figura II.28) encontramos una diferencia significativa ($P=0,0115$) entre las medias de las cuatro series. Esta diferencia es más significativa entre las series *1938-1978* ($P<0,05$) y *1938-1997* ($P<0,05$). El incremento que se observa en los valores de área entre *1938* (490.959 m^2) y *1997* ($1.332.011 \text{ m}^2$) responde a una tendencia lineal significativa ($P<0,0001$). Para cada una de las tres primeras *fases* (***Fase-I***, ***Fase-II*** y ***Fase-III***) la diferencia de las medias es significativa: $P=0,0031$; $P=0,001$ y $P=0,0054$, respectivamente. En el caso de la ***Fase-I***, las diferencias entre *1938-1997* y *1961-1997* tienen una significación de $P<0,01$. Pero es la ***Fase-II*** la que presenta la mayor dinámica temporal en las medias de su área. Se tiene por ejemplo que la variación observada entre los valores para *1938-1961*, *1938-1978* y *1938-1997* es significativa para una $P<0,001$. Por otro lado, la ***Fase-Bosque*** presenta valores que no varían significativamente en el tiempo.

La dinámica del perímetro de los polígonos para los 59 años del estudio es muy elevada, observándose un incremento significativo para ***Fase-I*** y ***Fase-II*** ($P=0,0036$ y $P<0,0001$, respectivamente). Sin embargo, esto no se cumple para las otras dos fases, donde los incrementos que se observan no presentan diferencias significativas ($P>0,05$).

La Tabla II.8 y la Figura II.30 muestran cuales han sido las tendencias del *incremento relativo anual (IRA)* del área de cobertura de leñosas, número de polígonos y el perímetro, para la serie de 59 años, comprendida entre *1938* y *1997*. El área ha experimentado un incremento desde 490.959 m^2 en *1938* a $1.332.011 \text{ m}^2$ en *1997*. El **IRA** promedio es de $2,90\%$, pero con fluctuaciones importantes ya que entre *1938-1961* es de $3,25\%$, para *1961-1978* de $1,88\%$ y para *1978-1997* de $0,93\%$. El número de polígonos también incrementó desde 3.016 en *1938* a 6.966 en *1997*, para un promedio de **IRA** de $2,22\%$, pero aún con mayores fluctuaciones que el área. Entre *1938-1961* decreció (**IRA**= $-0,61\%$) para incrementarse luego en las dos siguientes series: *1961-1978* y *1978-1997* (**IRA**= $2,75\%$ y $4,37\%$, respectivamente).

Producto de esta dinámica temporal del área y del número de polígonos, el **IRA** por serie del perímetro también es variable. Para *1938-1961* su valor es de $1,40\%$, asciende a $1,94\%$ entre *1961-1978* y cierra la última serie, *1978-1997*, con $2,17\%$. El **IRA** medio del perímetro para los 59 años es de $2,52\%$.

Tabla II.8. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la totalidad de los polígonos de cobertura y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	TODOS los Polígonos				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	2.687	1.848	2.950	6.153	**	-1,36	3,51	5,71	2,19
	Fase-II	299	703	792	737	ns	5,87	0,74	-0,37	2,48
	Fase-III	26	38	55	61	ns	2,01	2,63	0,57	2,28
	Bosque	4	4	8	15	ns	0,00	5,88	4,61	4,66
	Total	3.016	2.593	3.805	6.966	**	-0,61	2,75	4,37	2,22
Área (m ²)	Fase-I	75.673,6	85.058,2	125.577,9	188.355,9	***	0,54	2,80	2,63	2,52
	Fase-II	68.503,9	165.371,3	178.288,1	169.586,9	**	6,15	0,46	-0,26	2,50
	Fase-III	58.911,3	96.770,0	154.712,4	156.259,4	**	2,79	3,52	0,05	2,80
	Bosque	287.869,9	510.192,4	673.494,7	817.808,8	ns	3,36	1,88	1,13	3,12
	Total	490.958,7	857.391,8	1.132.073,1	1.332.011,0	***	3,25	1,88	0,93	2,90
Perímetro (m)	Fase-I	54.768,9	48.921,6	75.061,5	130.649,4	***	-0,46	3,14	3,90	2,35
	Fase-II	18.894,1	43.619,5	47.071,4	45.913,6	ns	5,69	0,47	-0,13	2,42
	Fase-III	6.854,8	11.585,8	16.228,9	17.533,2	ns	3,00	2,36	0,42	2,64
	Bosque	9.536,3	14.981,9	20.121,7	29.745,6	ns	2,48	2,02	2,52	3,59
	Total	90.054,1	119.108,8	158.483,4	223.841,9	**	1,40	1,94	2,17	2,52

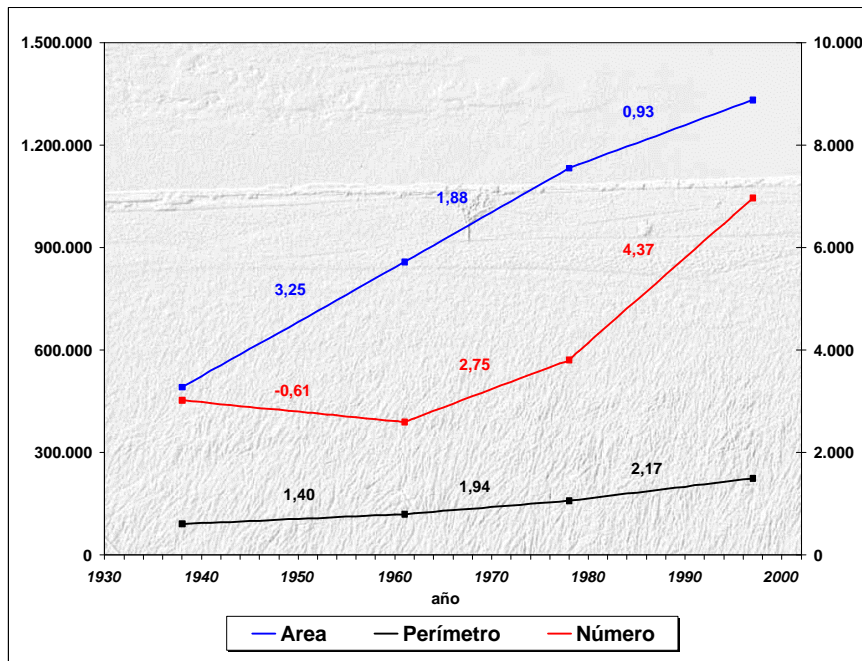


Figura II.30. Dinámica temporal global del área, perímetro y número para los 59 años del análisis. Los números bajo las líneas representan los valores de IRA de cada variable para cada serie. El área y el perímetro están expresados sobre el eje principal (y1) y en m² y m, respectivamente. El número se expresa en el eje secundario (y2).

Los resultados presentados hasta este punto son producto de una visión global del comportamiento y tendencias temporales de las variables de cobertura para la totalidad de la población de datos. En las dos siguientes secciones de este capítulo (II.3.3.2 y II.3.3.3) se analizarán los resultados agrupándolos según su pertenencia a las unidades de muestreo y a una variable muy importante considerada en este estudio: pertenencia a una forma de relieve.

II.3.3.2. Análisis de la dinámica de la cobertura discriminada por *unidad de muestreo* (UM)

La serie de Tablas II.9 a la II.11 resume los valores de las variables poligonales: número, área y perímetro; discriminados por su pertenencia a las UM's. En un primer análisis, se tiene que para cualquier UM, el número de polígonos es independiente del área de cobertura que éste genera (*Pearson*, $r = -0,05$). Esto se evidencia al considerar que la UM con mayor número de polígonos (UM 10 $n=2.330$) ocupa, con 292.736 m², el séptimo lugar en una escala ascendente de área de las UM. Por otro lado, la UM 07 presenta el mayor área de cobertura (1.898.556 m²) pero, con sólo 1.501 polígonos, ocupa el quinto lugar en la escala ascendente de número de polígonos de las UM. La variabilidad que se observa entre los valores de los totales de las UM, para cualquier variable poligonal, nos alerta sobre la posibilidad que estas no sean homogéneas.

Efectivamente, la representación de las curvas de saturación (ver Figura II.31) de los valores de las variables poligonales, muestra un comportamiento distintivo para cada UM.

Tabla II.9. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases para el número polígonos de leñosas en las 10 unidades de muestreo.

Número de Polígonos											
Clase de Frecuencia	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Total
<10 m2	116	152	65	206	231	98	78	110	162	83	1301
10,0-19,9	157	415	248	379	461	275	175	321	419	256	3106
20,0-29,9	109	385	216	330	362	243	157	231	362	255	2650
30,0-39,9	91	299	187	226	232	146	147	170	279	187	1964
40,0-49,9	52	226	141	96	171	151	108	131	197	148	1421
50,0-59,9	52	161	94	88	113	113	85	91	149	117	1063
60,0-69,9	38	104	68	70	68	77	61	59	116	58	719
70,0-79,9	25	80	60	38	46	75	53	66	68	48	559
80,0-89,9	26	57	57	35	55	45	57	45	62	50	489
90,0-99,9	20	39	39	11	36	36	46	41	64	34	366
100,0-199,9	108	136	201	100	122	144	230	114	256	130	1541
200,0-299,9	32	36	54	29	33	37	93	30	96	53	493
300,0-399,9	11	15	15	12	14	10	44	14	35	23	193
400,0-499,9	5	2	13	11	4	13	31	3	9	12	103
500,0-599,9	3	3	9	8	5	4	19	2	8	6	67
600,0-699,9	3	4	10	2	2	2	13	4	8	4	52
700,0-799,9	0	2	2	1	2	2	14	2	7	3	35
800,0-899,9	0	1	2	6	1	0	8	0	1	0	19
900,0-999,9	1	1	5	2	1	1	10	0	5	2	28
1000,0-1999,9	3	5	13	9	9	2	38	2	16	10	107
2000,0-2999,9	1	2	4	5	0	0	12	0	2	5	31
3000,0-3999,9	0	2	1	1	0	0	3	0	3	2	12
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	5
5000,0-5999,9	1	0	2	0	1	0	2	0	0	1	7
6000,0-6999,9	1	0	0	2	1	1	4	0	0	0	9
7000,0-7999,9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
8000,0-8999,9	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
9000,0-9999,9	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	4
>10000,0 m2	0	0	6	9	0	2	9	0	3	2	31
Total	856	2127	1514	1679	1970	1477	1501	1436	2330	1490	16380

Fases	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Total
Fase-I	686	1918	1175	1479	1775	1259	967	1265	1878	1236	13638
Fase-II	163	200	311	171	184	213	462	169	425	233	2531
Fase-III	7	9	22	20	11	3	63	2	24	19	180
Bosque	0	0	6	9	0	2	9	0	3	2	31
Total	856	2127	1514	1679	1970	1477	1501	1436	2330	1490	16380

Tabla II.10. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases para el área de polígonos (m²) en las 10 unidades de muestreo.

Clase de Frecuencia	Área de Polígonos										Total
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
<10 m2	792	1.080	494	1.440	1.659	716	557	816	1.135	603	9.291
10,0-19,9	2.260	6.168	3.776	5.666	6.877	4.044	2.603	4.746	6.193	3.783	46.117
20,0-29,9	2.657	9.499	5.367	8.064	8.847	6.017	3.932	5.673	8.991	6.260	65.307
30,0-39,9	3.148	10.315	6.508	7.805	7.990	5.066	5.076	5.885	9.727	6.501	68.020
40,0-49,9	2.306	10.025	6.246	4.304	7.673	6.773	4.854	5.870	8.768	6.596	63.416
50,0-59,9	2.820	8.797	5.167	4.809	6.219	6.155	4.628	4.935	8.200	6.385	58.116
60,0-69,9	2.454	6.750	4.367	4.494	4.410	4.985	4.006	3.825	7.447	3.767	46.505
70,0-79,9	1.858	5.953	4.486	2.844	3.409	5.635	4.008	4.959	5.102	3.565	41.817
80,0-89,9	2.196	4.805	4.840	2.965	4.617	3.817	4.824	3.795	5.242	4.279	41.379
90,0-99,9	1.893	3.695	3.714	1.035	3.415	3.411	4.382	3.865	6.072	3.217	34.698
100,0-199,9	14.969	19.097	27.969	13.897	16.318	20.523	32.302	14.931	35.033	17.188	212.227
200,0-299,9	7.699	8.773	12.906	7.037	7.559	8.715	22.216	7.026	23.119	12.710	117.758
300,0-399,9	3.846	5.242	5.209	4.127	5.063	3.346	15.264	4.928	11.868	7.842	66.736
400,0-499,9	2.196	854	5.683	4.852	1.769	5.677	14.025	1.325	4.085	5.343	45.809
500,0-599,9	1.698	1.659	4.921	4.466	2.780	2.090	10.354	1.039	4.292	3.236	36.535
600,0-699,9	1.913	2.658	6.522	1.298	1.300	1.249	8.524	2.569	5.184	2.598	33.816
700,0-799,9	0	1.445	1.555	703	1.463	1.551	10.442	1.501	5.347	2.244	26.251
800,0-899,9	0	866	1.686	4.949	821	0	6.730	0	809	0	15.860
900,0-999,9	914	925	4.831	1.888	983	978	9.626	0	4.777	1.838	26.758
1000,0-1999,9	3.565	6.597	17.596	12.882	13.535	2.940	55.753	3.044	22.506	12.484	150.902
2000,0-2999,9	2.751	5.660	8.570	13.868	0	0	29.481	0	4.950	12.381	77.660
3000,0-3999,9	0	6.681	3.037	3.138	0	0	10.480	0	10.493	6.444	40.273
4000,0-4999,9	0	0	4.164	0	0	0	18.015	0	0	0	22.179
5000,0-5999,9	5.179	0	11.227	0	5.713	0	10.653	0	0	5.851	38.622
6000,0-6999,9	6.588	0	0	12.578	6.474	6.658	25.222	0	0	0	57.520
7000,0-7999,9	0	0	0	7.445	0	0	0	0	0	0	7.445
8000,0-8999,9	8.354	0	8.988	0	0	0	0	0	8.564	8.283	34.188
9000,0-9999,9	0	0	0	18.514	0	0	0	0	19.349	0	37.863
>10000,0 m2	0	0	146.897	432.923	0	35.679	1.580.602	0	65.483	27.783	2.289.366
Total	82.054	127.541	316.725	587.989	118.893	136.024	1.898.556	80.734	292.736	171.182	3.812.435

Fases	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Total
Fase-I	22.382	67.085	44.966	43.426	55.115	46.619	38.869	44.369	66.877	44.957	474.666
Fase-II	33.236	41.519	71.280	43.215	38.056	44.128	129.482	33.320	94.513	53.001	581.750
Fase-III	26.436	18.938	53.582	68.425	25.722	9.599	149.603	3.044	65.862	45.442	466.653
Bosque	0	0	146.897	432.923	0	35.679	1.580.602	0	65.483	27.783	2.289.366
Total	82.054	127.541	316.725	587.989	118.893	136.024	1.898.556	80.734	292.736	171.182	3.812.435

Tabla II.11. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases para el perímetro de polígonos (m) en las 10 unidades de muestreo.

Clase de Frecuencia	Perímetro de Polígonos										Total
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
<10 m2	1.317	1.766	784	2.407	2.659	1.153	924	1.327	1.882	972	15.193
10,0-19,9	2.452	6.594	3.989	6.072	7.370	4.369	2.815	5.126	6.697	4.107	49.591
20,0-29,9	2.199	7.784	4.385	6.574	7.276	4.903	3.220	4.662	7.381	5.153	53.538
30,0-39,9	2.144	7.066	4.471	5.302	5.501	3.438	3.501	4.034	6.684	4.434	46.576
40,0-49,9	1.411	6.019	3.782	2.566	4.602	3.994	2.966	3.493	5.320	3.968	38.121
50,0-59,9	1.538	4.790	2.811	2.605	3.354	3.293	2.516	2.684	4.478	3.478	31.547
60,0-69,9	1.221	3.327	2.181	2.248	2.189	2.439	1.962	1.895	3.730	1.852	23.044
70,0-79,9	854	2.784	2.111	1.348	1.603	2.547	1.890	2.273	2.394	1.642	19.444
80,0-89,9	937	2.081	2.102	1.302	2.058	1.622	2.078	1.668	2.324	1.830	18.002
90,0-99,9	762	1.536	1.568	430	1.407	1.375	1.827	1.595	2.515	1.331	14.345
100,0-199,9	5.084	6.470	9.558	4.774	5.716	6.706	11.089	5.376	12.176	5.932	72.880
200,0-299,9	2.078	2.385	3.484	1.878	2.164	2.335	5.982	1.943	6.321	3.332	31.902
300,0-399,9	892	1.244	1.248	987	1.211	764	3.539	1.240	2.942	1.756	15.822
400,0-499,9	480	184	1.268	1.121	440	1.156	2.977	320	922	1.123	9.990
500,0-599,9	320	327	989	910	568	391	2.022	218	890	614	7.238
600,0-699,9	311	507	1.203	268	255	218	1.505	470	912	422	6.072
700,0-799,9	0	245	263	131	303	294	1.684	247	978	347	4.490
800,0-899,9	0	204	290	942	136	0	1.123	0	134	0	2.830
900,0-999,9	197	140	784	341	191	125	1.528	0	722	247	4.274
1000,0-1999,9	639	754	2.525	1.708	2.167	329	7.312	526	3.214	1.653	20.827
2000,0-2999,9	308	778	1.092	1.607	0	0	3.340	0	619	1.359	9.103
3000,0-3999,9	0	863	332	328	0	0	1.036	0	1.249	746	4.554
4000,0-4999,9	0	0	317	0	0	0	1.303	0	0	0	1.620
5000,0-5999,9	543	0	988	0	987	0	754	0	0	512	3.785
6000,0-6999,9	430	0	0	1.071	766	834	1.847	0	0	0	4.948
7000,0-7999,9	0	0	0	891	0	0	0	0	0	0	891
8000,0-8999,9	527	0	743	0	0	0	0	0	963	937	3.169
9000,0-9999,9	0	0	0	1.495	0	0	0	0	1.811	0	3.305
>10000,0 m2	0	0	6.581	12.534	0	1.668	46.466	0	4.773	2.363	74.385
Total	26.644	57.847	59.847	61.842	52.911	43.954	117.208	39.097	82.029	50.109	591.488

Fases	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Total
Fase-I	14.835	43.748	28.183	30.854	38.019	29.134	23.700	28.756	43.405	28.768	309.401
Fase-II	9.362	11.705	19.087	11.353	10.973	11.988	31.449	9.814	25.996	13.771	155.499
Fase-III	2.447	2.394	5.996	7.101	3.920	1.164	15.593	526	7.855	5.206	52.203
Bosque	0	0	6.581	12.534	0	1.668	46.466	0	4.773	2.363	74.385
Total	26.644	57.847	59.847	61.842	52.911	43.954	117.208	39.097	82.029	50.109	591.488

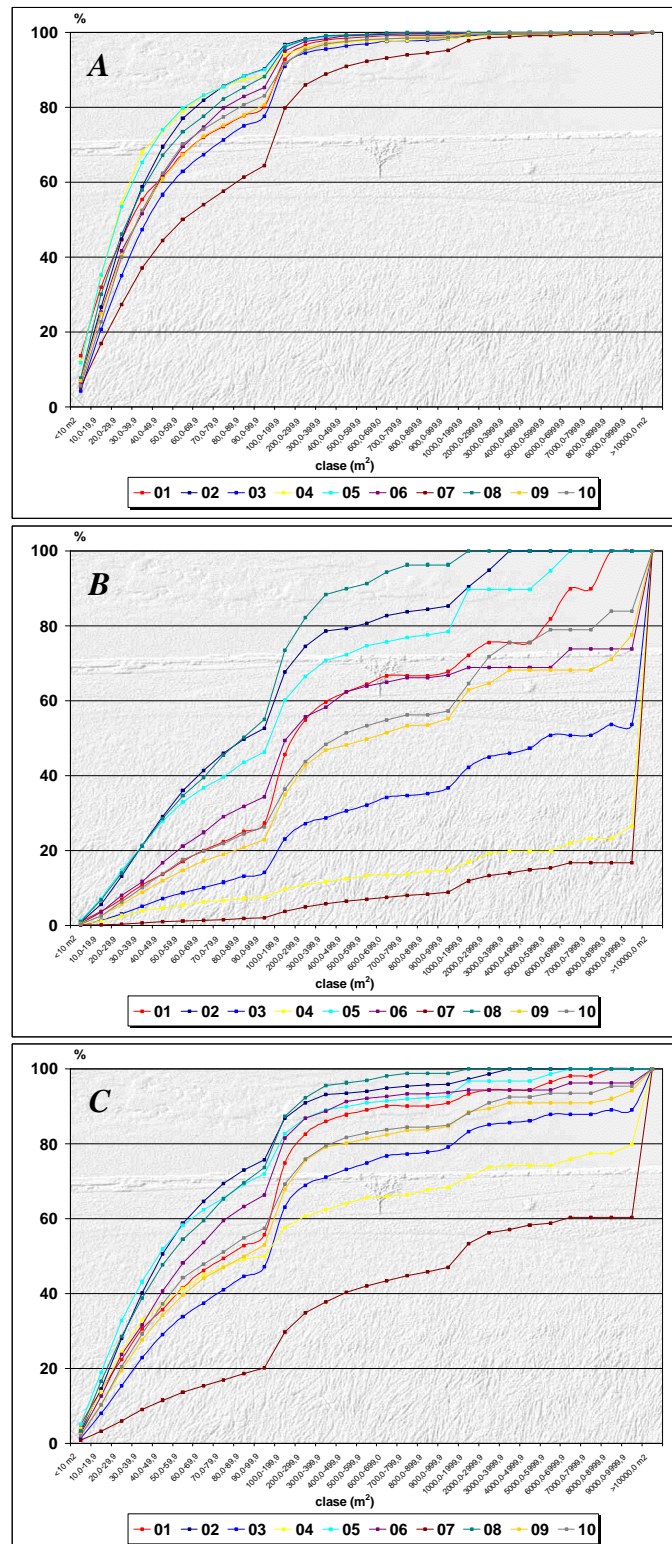


Figura II.31. Curvas de saturación para el número (A), área (B) y perímetro (C) de polígonos para las 10 unidades de muestreo (UM). Datos tomados de las Tablas II.9, II.10 y II.11.

La diferencia de las medias de valores de las frecuencias de clases de tamaño y de fases para el número de polígonos entre las 10 UM's es significativa ($P < 0,0001$). Las mayores

diferencias se observan entre los pares de UM 01-02, 01-05 y 01-09, con una $P<0,001$; seguidos por 01-04, 03-09, 06-09, 07-09, 08-09 y 09-10, con una $P<0,05$. Con respecto al área de los polígonos, se observa también una diferencia significativa entre los valores medios de las UM ($P<0,0001$). En este caso, las mayores diferencias se observan entre los pares de UM 07-08 ($P<0,001$); 03-08, 08-09 ($P<0,01$); y 01-07, 06-07 con ($P<0,05$). El perímetro presenta una diferencia algo menor pero aún así muy significativa ($P=0,0032$). Los pares con mayor diferencia de sus medias son: 01-07 ($P<0,01$), 06-07 y 07-08 ($P<0,05$). La significación de estas diferencias permite que se presenten una gran variedad de situaciones con respecto a las variables poligonales de las UM's. Se tiene, por ejemplo, que la cobertura (área) que se obtiene en la *Fase I* puede oscilar entre 2,0 y 55,0%. En la *Fase II*, sus valores pueden estar comprendidos entre un mínimo 6,8% hasta un máximo de cobertura de 41,3%. Mientras que, para la *Fase III* presenta un rango se estrecha un poco: 7,1 y 32,2%; la máxima amplitud o variación se alcanza en la *Fase-Bosque*: 0,0 a 83,3%. La Tabla II.12 presenta los datos discriminados por su pertenencia a un año de interpretación. La media que resulta de la evolución temporal del área entre las distintas UM's es significativamente diferente ($P<0,01$).

Tabla II.12. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para las unidades de muestreo y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo.

						IRA (%)			
		1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	MEDIO
UM 01	Nº pol	202	149	142	363	-1.14	-0.28	8.19	1.35
	per (m)	6.783	6.144	5.376	8.342	-0.41	-0.74	2.90	0.39
	área (m2)	17.151	20.691	20.500	23.713	0.90	-0.05	0.82	0.65
UM 02	Nº pol	409	234	555	929	-1.86	8.07	3.55	2.15
	per (m)	8.615	7.323	17.327	24.583	-0.65	8.04	2.20	3.14
	área (m2)	14.219	17.829	40.487	55.007	1.10	7.48	1.89	4.86
UM 03	Nº pol	321	356	292	545	0.47	-1.06	4.56	1.18
	per (m)	11.734	16.368	14.080	17.667	1.72	-0.82	1.34	0.86
	área (m2)	41.722	71.978	83.144	119.881	3.15	0.91	2.33	3.18
UM 04	Nº pol	408	206	431	634	-2.15	6.42	2.48	0.94
	per (m)	10.651	11.321	17.200	22.671	0.27	3.05	1.67	1.91
	área (m2)	107.679	148.801	187.474	144.034	1.66	1.53	-1.22	0.57
UM 05	Nº pol	302	273	498	897	-0.42	4.85	4.22	3.34
	per (m)	6.515	7.765	15.638	22.993	0.83	5.96	2.48	4.29
	área (m2)	9.686	15.360	38.387	55.460	2.55	8.82	2.34	8.01
UM 06	Nº pol	267	319	286	605	0.85	-0.61	5.87	2.15
	per (m)	6.669	10.792	10.378	16.115	2.69	-0.23	2.91	2.40
	área (m2)	12.627	30.699	37.314	55.387	6.22	1.27	2.55	5.74
UM 07	Nº pol	448	273	267	513	-1.70	-0.13	4.85	0.25
	per (m)	25.240	28.761	27.350	35.857	0.61	-0.29	1.64	0.71
	área (m2)	264.634	460.367	551.400	622.155	3.22	1.16	0.68	2.29
UM 08	Nº pol	187	185	377	687	-0.05	6.10	4.33	4.53
	per (m)	3.710	6.117	12.633	16.637	2.82	6.27	1.67	5.91
	área (m2)	4.918	13.871	30.128	31.817	7.91	6.89	0.29	9.27
UM 09	Nº pol	331	373	573	1.053	0.55	3.15	4.41	3.70
	per (m)	6.918	15.520	22.148	37.443	5.41	2.51	3.63	7.48
	área (m2)	12.090	48.867	77.935	153.842	13.23	3.50	5.13	19.87
UM 10	Nº pol	141	225	384	740	2.59	4.16	4.88	7.20
	per (m)	3.219	8.999	16.356	21.536	7.81	4.81	1.67	9.65
	área (m2)	6.232	28.931	65.304	70.716	15.84	7.40	0.44	17.54
TOTAL	Nº pol	3.016	2.593	3.805	6.966	-0.61	2.75	4.37	2.22
	per (m)	90.054,10	119.108.90	158.483.40	223.841.60	1.40	1.94	2.17	2.52
	área (m2)	490.958.60	857.395.02	1.132.072.44	1.332.010.77	3.25	1.88	0.93	2.90

Entre las 45 posibilidades de combinaciones de pares de **UM**, 15 presentan diferencias significativas en el orden de $P < 0,001$, 4 diferencias de $P < 0,01$ y 3 diferencias significativas de $P < 0,05$. Esta situación se repite cuando se considera la variable número de polígonos, obteniéndose una diferencia significativa ($P = 0,0047$). La representación gráfica de la dinámica temporal de las variables poligonales confirman sobre diversidad de respuestas por parte las **UM's** (ver Figura II.32).

La diversidad en la dinámica temporal de las distintas **UM's** genera a su vez múltiples respuestas en el **IRA** medio. En la Tabla II.12 se puede observar que una **UM** puede presentar incremento anual de su área de apenas un 0,57% hasta un 19,87%. El número de polígonos presenta, de igual forma, una gran variabilidad de respuestas entre las **UM's**: desde 0,25% hasta 7,2%.

Si bien el **IRA** medio para cualquier variable poligonal y para cualquier **UM** es siempre positivo, los **IRA** por serie para un **UM** determinado pueden presentar valores tanto positivos como negativos. Esto resulta en tres posibles comportamientos temporales por parte de las variables poligonales: oscilación, incremento positivo ó incremento negativo. Pero, como se mencionó con anterioridad: sea cual sea el comportamiento del **IRA** en las series, el **IRA** medio siempre será positivo.

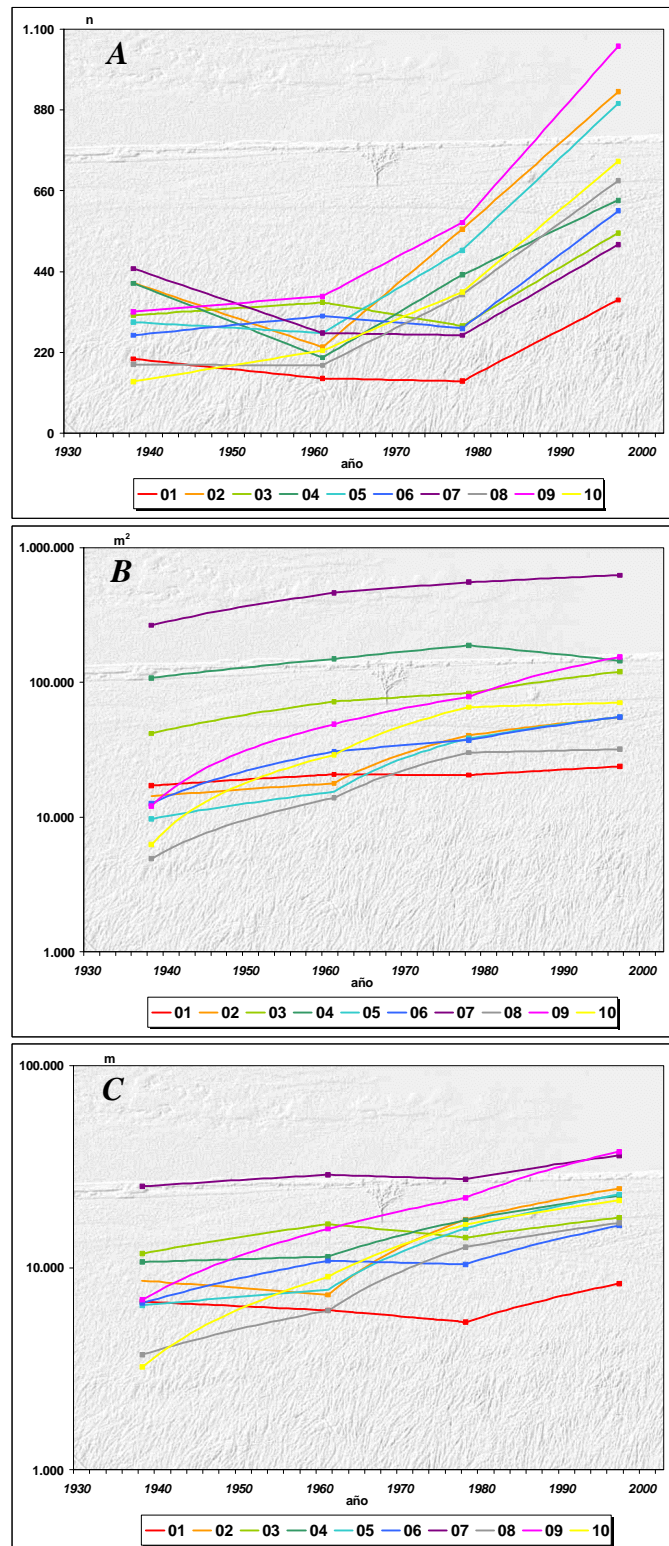


Figura II.32. Dinámica temporal de número de polígonos (A), del área de cobertura (B) y perímetro (C) para las 10 unidades de muestreo.

II.3.3.3. Análisis de la dinámica de la cobertura leñosa discriminada por *formas de relieve*

II.3.3.3.1. Dinámica espacial

Al discriminar por *formas de relieve* la respuesta del número, área y perímetro de los 16.380 polígonos de cobertura leñosa es muy diversa (ver Tablas II.13 II.14 y II.15). Se tiene, por ejemplo, y al considerar todos los años, que para el número de polígonos el rango de valores está comprendido entre un mínimo de 92 para la forma de transición $A_{III}-LL_{III}$ ¹ y un máximo de 5.648 para LL_{II} . Lo mismo ocurre para el área de polígonos donde se presenta un mínimo para A_{II} (27.648 m²) y un máximo de 1.873.789 m² para LL_{III} . Esto se traduce en un comportamiento de las medias de las variables poligonales de la cobertura de leñosas en las *formas de relieve* distinto y significativo (ANOVA, $P < 0,0001$) (ver Figura II.33). Por tratarse de *galerías*, los resultados sobre la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas para la forma de relieve *caño encauzado*, $C\tilde{N}E$, serán tratados en detalle en una sección aparte (ver sección II.3.3.4).

Tabla II.13. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el número de polígonos de cobertura de leñosas en las diferentes *formas de relieve*.

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos										Total
	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$		
<10 m2	307	67	64	228	369	171	76	17	2		1.301
10,0-19,9	604	162	168	392	1.068	441	212	55	4		3.106
20,0-29,9	429	134	154	361	902	387	207	74	2		2.650
30,0-39,9	279	81	122	264	694	311	158	53	2		1.964
40,0-49,9	183	52	89	201	505	216	127	42	6		1.421
50,0-59,9	128	36	65	142	374	176	102	40	0		1.063
60,0-69,9	69	25	50	109	259	128	46	29	4		719
70,0-79,9	48	19	35	75	230	84	45	22	1		559
80,0-89,9	42	17	41	59	185	77	43	20	5		489
90,0-99,9	27	14	33	53	119	79	26	12	3		366
100,0-199,9	91	37	134	198	558	342	112	53	16		1.541
200,0-299,9	12	10	55	53	151	139	40	28	5		493
300,0-399,9	5	4	24	25	50	54	20	8	3		193
400,0-499,9	1	0	19	6	41	17	11	3	5		103
500,0-599,9	0	0	7	6	24	15	5	4	6		67
600,0-699,9	0	0	8	5	20	12	4	2	1		52
700,0-799,9	1	0	9	1	9	14	1	0	0		35
800,0-899,9	1	0	1	1	8	7	0	0	1		19
900,0-999,9	0	0	4	1	9	10	1	1	2		28
1000,0-1999,9	0	0	14	6	33	32	7	4	11		107
2000,0-2999,9	0	0	6	1	9	5	5	2	3		31
3000,0-3999,9	0	0	1	2	2	5	2	0	0		12
4000,0-4999,9	0	0	1	0	1	1	0	0	2		5
5000,0-5999,9	0	0	0	1	3	1	1	0	1		7
6000,0-6999,9	0	0	0	1	4	1	0	0	3		9
7000,0-7999,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1
8000,0-8999,9	0	0	0	1	1	1	1	0	0		4
9000,0-9999,9	0	0	0	0	2	2	0	0	0		4
>10000,0 m2	0	0	0	0	17	8	2	0	4		31
Total	2.227	658	1.104	2.192	5.648	2.736	1.254	469	92		16.380
Fases	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$		Total
Fase-I	2.116	607	821	1.884	4.705	2.070	1.042	364	29		13.638
Fase-II	111	51	261	296	870	610	194	99	39		2.531
Fase-III	0	0	22	12	56	48	16	6	20		180
Bosque	0	0	0	0	17	8	2	0	4		31
Total	2.227	658	1.104	2.192	5.648	2.736	1.254	469	92		16.380

¹ Según se presentó en la **Tabla II.3**, las siglas aquí referidas corresponden a: A_I =afloramiento alto (*run-off*), A_{II} =afloramiento medio (*run-off*), A_{III} =afloramiento bajo (*run-off*), LL_I =canal de explayamiento (*run-on*), LL_{II} =abanico de explayamiento (*run-on*), LL_{III} =llanura coluvial (*run-on*) y LL_{IV} =llanura de erosión (*run-on*).

Tabla II.14. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el área de polígonos de cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve.

Clase de Frecuencia	Área de Polígonos									
	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$	Total
<10 m2	2.105	483	436	1.635	2.724	1.210	553	126	18	9.291
10,0-19,9	8.992	2.412	2.480	5.769	15.907	6.514	3.159	816	69	46.117
20,0-29,9	10.485	3.268	3.789	8.899	22.232	9.645	5.113	1.831	46	65.307
30,0-39,9	9.565	2.805	4.210	9.176	24.038	10.815	5.515	1.827	69	68.020
40,0-49,9	8.179	2.339	4.007	8.929	22.579	9.603	5.657	1.867	256	63.416
50,0-59,9	6.989	1.951	3.539	7.753	20.466	9.657	5.576	2.185	0	58.116
60,0-69,9	4.461	1.629	3.279	7.053	16.718	8.252	2.970	1.875	268	46.505
70,0-79,9	3.561	1.415	2.632	5.587	17.235	6.328	3.338	1.644	76	41.817
80,0-89,9	3.542	1.433	3.476	4.954	15.665	6.512	3.681	1.694	420	41.379
90,0-99,9	2.567	1.321	3.142	5.002	11.288	7.503	2.460	1.138	276	34.698
100,0-199,9	12.043	4.861	18.806	27.452	77.465	47.220	14.604	7.498	2.279	212.227
200,0-299,9	2.664	2.265	13.488	12.852	35.901	33.328	9.400	6.730	1.130	117.758
300,0-399,9	1.771	1.463	8.150	8.742	17.355	18.626	6.784	2.822	1.022	66.736
400,0-499,9	418	0	8.718	2.642	18.030	7.723	4.857	1.265	2.155	45.809
500,0-599,9	0	0	3.684	3.273	13.170	8.191	2.715	2.211	3.292	36.535
600,0-699,9	0	0	5.194	3.239	12.939	7.818	2.598	1.331	696	33.816
700,0-799,9	706	0	6.682	739	6.772	10.642	710	0	0	26.251
800,0-899,9	813	0	895	866	6.642	5.765	0	0	879	15.860
900,0-999,9	0	0	3.857	914	8.679	9.516	911	925	1.957	26.758
1000,0-1999,9	0	0	19.623	8.168	46.762	46.570	8.683	5.230	15.866	150.902
2000,0-2999,9	0	0	14.833	2.929	22.438	11.545	12.381	5.481	8.052	77.660
3000,0-3999,9	0	0	3.350	6.681	6.175	17.623	6.444	0	0	40.273
4000,0-4999,9	0	0	4.315	0	4.164	4.932	0	0	8.768	22.179
5000,0-5999,9	0	0	0	5.179	16.939	5.343	5.851	0	5.310	38.622
6000,0-6999,9	0	0	0	6.588	25.710	6.096	0	0	19.126	57.520
7000,0-7999,9	0	0	0	0	7.445	0	0	0	0	7.445
8000,0-8999,9	0	0	0	8.354	8.988	8.564	8.283	0	0	34.188
9000,0-9999,9	0	0	0	0	18.514	19.349	0	0	0	37.863
>10000,0 m2	0	0	0	0	615.498	1.528.897	27.783	0	117.188	2.289.366
Total	78.860	27.648	142.583	163.375	1.138.440	1.873.789	150.026	48.497	189.218	3.812.435

Fases	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$	Total
Fase-I	60.446	19.058	30.990	64.757	168.852	76.040	38.022	15.004	1.498	474.666
Fase-II	18.414	8.590	69.473	60.719	196.954	148.829	42.579	22.783	13.410	581.750
Fase-III	0	0	42.121	37.899	157.136	120.023	41.642	10.710	57.122	466.653
Bosque	0	0	0	0	615.498	1.528.897	27.783	0	117.188	2.289.366
Total	78.860	27.648	142.583	163.375	1.138.440	1.873.789	150.026	48.497	189.218	3.812.435

Tabla II.15. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el perímetro de polígonos de cobertura en las diferentes formas de relieve.

Clase de Frecuencia	Perímetro de Polígonos									
	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$	Total
<10 m2	3.505	810	740	2.634	4.394	1.995	892	195	27	15.193
10,0-19,9	9.626	2.601	2.690	6.195	17.065	7.055	3.417	872	70	49.591
20,0-29,9	8.629	2.684	3.103	7.285	18.182	7.913	4.211	1.491	39	53.538
30,0-39,9	6.574	2.284	2.911	6.244	16.448	7.436	3.753	1.248	48	46.946
40,0-49,9	4.903	1.507	2.412	5.381	13.472	5.866	3.411	1.141	156	38.249
50,0-59,9	3.803	825	1.939	4.201	11.071	5.259	3.031	1.203	0	31.333
60,0-69,9	2.198	787	1.593	3.503	8.292	4.121	1.473	933	134	23.034
70,0-79,9	1.663	629	1.235	2.583	7.993	2.975	1.542	769	35	19.425
80,0-89,9	1.540	554	1.490	2.151	6.836	2.866	1.581	736	184	17.936
90,0-99,9	1.071	832	1.313	2.036	4.683	3.112	1.019	470	113	14.648
100,0-199,9	4.142	1.482	6.461	9.296	26.586	16.294	5.084	2.566	780	72.691
200,0-299,9	743	338	3.615	3.468	9.784	9.016	2.503	1.821	312	31.600
300,0-399,9	456	342	1.888	2.057	4.158	4.490	1.528	663	239	15.822
400,0-499,9	83	0	1.799	583	4.019	1.737	1.039	283	447	9.990
500,0-599,9	0	0	696	640	2.649	1.645	516	423	668	7.238
600,0-699,9	0	0	942	595	2.415	1.357	422	223	118	6.072
700,0-799,9	136	0	1.114	109	1.237	1.789	104	0	0	4.490
800,0-899,9	144	0	170	204	1.225	928	0	0	159	2.830
900,0-999,9	0	0	601	197	1.440	1.477	126	140	293	4.274
1000,0-1999,9	0	0	2.583	1.201	6.813	6.302	1.204	634	2.088	20.827
2000,0-2999,9	0	0	1.710	531	2.700	1.402	1.359	555	847	9.103
3000,0-3999,9	0	0	313	863	660	1.973	746	0	0	4.554
4000,0-4999,9	0	0	307	0	317	273	0	0	724	1.620
5000,0-5999,9	0	0	0	543	1.975	408	512	0	347	3.785
6000,0-6999,9	0	0	0	430	2.671	366	0	0	1.481	4.948
7000,0-7999,9	0	0	0	0	891	0	0	0	0	891
8000,0-8999,9	0	0	0	527	743	963	937	0	0	3.169
9000,0-9999,9	0	0	0	0	1.495	1.811	0	0	0	3.305
>10000,0 m2	0	0	0	0	20.783	43.546	0	0	7.693	72.023
Total	49.216	15.678	41.624	63.457	200.997	144.375	40.409	16.366	17.002	589.125

Fases	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I-LL_I	$A_{III}-LL_{III}$	Total
Fase-I	43.512	13.515	19.425	42.213	108.437	48.598	24.329	9.059	805	309.893
Fase-II	5.704	2.163	17.286	17.150	53.513	38.735	11.323	6.118	3.016	155.007
Fase-III	0	0	4.913	4.095	18.265	13.496	4.758	1.189	5.487	52.203
Bosque	0	0	0	0	20.783	43.546	0	0	7.693	72.023
Total	49.216	15.678	41.624	63.457	200.997	144.375	40.409	16.366	17.002	589.125

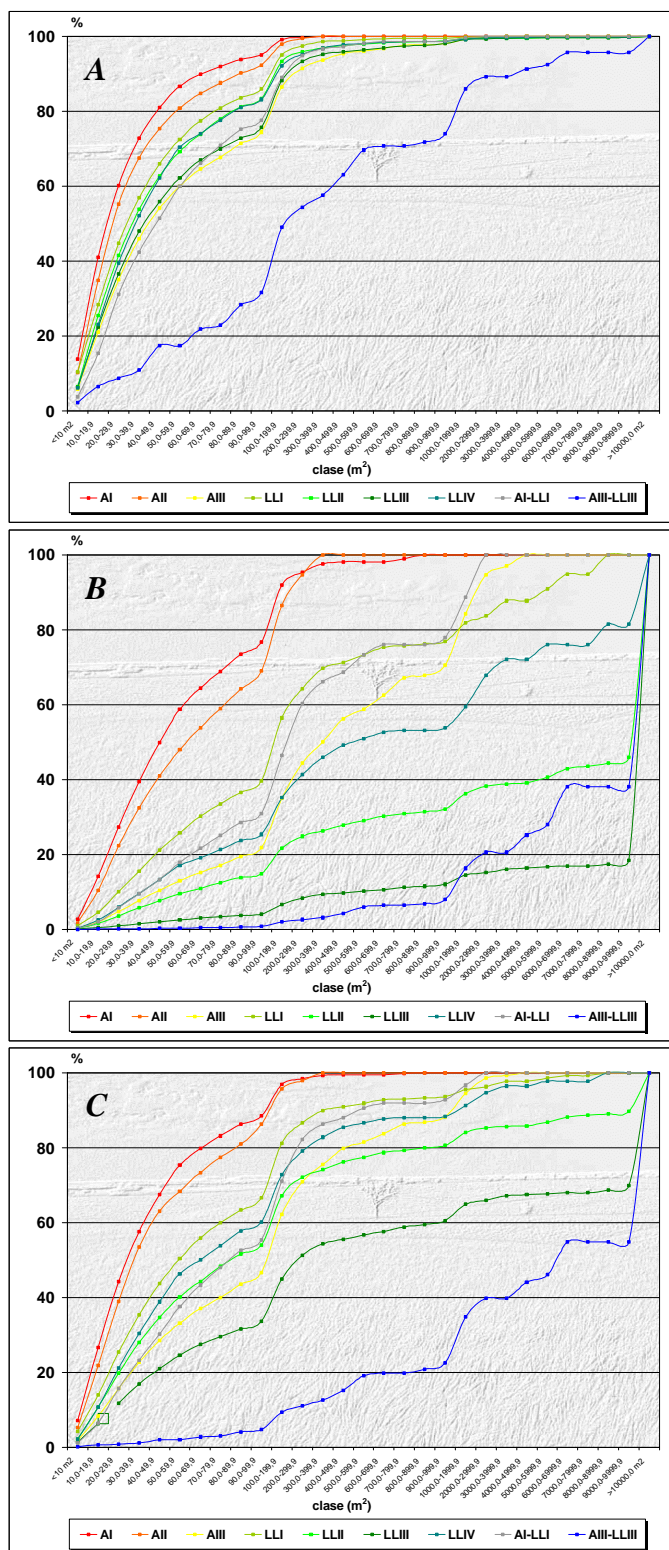


Figura II.33. Curvas de saturación para el número (A), área (B) y perímetro (C) de polígonos para las formas de relieve. Datos tomados de las Tablas II.13, II.14 y II.15.

En líneas generales, para cualquier variable poligonal de cobertura de leñosas (número, área, perímetro), las formas de relieve con dinámica de esorrentía (*run-off*; A_I - A_{II} - A_{III}) difieren significativamente (*ANOVA*, $P < 0,05$) de aquellas con dinámica de deposición (*run-on*; LL_I - LL_{II} - LL_{III} - LL_{IV}). Esta diferencia viene dada por la dinámica espacial de los polígonos con un área de cobertura leñosa $< 100 \text{ m}^2$, es decir los de *Fase-I*.

Globalmente, las formas de relieve de afloramiento (A_I , A_{II} y A_{III}) no presentan diferencias significativas entre sí (*Tukey-Kramer*, $P > 0,05$). Pero, al considerar el número de polígonos de cobertura $< 100 \text{ m}^2$ (*Fase-I*), los afloramientos más altos, A_I , difieren significativamente (*Tukey-Kramer*, $P < 0,01$) de las otras dos formas de afloramiento. Al considerar el área y el perímetro, esta diferencia pierde significación (*Tukey-Kramer*, $P > 0,05$) entre las formas A_I y A_{III} . La cobertura de polígonos $> 100 \text{ m}^2$ es importante para los afloramientos más bajos, A_{III} , infiriéndole diferencias significativas (*Tukey-Kramer*, $P < 0,01$) con respecto a las otras formas de afloramiento.

Con respecto a las formas de relieve con dinámica hídrica de deposición (*run-on*), su dinámica espacial es más variable que la de los afloramientos. La diferencia que resulta de un *ANOVA anidado* entre los valores de cualquier variable poligonal de las formas LL_I , LL_{II} , LL_{III} y LL_{IV} es muy significativa ($P < 0,001$). Si bien la mayor cobertura de leñosas se obtiene en las *llanuras coluviales*, LL_{III} ; esta no difiere significativamente de la de los *abanicos de explayamiento* (LL_{II} ; *Tukey-Kramer*, $P > 0,05$). Los valores más bajos de cobertura para cualquier variable poligonal se obtienen para las formas de relieve ubicadas en los extremos del gradiente *run-on*: LL_I y LL_{IV} . La diferencia entre ellas carece de significación (*Tukey-Kramer*, $P > 0,05$), pero lo es entre cualquiera de las dos formas de relieve *run-on* intermedias ($P > 0,05$).

Para la zona de transición presente entre los *afloramientos altos* y los *canales de explayamiento*, A_I - LL_I , la significación en la diferencia con los valores poligonales de las dos formas de relieve contiguas, A_I y LL_I , viene dada por la dinámica de los polígonos $< 100 \text{ m}^2$. Globalmente, el área de cobertura de A_I - LL_I es similar al nivel superior inmediato A_I ($P > 0,05$), pero significativamente inferior al nivel subsiguiente LL_I ($P < 0,001$). Para la otra zona de transición considerada, *afloramientos bajos-llanura coluvial* (A_{III} - LL_{III}), el número de polígonos es significativamente distinto del de las dos formas que lo originan (*Tukey-Kramer*, $P < 0,001$). Globalmente, el área de cobertura y el perímetro de los polígonos es similar al de

A_{III} pero diferente del de LL_{III} (*Tukey-Kramer*, $P<0,01$); sin embargo la dinámica de los polígonos de $<100\text{ m}^2$ establecen una diferencia significativa entre el área de cobertura de la transición (A_{III} - LL_{III}) y la del nivel superior inmediato A_{III} .

Ahora bien, al tomar en cuenta las 7 formas de relieve que por su extensión son las más importantes en el área de estudio: A_I , A_{II} , A_{III} , LL_I , LL_{II} , LL_{III} y LL_{IV} ; y la significación de la diferencia que resulta de la comparación de las 21 posibilidades de combinación de pares de formas, se tiene que la variable poligonal *área* de cobertura de los polígonos origina la mayor variabilidad espacial. Las diferencias surgen de comparar formas de relieve de dinámica hídrica *run-off* con las de *run-on*. Esto es especialmente cierto para los polígonos de $<100\text{ m}^2$ (**Fase-I**) donde más de 17 de las comparaciones de pares presentan diferencias significativas de $P<0,001$ para una prueba de comparación múltiple *Tukey-Kramer*. En el caso de los polígonos **Fase-II**, $100-1.000\text{ m}^2$, los *afloramientos altos y medios*, A_I y A_{II} , mantienen una diferencia significativa con la cobertura de leñosas de las llanuras ($P<0,05$); pero no así los *afloramientos bajos*, A_{III} , la cual es similar a la de los relieves chatos ($P>0,05$). Las diferencias generales en el área de cobertura entre los *afloramientos* y las *llanuras* reaparece cuando se consideran polígonos $>1.000\text{ m}^2$. Con respecto al *número* de polígonos de cobertura, la variabilidad espacial es algo menor, donde 7 de las 21 combinaciones de pares posibles presentan una diferencia de $P<0,05$. De nuevo, son los polígonos **Fase-I** los responsables en generar la mayor heterogeneidad espacial

En la Tabla II.16 se presenta, a modo de caracterización, los valores medios (en porcentaje) para las diferentes variables poligonales y *fases* de cobertura de leñosas, para cada una de las *forma de relieve*.

Tabla II.16. Caracterización de las diferentes *formas de relieve* de acuerdo al valor (en %) de sus variables poligonales.

Variable	Fases	Formas de Relieve										Media
		A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	LL_{IV}	A_I - LL_I	A_{III} - LL_{III}	CÑE	
Número	Fase-I	95,0	92,2	74,4	85,9	83,3	75,7	83,1	77,6	31,5	83,3	78,2
	Fase-II	5,0	7,8	23,6	13,5	15,4	22,3	15,5	21,1	42,4	15,5	18,2
	Fase-III	0,0	0,0	2,0	0,5	1,0	1,8	1,3	1,3	21,7	1,1	3,1
	Bosque	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,2	0,0	4,3	0,2	0,5
Área	Fase-I	76,6	68,9	21,7	39,6	14,8	4,1	25,3	30,9	0,8	12,5	29,5
	Fase-II	23,4	31,1	48,7	37,2	17,3	7,9	28,4	47,0	7,1	15,3	26,3
	Fase-III	0,0	0,0	29,5	23,2	13,8	6,4	27,8	22,1	30,2	12,2	16,5
	Bosque	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	81,6	18,5	0,0	61,9	60,0	27,6
Perímetro	Fase-I	88,4	86,2	46,7	66,5	53,9	33,7	60,2	55,4	4,7	52,6	54,8
	Fase-II	11,6	13,8	41,5	27,0	26,6	26,8	28,0	37,4	17,7	26,3	25,7
	Fase-III	0,0	0,0	11,8	6,5	9,1	9,3	11,8	7,3	32,3	8,9	9,7
	Bosque	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	30,2	0,0	0,0	45,2	12,2	9,8

Se observa en la tabla que las formas de relieve con dinámica de *run-off* la dinámica para cualquiera de sus variables poligonales viene dada por polígonos de cobertura de hasta 1.000 m²; donde para los afloramientos más elevados, A_I y A_{II} , los polígonos *Fase-I* (<100 m²) son los que dominan su paisaje y dinámica. Para los afloramientos más bajos, A_{III} , ocurre un incremento en el número de polígonos *Fase-II* (23,6%) y aparecen algunos *Fase-III* (2,0%); cuya presencia resulta en un aporte muy importante en las variables poligonales *área* y *perímetro*. Con respecto a las formas de relieve con dinámica de *run-on*, se observa una similitud en los valores de las variables poligonales de las diversas fases para la forma más elevada, *canal de explayamiento* (LL_I), y aquella más baja, *llanura de erosión* (LL_{IV}). Para cualquier forma de relieve *run-on*, los polígonos <100 m² son los más abundantes; pero con respecto al *área* y al *perímetro*, son los polígonos >100 m² de cobertura los que realizan los principales aportes. Para la zona de transición A_I-LL_I , la cobertura de leñosas viene dada en un 69,1% por el *área* que resulta de polígonos *Fase-II* y *Fase-III*, situación sensiblemente distinta a la forma de relieve inmediata superior A_I : 76,6% por *Fase-I*; pero muy similar a la forma de relieve *run-on* adyacente: LL_I . Para la otra zona de transición, $A_{III}-LL_{III}$, el 92,1% de la cobertura se presenta en forma de islotes de boscosos de *Fase-III* y *Fase-Bosque*. Esto lo diferencia drásticamente del relieve alto originario, A_{III} , donde más del 60% de la cobertura corresponde a polígonos de tamaño hasta *Fase-II*, y establece una similitud con el relieve *run-on* inferior, LL_{III} con 88% de la cobertura en forma de islas boscosas de más 1.000 m².

La Tabla II.17 presenta el orden de las diferentes *formas de relieve* en respuesta al gradiente (de mayor a menor) que resulta para las *fases* en las diferentes variables poligonales. Se tiene por ejemplo que los *abanicos de explayamiento*, LL_{II} , presenta los valores más elevados para el número de polígonos de cobertura en cualquier situación. Mientras que para el *área* de cobertura, los *abanicos de explayamiento* dominan solo hasta los polígonos <10.000 m². Por presentar grandes extensiones de bosque, las *llanuras coluviales* se presentan como la forma de relieve con la mayor cobertura total de leñosas, ubicándose, por lo general, en segundo lugar con respecto a los valores de las variables *número*, *área* y *perímetro* de los polígonos de cobertura. El menor número total de polígonos se presenta en la transición $A_{III}-LL_{III}$, pero es en los *afloramientos medios*, A_{II} , donde se presenta el menor *área* de cobertura de leñosas. De hecho, para cualquier tipo de *afloramiento*, la cobertura de leñosas se ubica en el extremo inferior del gradiente.

Tabla II.17. Gradiente que resulta del ordenamiento de los valores para las diferentes variables poligonales y fases de las *formas de relieve* presentes en el área de estudio.

Variable Poligonal	Fase	Gradiente (+ ⇔ -)									
Número	Fase 1	LL _{II}	A _I	LL _{III}	LL _I	LL _{IV}	A _{III}	A _{II}	A _r -LL _I	A _{III} -LL _{III}	
	Fase 2	LL _{II}	LL _{III}	LL _I	A _{III}	LL _{IV}	A _I	A _r -LL _I	A _{II}	A _{III} -LL _{III}	
	Fase 3	LL _{II}	LL _{III}	A _{III}	A _{III} -LL _{III}	LL _{IV}	LL _I	A _r -LL _I	A _I	A _{II}	
	Bosque	LL _{II}	LL _{III}	A _{III} -LL _{III}	LL _{IV}	A _I	A _r -LL _I	LL _I	A _{II}	A _{III}	
	Total	LL _{II}	LL _{III}	A _I	LL _I	LL _{IV}	A _{III}	A _{II}	A _r -LL _I	A _{III} -LL _{III}	
Área	Fase 1	LL _{II}	LL _{III}	LL _I	A _I	LL _{IV}	A _{III}	A _{II}	A _r -LL _I	A _{III} -LL _{III}	
	Fase 2	LL _{II}	LL _{III}	A _{III}	LL _I	LL _{IV}	A _r -LL _I	A _I	A _{III} -LL _{III}	A _{II}	
	Fase 3	LL _{II}	LL _{III}	A _{III} -LL _{III}	A _{III}	LL _{IV}	LL _I	A _r -LL _I	A _I	A _{II}	
	Bosque	LL _{III}	LL _{II}	A _{III} -LL _{III}	LL _{IV}	A _I	A _r -LL _I	LL _I	A _{II}	A _{III}	
	Total	LL _{III}	LL _{II}	A _{III} -LL _{III}	LL _I	LL _{IV}	A _{III}	A _I	A _r -LL _I	A _{II}	
Perímetro	Fase 1	LL _{II}	LL _{III}	A _I	LL _I	LL _{IV}	A _{III}	A _{II}	A _r -LL _I	A _{III} -LL _{III}	
	Fase 2	LL _{II}	LL _{III}	A _{III}	LL _I	LL _{IV}	A _r -LL _I	A _I	A _{III} -LL _{III}	A _{II}	
	Fase 3	LL _{II}	LL _{III}	A _{III} -LL _{III}	A _{III}	LL _{IV}	LL _I	A _r -LL _I	A _I	A _{II}	
	Bosque	LL _{III}	LL _{II}	A _{III} -LL _{III}	A _I	A _r -LL _I	LL _I	A _{II}	A _{III}	LL _{IV}	
	Total	LL _{II}	LL _{III}	LL _I	A _I	A _{III}	LL _{IV}	A _{III} -LL _{III}	A _r -LL _I	A _{II}	

En la Figura II.34 se presentan las *formas de relieve* ordenadas ahora de acuerdo a su ubicación espacial real. Las curvas reflejan la dinámica espacial de los valores relativos al total de cada forma para cada variable poligonal. En este gradiente altimétrico, se observan tres máximos en lo que respecta al *área* de cobertura de leñosas; estos corresponden a la localización de los relieves chatos o de dinámica hídrica dominante de *run-on*, generando la siguiente secuencia o gradiente de cobertura: $LL_{III} > LL_{II} > LL_{I}$. Para la variable *número* de polígonos, se observan cuatro máximos y que corresponden a la secuencia de formas: $LL_{II} > LL_{III} > A_{I} > LL_{I}$.

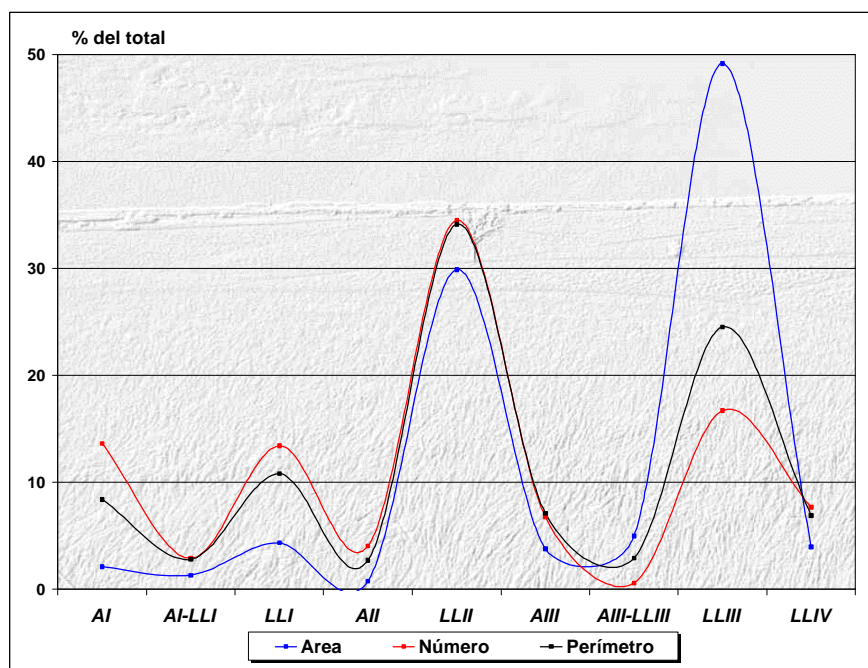


Figura II.34. Dinámica espacial de los valores relativos al total de cada *forma de relieve* y para cada variable poligonal.

II.3.3.3.2. Dinámica temporal

Al incluir la variable tiempo en los análisis de la sección anterior, es decir, se discriminan los 16.380 polígonos no sólo por su pertenencia a una *forma de relieve* particular (Tablas II.13 a la II.15) sino también a su presencia en un año particular se obtiene la serie de Tablas de la II.18 a la II.26.

Sobre esta reclasificación de datos se realizaron *ANOVAS anidados* para cada establecer la significación de la dinámica temporal presente entre los años 1938, 1961, 1978 y 1997. Estos análisis se realizaron para cada *forma de relieve* ($A_I, A_{III}, A_{III}, LL_I, LL_{II}, LL_{III}, LL_{IV}, A_I-LL_I$ y $A_{III}-LL_{III}$), para cada una de las *fases* (*Fase-I, Fase-II, Fase-III* y *Fase-Bosque*) y en las tres variables poligonales: *número, área y perímetro*. Para cada situación, se estimó el *incremento relativo anual (IRA)* entre los diferentes pares de años continuos (1938-1961, 1961-1978 y 1978-1997) así como el **IRA** medio que resulta para la serie completa (1938-1997). Los resultados de este esfuerzo se presentan en la serie de Tablas de la II.27 a la II.35 y de las Figuras de la II.35 a la II.43.

Tabla II.18. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento alto (A_I).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	124	16	7	160	808,8	124,8	60,5	1.111,0	1.406,4	198,8	91,1	1.808,9
10,0-19,9	145	57	96	306	2.132,6	859,8	1.501,5	4.498,3	2.311,0	929,0	1.606,1	4.780,2
20,0-29,9	68	48	148	165	1.702,6	1.183,5	3.620,7	3.977,8	1.385,7	977,3	2.995,2	3.270,9
30,0-39,9	35	33	92	119	1.212,7	1.141,7	3.197,8	4.012,4	828,8	787,0	2.189,0	2.768,9
40,0-49,9	16	19	68	80	710,0	850,5	3.056,7	3.561,4	426,1	513,8	1.823,7	2.139,4
50,0-59,9	12	15	47	54	667,7	833,0	2.573,1	2.915,6	358,6	442,2	1.392,7	1.609,7
60,0-69,9	5	12	23	29	316,5	761,5	1.495,5	1.887,1	157,6	382,1	736,0	921,9
70,0-79,9	2	6	15	25	146,4	454,4	1.124,5	1.836,0	68,1	209,1	516,6	869,5
80,0-89,9	4	5	11	22	342,5	420,1	928,2	1.851,3	158,7	181,2	398,9	801,0
90,0-99,9	2	8	5	12	196,2	767,7	466,0	1.137,4	78,8	311,3	190,0	490,4
100,0-199,9	9	17	34	31	1.077,5	2.293,1	4.483,2	4.189,2	397,5	757,9	1.553,5	1.432,6
200,0-299,9	0	3	4	5	0,0	688,2	880,7	1.095,0	0,0	188,7	248,8	305,1
300,0-399,9	0	1	2	2	0,0	391,6	743,5	635,5	0,0	102,3	178,7	175,2
400,0-499,9	1	0	0	0	417,6	0,0	0,0	0,0	83,2	0,0	0,0	0,0
500,0-599,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
600,0-699,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
700,0-799,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	706,1	0,0	0,0	0,0	136,2
800,0-899,9	0	1	0	0	0,0	813,2	0,0	0,0	0,0	144,1	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000,0-2999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	423	241	552	1.011	9.731,1	11.583,1	24.131,8	33.414,0	7.660,5	6.124,8	13.920,4	21.510,0

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	413	219	512	972	8.236,0	7.396,9	18.024,4	26.788,2	7.179,8	4.931,9	11.939,3	19.460,9
Fase-II	10	22	40	39	1.495,1	4.186,2	6.107,4	6.625,7	480,7	1.193,0	1.981,0	2.049,1
Fase-III	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	423	241	552	1.011	9.731,1	11.583,1	24.131,8	33.414,0	7.660,5	6.124,8	13.920,4	21.510,0

Tabla II.19. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento medio (A_{II}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	17	1	3	46	126,4	9,3	22,4	325,1	203,5	14,8	36,7	555,3
10,0-19,9	43	8	21	90	618,9	135,6	320,6	1.336,5	679,7	139,9	348,6	1.433,1
20,0-29,9	25	5	40	64	616,7	120,6	1.006,6	1.524,1	502,6	99,6	822,8	1.258,9
30,0-39,9	13	16	24	28	450,9	559,9	825,7	968,7	309,8	376,2	930,7	667,4
40,0-49,9	10	12	14	16	449,0	557,7	628,2	704,5	267,2	323,2	497,3	419,5
50,0-59,9	2	7	17	10	109,9	366,0	931,1	544,5	60,0	194,8	282,8	287,9
60,0-69,9	3	6	9	7	199,0	394,1	573,0	463,0	93,5	192,0	272,6	228,7
70,0-79,9	2	5	8	4	147,4	369,6	610,7	287,7	71,7	170,8	253,5	133,4
80,0-89,9	1	7	7	2	83,0	597,1	589,6	163,6	37,7	256,5	188,3	71,4
90,0-99,9	1	5	5	3	99,4	472,0	464,9	285,2	38,6	191,3	491,4	111,1
100,0-199,9	1	17	11	8	181,5	2.280,1	1.425,0	974,7	49,5	785,5	302,3	345,1
200,0-299,9	0	5	5	0	0,0	1.174,0	1.090,9	0,0	0,0	338,4	0,0	0,0
300,0-399,9	0	0	0	4	0,0	0,0	0,0	1.463,4	0,0	0,0	0,0	342,4
400,0-499,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500,0-599,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
600,0-699,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
700,0-799,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000,0-2999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	118	94	164	282	3.082,0	7.036,0	8.488,7	9.041,2	2.313,9	3.083,0	4.426,9	5.854,2

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	117	72	148	270	2.900,5	3.581,9	5.972,9	6.603,0	2.264,4	1.959,2	4.124,6	5.166,7
Fase-II	1	22	16	12	181,5	3.454,1	2.515,8	2.438,2	49,5	1.123,9	302,3	687,5
Fase-III	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	118	94	164	282	3.082,0	7.036,0	8.488,7	9.041,2	2.313,9	3.083,0	4.426,9	5.854,2

Tabla II.20. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de escorrentía o *run-off*: afloramiento bajo (A_{III}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	22	0	0	42	146,4	0,0	0,0	290,0	252,3	0,0	0,0	488,1
10,0-19,9	44	4	9	111	642,3	70,4	156,3	1.610,8	695,0	73,5	152,0	1.769,5
20,0-29,9	34	10	23	87	830,5	245,1	573,1	2.140,1	669,1	200,9	475,7	1.757,1
30,0-39,9	20	15	31	56	698,1	517,2	1.065,1	1.929,7	485,6	355,6	735,8	1.334,1
40,0-49,9	16	7	27	39	714,5	318,4	1.218,0	1.756,1	429,5	189,6	731,9	1.060,8
50,0-59,9	9	15	20	21	484,2	814,2	1.087,9	1.152,4	260,4	448,6	587,5	642,1
60,0-69,9	8	12	14	16	510,6	782,9	931,6	1.054,2	255,9	380,9	445,1	511,0
70,0-79,9	5	6	9	15	379,0	450,5	660,0	1.142,4	181,0	200,8	309,7	543,2
80,0-89,9	4	10	14	13	349,0	862,6	1.170,5	1.094,2	145,3	367,7	492,3	484,7
90,0-99,9	6	8	10	9	577,9	768,5	948,7	846,5	236,1	302,2	398,7	376,2
100,0-199,9	16	33	39	46	2.293,0	4.935,5	5.409,4	6.168,3	755,9	1.629,0	1.832,0	2.244,2
200,0-299,9	11	9	22	13	2.732,6	2.317,0	5.163,9	3.274,7	758,9	596,6	1.348,3	911,3
300,0-399,9	4	5	6	9	1.236,4	1.820,8	2.116,1	2.976,3	305,3	429,0	462,7	690,6
400,0-499,9	0	5	7	7	0,0	2.215,7	3.282,7	3.219,9	0,0	445,6	593,7	759,9
500,0-599,9	0	4	1	2	0,0	2.120,1	548,9	1.014,6	0,0	407,9	97,4	190,9
600,0-699,9	1	2	1	4	622,1	1.302,7	639,5	2.629,7	104,3	254,8	115,6	467,0
700,0-799,9	3	2	0	4	2.205,0	1.491,5	0,0	2.985,2	362,0	264,2	0,0	488,2
800,0-899,9	0	1	0	0	0,0	894,9	0,0	0,0	0,0	170,0	0,0	0,0
900,0-999,9	1	1	1	1	952,4	927,1	978,4	999,0	163,6	121,6	132,5	183,0
1000,0-1999,9	3	3	2	6	4.062,8	4.363,3	2.731,4	8.465,5	490,5	582,9	306,1	1.203,7
2000,0-2999,9	1	2	2	1	2.142,1	5.085,7	4.842,5	2.783,2	237,0	613,1	551,2	308,5
3000,0-3999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	3.349,9	0,0	0,0	0,0	312,5
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4.314,7	0,0	0,0	0,0	306,8	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	208	154	239	503	21.578,6	32.283,8	37.838,5	50.882,5	6.787,7	8.034,6	10.075,0	16.726,8

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	168	87	157	409	5.332,4	4.829,8	7.811,1	13.016,3	3.610,1	2.519,8	4.328,7	8.966,9
Fase-II	36	62	77	86	10.041,3	18.025,1	18.138,8	23.267,7	2.450,0	4.318,7	4.582,1	5.935,1
Fase-III	4	5	5	8	6.204,9	9.429,0	11.888,6	14.598,5	727,6	1.196,1	1.164,1	1.824,8
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	208	154	239	503	21.578,6	32.283,8	37.838,5	50.882,5	6.787,7	8.034,6	10.075,0	16.726,8

Tabla II.21. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: canal de explayamiento (LL₁).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	64	13	5	146	429,3	99,9	46,1	1.059,6	726,8	156,2	69,9	1.681,0
10,0-19,9	101	24	46	221	1.449,9	354,1	732,9	3.231,9	1.591,5	388,3	771,6	3.443,1
20,0-29,9	59	32	92	178	1.456,7	791,6	2.301,3	4.349,5	1.221,0	645,3	1.877,8	3.541,3
30,0-39,9	51	42	66	105	1.769,6	1.486,7	2.291,9	3.627,9	1.209,2	1.004,6	1.560,9	2.469,5
40,0-49,9	35	34	47	85	1.548,6	1.519,1	2.077,5	3.783,8	940,7	923,1	1.246,9	2.269,8
50,0-59,9	24	28	37	53	1.309,9	1.528,1	2.026,5	2.888,2	721,5	827,0	1.079,8	1.572,5
60,0-69,9	21	21	35	32	1.349,2	1.352,9	2.266,2	2.084,3	680,1	675,3	1.113,5	1.034,3
70,0-79,9	20	12	22	21	1.493,0	909,1	1.615,3	1.569,6	686,8	410,0	762,6	723,7
80,0-89,9	9	12	22	16	766,7	1.015,0	1.822,8	1.350,0	341,8	424,5	773,6	610,9
90,0-99,9	10	19	11	13	942,0	1.805,1	1.030,6	1.224,6	394,7	722,8	423,7	495,1
100,0-199,9	33	53	58	54	4.317,2	7.306,2	8.419,1	7.409,6	1.492,2	2.459,5	2.773,9	2.570,6
200,0-299,9	6	18	19	10	1.452,7	4.313,8	4.782,5	2.302,6	407,6	1.164,8	1.247,4	648,4
300,0-399,9	1	6	9	9	358,4	2.042,5	3.203,4	3.138,1	96,9	484,3	760,3	716,0
400,0-499,9	2	1	2	1	882,1	441,9	872,4	445,9	227,7	89,8	162,6	102,6
500,0-599,9	0	0	4	2	0,0	0,0	2.184,1	1.088,5	0,0	0,0	407,0	233,2
600,0-699,9	1	2	1	1	647,1	1.326,2	655,9	610,2	96,3	283,9	101,2	113,7
700,0-799,9	0	1	0	0	0,0	739,0	0,0	0,0	0,0	109,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	0	1	0	0,0	0,0	865,7	0,0	0,0	0,0	203,6	0,0
900,0-999,9	1	0	0	0	913,7	0,0	0,0	0,0	197,3	0,0	0,0	0,0
1000,0-1999,9	1	1	1	3	1.407,2	1.113,9	1.406,6	4.240,5	232,6	230,9	218,5	519,4
2000,0-2999,9	1	0	0	0	2.929,5	0,0	0,0	0,0	530,6	0,0	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	1	1	0,0	0,0	3.107,4	3.573,5	0,0	0,0	439,6	423,3
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	1	0	0	0,0	5.178,6	0,0	0,0	0,0	543,2	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	6.588,0	0,0	0,0	0,0	429,8	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	8.354,0	0,0	0,0	0,0	526,9
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	440	320	480	952	25.422,7	33.323,6	48.296,1	56.332,3	11.795,4	11.542,4	16.424,4	23.695,1

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	394	237	383	870	12.514,8	10.861,6	16.211,1	25.169,4	8.514,2	6.177,1	9.680,4	17.841,1
Fase-II	44	81	94	77	8.571,2	16.169,6	20.983,0	14.994,9	2.518,1	4.591,1	5.656,0	4.384,4
Fase-III	2	2	3	5	4.336,7	6.292,5	11.102,0	16.168,0	763,2	774,1	1.087,9	1.469,6
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	440	320	480	952	25.422,7	33.323,6	48.296,1	56.332,3	11.795,4	11.542,4	16.424,4	23.695,1

Tabla II.22. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: abanico de explayamiento (LL_{II}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	132	12	12	213	913,7	89,6	104,0	1.616,8	1.529,7	152,0	159,4	2.552,7
10,0-19,9	229	70	128	641	3.339,3	1.075,1	2.059,0	9.434,0	3.649,4	1.161,3	2.176,5	10.078,1
20,0-29,9	174	137	204	387	4.243,2	3.414,3	5.061,8	9.512,2	3.495,1	2.808,5	4.137,2	7.741,8
30,0-39,9	143	132	176	243	4.984,1	4.561,4	6.107,7	8.384,4	3.407,3	3.162,0	4.181,8	5.697,1
40,0-49,9	87	117	146	155	3.865,9	5.264,1	6.532,6	6.916,7	2.334,8	3.157,2	3.885,3	4.094,9
50,0-59,9	54	93	100	127	2.957,5	5.081,4	5.461,1	6.966,2	1.646,0	2.736,8	2.930,8	3.757,8
60,0-69,9	33	47	85	94	2.136,1	3.048,5	5.486,3	6.046,9	1.057,4	1.522,6	2.720,0	2.991,6
70,0-79,9	41	64	67	58	3.044,4	4.820,4	5.003,7	4.366,3	1.436,9	2.233,6	2.332,4	1.990,1
80,0-89,9	31	40	47	67	2.606,2	3.383,3	4.005,2	5.670,2	1.166,2	1.441,9	1.741,7	2.485,9
90,0-99,9	22	28	31	38	2.088,3	2.654,4	2.921,8	3.623,3	873,3	1.088,7	1.195,2	1.525,7
100,0-199,9	62	172	170	154	8.587,5	23.933,5	22.990,8	21.953,0	2.980,1	8.133,4	8.036,6	7.435,4
200,0-299,9	18	42	46	45	4.221,8	9.994,4	11.110,7	10.574,4	1.193,5	2.667,0	2.920,4	3.002,8
300,0-399,9	5	10	19	16	1.752,7	3.345,7	6.527,6	5.729,3	435,8	778,9	1.533,7	1.409,6
400,0-499,9	7	15	9	10	3.022,8	6.613,7	4.005,0	4.388,8	694,6	1.512,5	824,6	987,5
500,0-599,9	3	10	4	7	1.709,3	5.430,5	2.280,6	3.749,4	375,2	1.083,2	476,5	714,1
600,0-699,9	2	2	8	8	1.317,3	1.342,3	5.110,8	5.168,8	216,7	272,4	913,1	1.012,4
700,0-799,9	0	3	5	1	0,0	2.243,6	3.762,9	765,9	0,0	446,9	675,7	114,7
800,0-899,9	1	2	2	3	827,4	1.633,1	1.713,8	2.467,8	151,9	341,9	322,8	408,5
900,0-999,9	1	4	2	2	936,5	3.887,9	1.925,8	1.928,7	152,1	645,4	329,5	313,4
1000,0-1999,9	5	2	16	10	7.249,9	2.754,7	22.186,9	14.570,7	1.128,8	409,9	3.220,9	2.053,5
2000,0-2999,9	2	3	2	2	5.489,1	7.108,7	4.334,5	5.505,9	593,0	923,3	473,5	710,0
3000,0-3999,9	0	1	1	0	0,0	3.137,9	3.036,9	0,0	0,0	328,2	331,7	0,0
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4.164,5	0,0	0,0	0,0	316,5	0,0
5000,0-5999,9	0	0	1	2	0,0	0,0	5.659,1	11.280,3	0,0	0,0	523,5	1.451,6
6000,0-6999,9	0	1	1	2	0,0	6.658,2	6.372,5	12.679,5	0,0	834,3	581,2	1.255,8
7000,0-7999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	7.445,0	0,0	0,0	0,0	891,4
8000,0-8999,9	0	1	0	0	0,0	8.987,6	0,0	0,0	0,0	742,9	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	1	0	1	0,0	9.191,8	0,0	9.321,7	0,0	852,0	0,0	642,7
>10000,0 m2	2	2	6	7	100.199,2	131.231,8	197.489,4	186.577,9	2.485,9	3.418,2	7.208,0	7.671,0
Total	1.054	1.011	1.289	2.294	165.492,3	260.888,2	345.415,2	366.644,1	31.003,7	42.854,9	54.148,6	72.990,2

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	946	740	996	2.023	30.178,7	33.392,6	42.743,1	62.537,1	20.596,1	19.464,6	25.460,2	42.915,7
Fase-II	99	260	265	246	22.375,3	58.424,8	59.428,1	56.726,1	6.199,9	15.881,6	16.032,9	15.398,5
Fase-III	7	9	22	18	12.739,0	37.839,0	45.754,5	60.803,1	1.721,8	4.090,5	5.447,4	7.005,1
Bosque	2	2	6	7	100.199,2	131.231,8	197.489,4	186.577,9	2.485,9	3.418,2	7.208,0	7.671,0
Total	1.054	1.011	1.289	2.294	165.492,3	260.888,2	345.415,2	366.644,1	31.003,7	42.854,9	54.148,6	72.990,2

Tabla II.23. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: llanura coluvial (LL_{III}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	106	2	2	61	735,9	16,3	19,3	439,0	1.215,2	25,0	28,2	726,8
10,0-19,9	149	17	44	231	2.111,8	264,6	736,8	3.400,6	2.308,0	293,6	756,3	3.697,3
20,0-29,9	71	49	83	184	1.727,8	1.238,5	2.085,8	4.592,9	1.441,7	1.009,3	1.700,6	3.761,2
30,0-39,9	60	47	78	126	2.057,7	1.653,2	2.711,5	4.393,1	1.412,8	1.133,7	1.850,2	3.039,1
40,0-49,9	28	36	71	81	1.243,2	1.608,6	3.135,3	3.616,0	767,6	995,6	1.885,0	2.217,4
50,0-59,9	23	39	43	71	1.269,1	2.135,9	2.385,9	3.865,8	707,7	1.169,7	1.275,2	2.106,4
60,0-69,9	11	32	42	43	716,5	2.066,2	2.708,0	2.761,7	368,1	1.054,1	1.323,6	1.375,4
70,0-79,9	4	25	20	35	310,2	1.883,3	1.498,1	2.636,2	161,1	889,4	682,9	1.241,9
80,0-89,9	7	22	22	26	600,5	1.867,8	1.856,3	2.187,8	272,8	799,2	835,0	959,2
90,0-99,9	5	30	19	25	482,0	2.834,1	1.813,0	2.374,2	195,4	1.186,7	737,1	992,6
100,0-199,9	38	101	111	92	5.173,8	13.895,8	15.761,2	12.388,9	1.883,7	4.810,4	5.224,6	4.375,7
200,0-299,9	28	31	35	45	6.725,0	7.459,3	8.343,0	10.801,0	1.832,1	2.012,0	2.178,7	2.993,1
300,0-399,9	5	13	13	23	1.774,6	4.504,2	4.502,5	7.844,4	438,5	1.114,4	1.037,7	1.899,7
400,0-499,9	2	5	6	4	893,6	2.338,3	2.596,1	1.895,5	204,4	524,5	579,0	429,6
500,0-599,9	3	4	3	5	1.620,0	2.318,8	1.608,5	2.643,8	325,1	483,9	295,0	540,8
600,0-699,9	1	6	2	3	620,0	3.946,5	1.227,9	2.023,7	111,3	681,4	213,6	350,8
700,0-799,9	1	4	5	4	706,9	3.046,3	3.785,3	3.103,7	169,6	500,4	588,0	531,3
800,0-899,9	0	5	2	0	0,0	4.146,7	1.618,0	0,0	0,0	677,8	250,5	0,0
900,0-999,9	0	4	4	2	0,0	3.841,9	3.831,4	1.842,5	0,0	600,4	580,9	295,6
1000,0-1999,9	5	7	7	13	8.373,8	9.846,8	10.629,2	17.720,5	935,6	1.424,9	1.495,1	2.446,7
2000,0-2999,9	3	0	1	1	6.787,1	0,0	2.645,2	2.112,7	865,3	0,0	288,6	247,6
3000,0-3999,9	1	3	0	1	3.156,4	10.845,8	0,0	3.620,9	321,6	1.220,3	0,0	430,7
4000,0-4999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	4.932,2	0,0	0,0	0,0	272,6	0,0
5000,0-5999,9	1	0	0	0	5.342,9	0,0	0,0	0,0	407,9	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	6.096,1	0,0	0,0	0,0	365,5
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	8.563,7	0,0	0,0	0,0	962,8
9000,0-9999,9	0	0	2	0	0,0	0,0	19.349,4	0,0	0,0	0,0	1.810,7	0,0
>10000,0 m2	2	1	1	4	187.670,6	363.909,2	436.813,4	540.503,9	7.050,4	10.123,4	10.219,5	16.153,1
Total	554	483	617	1.082	240.099,4	445.668,2	536.593,0	651.428,6	23.395,9	32.730,2	36.108,8	52.140,3

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	464	299	424	883	11.254,7	15.568,5	18.949,9	30.267,3	8.850,4	8.556,4	11.074,1	20.117,2
Fase-II	78	173	181	178	17.513,8	45.497,9	43.273,8	42.543,5	4.964,7	11.405,2	10.948,1	11.416,5
Fase-III	10	10	11	17	23.660,3	20.692,6	37.556,0	38.114,0	2.530,5	2.645,2	3.867,0	4.453,4
Bosque	2	1	1	4	187.670,6	363.909,2	436.813,4	540.503,9	7.050,4	10.123,4	10.219,5	16.153,1
Total	554	483	617	1.082	240.099,4	445.668,2	536.593,0	651.428,6	23.395,9	32.730,2	36.108,8	52.140,3

Tabla II.24. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de relieve de régimen hídrico de deposición o *run-on*: llanura de erosión (LL_{IV}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	32	1	1	42	218,4	8,6	7,5	318,4	359,8	12,4	12,4	507,3
10,0-19,9	27	12	9	164	591,1	202,9	147,3	2.410,4	420,2	207,2	155,3	2.633,9
20,0-29,9	23	24	45	115	541,4	611,4	1.151,3	2.808,9	453,2	495,9	935,3	2.328,8
30,0-39,9	11	26	41	80	372,2	892,7	1.464,1	2.785,5	251,1	615,3	987,4	1.898,7
40,0-49,9	6	25	44	52	264,4	1.120,4	1.958,3	2.313,9	160,4	664,4	1.167,8	1.418,5
50,0-59,9	7	21	32	42	386,0	1.152,0	1.751,6	2.286,5	209,4	627,0	935,7	1.259,0
60,0-69,9	2	10	11	23	130,7	660,0	710,2	1.469,1	65,3	327,2	345,2	735,2
70,0-79,9	1	11	19	14	72,2	817,0	1.412,3	1.036,6	33,1	370,1	645,5	493,1
80,0-89,9	0	11	20	12	0,0	928,3	1.723,5	1.029,6	0,0	404,4	734,1	442,3
90,0-99,9	2	6	10	8	199,5	565,9	940,0	754,5	86,5	238,8	380,4	313,0
100,0-199,9	2	28	46	36	269,7	3.719,6	6.017,9	4.596,4	98,0	1.291,4	2.065,3	1.629,7
200,0-299,9	4	9	16	11	1.034,2	2.025,7	3.729,8	2.610,6	263,1	534,3	1.007,4	698,3
300,0-399,9	3	5	7	5	1.057,2	1.661,1	2.358,0	1.708,2	249,8	411,2	489,9	376,9
400,0-499,9	1	3	4	3	402,5	1.331,6	1.795,1	1.327,5	99,9	288,2	366,9	284,2
500,0-599,9	0	2	2	1	0,0	1.107,6	1.085,9	522,0	0,0	217,8	195,1	103,6
600,0-699,9	0	0	3	1	0,0	0,0	1.994,7	603,1	0,0	0,0	327,5	94,2
700,0-799,9	0	0	1	0	0,0	0,0	709,6	0,0	0,0	0,0	104,3	0,0
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	911,1	0,0	0,0	0,0	125,6
1000,0-1999,9	0	3	2	2	0,0	3.261,8	2.502,5	2.918,8	0,0	530,2	312,0	362,0
2000,0-2999,9	0	2	3	0	0,0	5.063,8	7.317,5	0,0	0,0	657,0	702,1	0,0
3000,0-3999,9	0	0	1	1	0,0	0,0	3.388,1	3.056,3	0,0	0,0	427,1	318,9
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	5.850,6	0,0	0,0	0,0	511,8	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	1	0	0,0	0,0	8.282,7	0,0	0,0	0,0	936,7	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	27.782,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	121	199	319	615	5.346,7	25.130,2	56.298,4	63.250,3	2.749,8	7.892,9	13.745,2	16.021,5

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	111	147	232	552	2.583,0	6.959,1	11.266,1	17.213,4	2.039,0	3.962,8	6.299,1	12.028,1
Fase-II	10	47	79	58	2.763,7	9.845,6	17.690,9	12.278,9	710,8	2.743,0	4.556,5	3.312,5
Fase-III	0	5	8	3	0,0	8.325,6	27.341,3	5.975,1	0,0	1.187,2	2.889,7	680,9
Bosque	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	27.782,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	121	199	319	615	5.346,7	25.130,2	56.298,4	63.250,3	2.749,8	7.892,9	13.745,2	16.021,5

Tabla II.25. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de transición: afloramiento alto-canal de desplazamiento (A_{I-LL_I}).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	6	0	0	11	41,5	0,0	0,0	84,8	66,3	0,0	0,0	128,6
10,0-19,9	16	4	6	29	229,8	57,8	111,6	417,1	255,5	62,5	105,7	448,2
20,0-29,9	12	6	18	38	293,0	155,7	460,9	921,2	238,9	127,5	371,4	753,7
30,0-39,9	7	5	21	20	250,5	168,9	729,7	678,4	167,3	123,6	493,1	464,3
40,0-49,9	7	6	12	17	311,6	260,5	537,7	756,7	192,7	159,6	333,0	455,9
50,0-59,9	6	8	10	16	327,9	437,4	548,7	871,0	181,9	237,7	302,8	480,9
60,0-69,9	3	4	11	11	204,0	252,2	703,5	715,5	103,1	130,4	345,1	354,4
70,0-79,9	6	3	8	5	444,9	221,4	594,8	383,4	207,4	111,5	280,5	169,9
80,0-89,9	2	6	4	8	165,0	511,5	339,0	678,4	69,2	216,8	153,8	295,8
90,0-99,9	0	1	3	8	0,0	93,5	287,9	756,7	0,0	39,7	118,1	311,7
100,0-199,9	5	17	17	14	678,0	2.532,8	2.372,1	1.915,3	262,1	833,4	815,4	654,7
200,0-299,9	4	6	11	7	990,6	1.398,7	2.629,2	1.711,5	282,4	362,7	707,6	468,1
300,0-399,9	0	0	2	6	0,0	0,0	723,0	2.099,2	0,0	0,0	153,5	509,6
400,0-499,9	0	0	1	2	0,0	0,0	407,1	857,9	0,0	0,0	97,8	185,0
500,0-599,9	1	1	0	2	569,1	597,0	0,0	1.044,9	112,3	111,6	0,0	198,9
600,0-699,9	0	1	1	0	0,0	693,9	637,5	0,0	0,0	115,4	107,7	0,0
700,0-799,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900,0-999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	924,9	0,0	0,0	0,0	139,8
1000,0-1999,9	0	0	1	3	0,0	0,0	1.557,0	3.672,8	0,0	0,0	155,0	479,3
2000,0-2999,9	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	5.480,6	0,0	0,0	0,0	555,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6000,0-6999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	75	68	126	200	4.505,8	7.381,2	12.639,7	23.970,1	2.139,2	2.632,4	4.540,5	7.054,1

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	65	43	93	163	2.268,1	2.158,8	4.313,8	6.263,1	1.482,4	1.209,2	2.503,5	3.863,6
Fase-II	10	25	32	32	2.237,7	5.222,4	6.768,9	8.553,5	656,8	1.423,2	1.882,0	2.156,2
Fase-III	0	0	1	5	0,0	0,0	1.557,0	9.153,4	0,0	0,0	155,0	1.034,4
Bosque	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	75	68	126	200	4.505,8	7.381,2	12.639,7	23.970,1	2.139,2	2.632,4	4.540,5	7.054,1

Tabla II.26. Variación temporal en las variables poligonales para la forma de transición: afloramiento bajo-llanura coluvial ($A_{III-LL_{III}}$).

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos				Área de Polígonos (m ²)				Perímetro de Polígonos (m)			
	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
<10 m2	1	0	0	1	9,9	0,0	0,0	8,3	12,8	0,0	0,0	14,4
10,0-19,9	3	0	0	1	56,4	0,0	0,0	12,3	55,2	0,0	0,0	14,4
20,0-29,9	0	0	1	1	0,0	0,0	21,1	24,6	0,0	0,0	18,2	20,4
30,0-39,9	0	0	0	2	0,0	0,0	0,0	68,9	0,0	0,0	0,0	47,6
40,0-49,9	1	1	2	2	41,9	42,5	86,1	85,2	25,1	27,8	51,7	51,5
50,0-59,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60,0-69,9	2	0	0	2	135,0	0,0	0,0	132,9	66,7	0,0	0,0	67,7
70,0-79,9	1	0	0	0	76,4	0,0	0,0	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0
80,0-89,9	1	1	1	2	86,1	82,9	85,5	166,0	37,9	36,7	36,1	73,2
90,0-99,9	0	2	1	0	0,0	183,6	92,7	0,0	0,0	76,2	36,9	0,0
100,0-199,9	4	3	3	6	590,4	421,6	438,1	828,7	197,6	148,2	144,6	289,7
200,0-299,9	3	2	0	0	651,0	479,1	0,0	0,0	194,3	117,8	0,0	0,0
300,0-399,9	0	2	0	1	0,0	680,2	0,0	342,1	0,0	162,7	0,0	76,2
400,0-499,9	1	1	2	1	456,4	423,4	846,3	429,1	102,0	84,5	156,5	103,5
500,0-599,9	3	0	2	1	1.626,6	0,0	1.106,6	558,6	369,7	0,0	194,1	104,6
600,0-699,9	0	1	0	0	0,0	696,1	0,0	0,0	0,0	118,3	0,0	0,0
700,0-799,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800,0-899,9	0	1	0	0	0,0	879,0	0,0	0,0	0,0	158,7	0,0	0,0
900,0-999,9	0	1	1	0	0,0	966,4	990,4	0,0	0,0	149,6	143,7	0,0
1000,0-1999,9	1	4	2	4	1.218,9	6.139,1	2.370,5	6.137,1	230,8	845,4	293,9	718,4
2000,0-2999,9	0	3	0	0	0,0	8.052,2	0,0	0,0	0,0	847,4	0,0	0,0
3000,0-3999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0-4999,9	1	0	1	0	4.646,5	0,0	4.121,4	0,0	398,0	0,0	325,9	0,0
5000,0-5999,9	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	5.310,0	0,0	0,0	0,0	346,6
6000,0-6999,9	1	0	2	0	6.105,0	0,0	13.021,1	0,0	483,0	0,0	998,0	0,0
7000,0-7999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8000,0-8999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9000,0-9999,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>10000,0 m2	0	1	1	2	0,0	15.051,3	39.192,0	62.944,2	0,0	1.440,2	2.694,2	3.558,7
Total	23	23	19	27	15.700,3	34.097,4	62.371,8	77.048,1	2.208,0	4.213,7	5.093,8	5.486,9

Fases	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997	1938	1961	1978	1997
Fase-I	9	4	5	11	405,6	309,0	285,5	498,1	232,6	140,7	142,8	289,3
Fase-II	11	11	8	9	3.324,3	4.545,8	3.381,4	2.158,6	863,6	939,9	639,0	573,9
Fase-III	3	7	5	5	11.970,4	14.191,3	19.513,0	11.447,1	1.111,8	1.692,8	1.617,8	1.065,0
Bosque	0	1	1	2	0,0	15.051,3	39.192,0	62.944,2	0,0	1.440,2	2.694,2	3.558,7
Total	23	23	19	27	15.700,3	34.097,4	62.371,8	77.048,1	2.208,0	4.213,7	5.093,8	5.486,9

Tabla II.27. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el afloramiento alto (A_1) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_1				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	413	219	512	972	**	-2,04	7,87	4,73	2,29
	Fase-II	10	22	40	39	ns	5,22	4,81	-0,13	4,92
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	423	241	552	1.011	**	-1,87	7,59	4,38	2,36
Área (m^2)	Fase-I	8.236	7.397	18.024	26.788	***	-0,44	8,45	2,56	3,82
	Fase-II	1.495	4.186	6.107	6.626	ns	7,83	2,70	0,45	5,82
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	9.731	11.583	24.132	33.414	***	0,83	6,37	2,02	4,12
Perímetro (m)	Fase-I	7.180	4.932	11.939	19.461	***	-1,36	8,36	3,32	2,90
	Fase-II	481	1.193	1.981	2.049	ns	6,44	3,89	0,18	5,53
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	7.661	6.125	13.920	21.510	***	-0,87	7,49	2,87	3,06

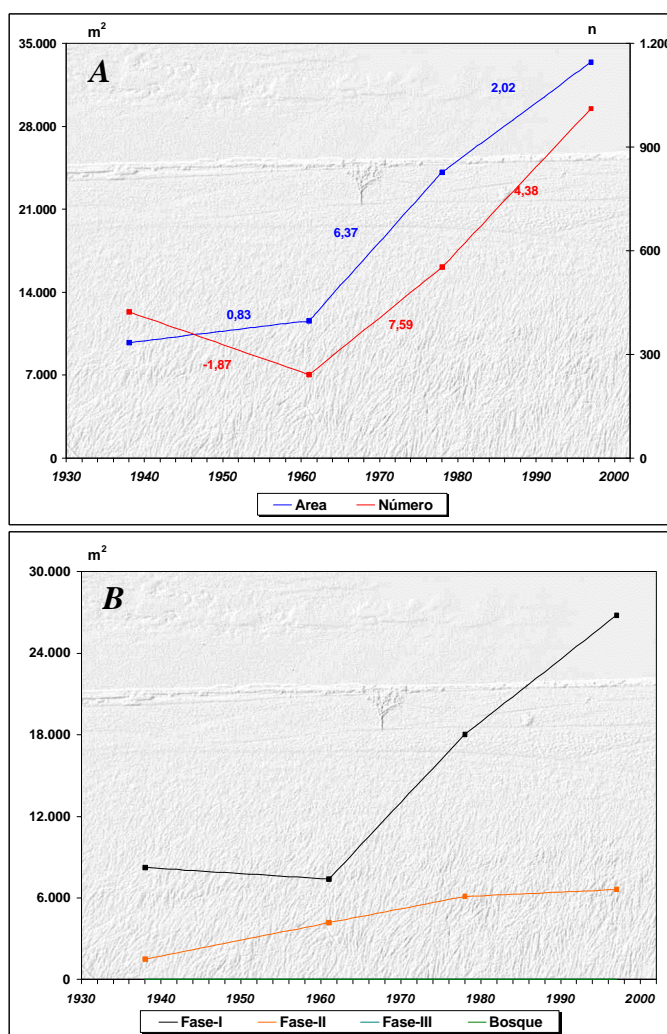


Figura II.35. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_1 en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.28. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el afloramiento medio (A_{II}) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_{II}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	117	72	148	270	*	-1,67	6,21	4,34	2,22
	Fase-II	1	22	16	12	ns	91,30	-1,60	-1,32	18,64
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	118	94	164	282	*	-0,88	4,38	3,79	2,36
Área (m^2)	Fase-I	2.900	3.582	5.973	6.603	**	1,02	3,93	0,56	2,16
	Fase-II	181	3.454	2.516	2.438	ns	78,40	-1,60	-0,16	21,07
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	3.082	7.036	8.489	9.041	*	5,58	1,21	0,34	3,28
Perímetro (m)	Fase-I	2.264	1.959	4.125	5.167	*	-0,59	6,50	1,33	2,17
	Fase-II	50	1.124	302	687	ns	94,30	-4,30	6,70	21,83
	Fase-III	0	0	0	0					
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	2.314	3.083	4.427	5.854	*	1,45	2,56	1,70	2,59

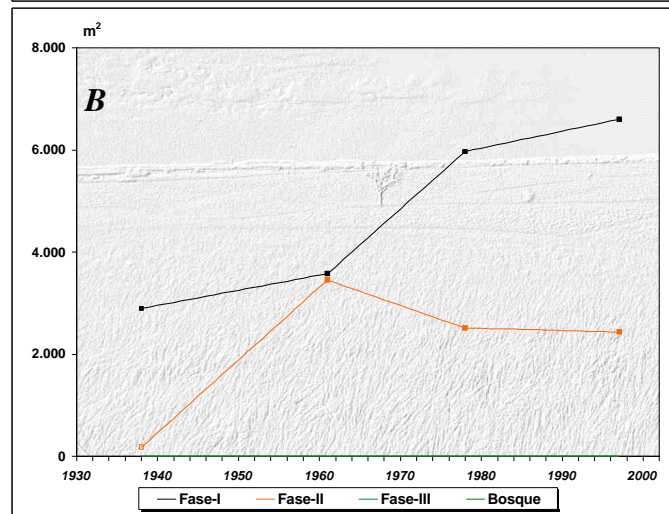
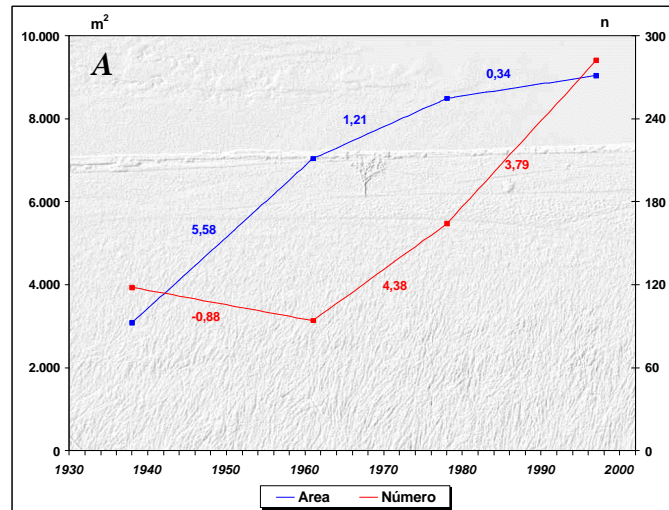


Figura II.36. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{II} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.29. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el afloramiento bajo (A_{III}) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_{III}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	168	87	157	409	**	-2,10	4,73	8,45	2,43
	Fase-II	36	62	77	86	ns	3,14	1,42	0,62	2,35
	Fase-III	4	5	5	8	ns	1,09	0,00	3,16	1,69
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	208	154	239	503	**	-1,13	3,25	5,81	2,40
Área (m^2)	Fase-I	5.332	4.830	7.811	13.016	***	-0,41	3,63	3,51	2,44
	Fase-II	10.041	18.025	18.139	23.268	*	3,46	0,04	1,49	2,23
	Fase-III	6.205	9.429	11.889	14.599	ns	2,26	1,53	1,20	2,29
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	21.579	32.284	37.838	50.882	***	2,16	1,01	1,81	2,30
Perímetro (m)	Fase-I	3.610	2.520	4.329	8.967	***	-1,31	4,22	5,64	2,52
	Fase-II	2.450	4.319	4.582	5.935	*	3,32	0,36	1,55	2,41
	Fase-III	728	1.196	1.164	1.825	ns	2,80	-0,16	2,99	2,56
	Bosque	0	0	0	0					
	Total	6.788	8.035	10.075	16.727	***	0,80	1,49	3,47	2,48

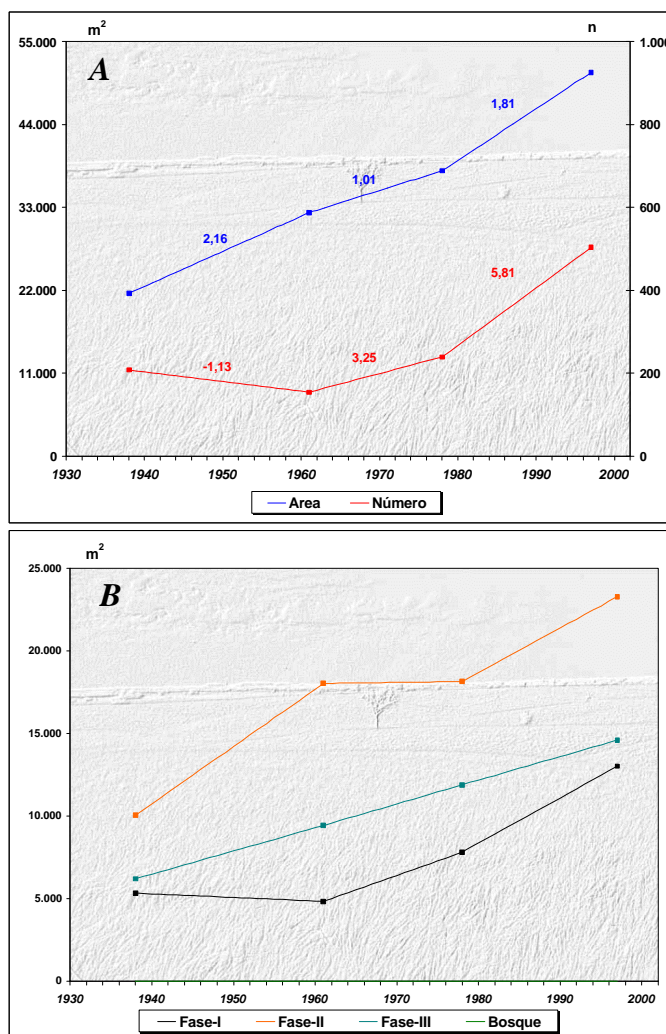


Figura II.37. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_{III} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.30. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el canal de explayamiento (LL_1) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; * $P<0,001$).**

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_1				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	394	237	383	870	**	-1,73	3,62	6,69	2,05
	Fase-II	44	81	94	77	*	3,66	0,94	-0,95	1,27
	Fase-III	2	2	3	5	ns	0,00	2,94	3,51	2,54
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		440	320	480	952	***	-1,19	2,94	5,18
Área (m^2)	Fase-I	12.515	10.862	16.211	25.169	***	-0,57	2,90	2,91	1,71
	Fase-II	8.571	16.170	20.983	14.995	*	3,85	1,75	-1,50	1,27
	Fase-III	4.337	6.292	11.102	16.168	ns	1,96	4,50	2,40	4,62
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		25.423	33.324	48.296	56.332	**	1,35	2,64	0,88
Perímetro (m)	Fase-I	8.514	6.177	9.680	17.841	***	-1,19	3,34	4,44	1,86
	Fase-II	2.518	4.591	5.656	4.384	*	3,58	1,36	-1,18	1,26
	Fase-III	763	774	1.088	1.470	ns	0,06	2,38	1,85	1,57
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		11.795	11.542	16.424	23.695	**	-0,09	2,49	2,33

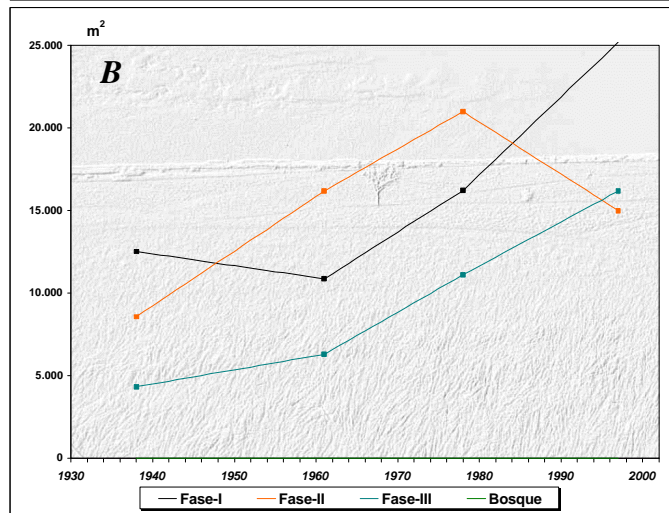
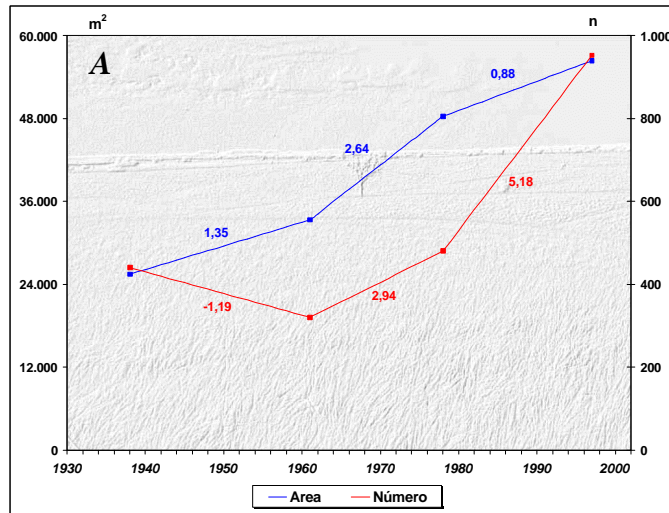


Figura II.38. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_1 en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.31. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *abanico de explayamiento* (LL_{II}) y el *incremento relativo anual* (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_{II}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	946	740	996	2.023	**	-0,95	2,03	5,43	1,93
	Fase-II	99	260	265	246	ns	7,07	0,11	-0,38	2,52
	Fase-III	7	9	22	18	ns	1,24	8,50	-0,96	2,66
	Bosque	2	2	6	7	ns	0,00	11,76	0,88	4,24
	Total		1.054	1.011	1.289	2.294	**	-0,18	1,62	4,10
Área (m^2)	Fase-I	30.179	33.393	42.743	62.537	***	0,46	1,65	2,44	1,82
	Fase-II	22.375	58.425	59.428	56.726	**	7,00	0,10	-0,24	2,60
	Fase-III	12.739	37.839	45.755	60.803	ns	8,57	1,23	1,73	6,39
	Bosque	100.199	131.232	197.489	186.578	ns	1,35	2,97	-0,29	1,46
	Total		165.492	260.888	345.415	366.644	**	2,51	1,91	0,32
Perímetro (m)	Fase-I	20.596	19.465	25.460	42.916	***	-0,24	1,81	3,61	1,84
	Fase-II	6.200	15.882	16.033	15.399	*	6,79	0,06	-0,21	2,51
	Fase-III	1.722	4.091	5.447	7.005	ns	5,98	1,95	1,51	5,20
	Bosque	2.486	3.418	7.208	7.671	ns	1,63	6,52	0,34	3,54
	Total		31.004	42.855	54.149	72.990	***	1,66	1,55	1,83

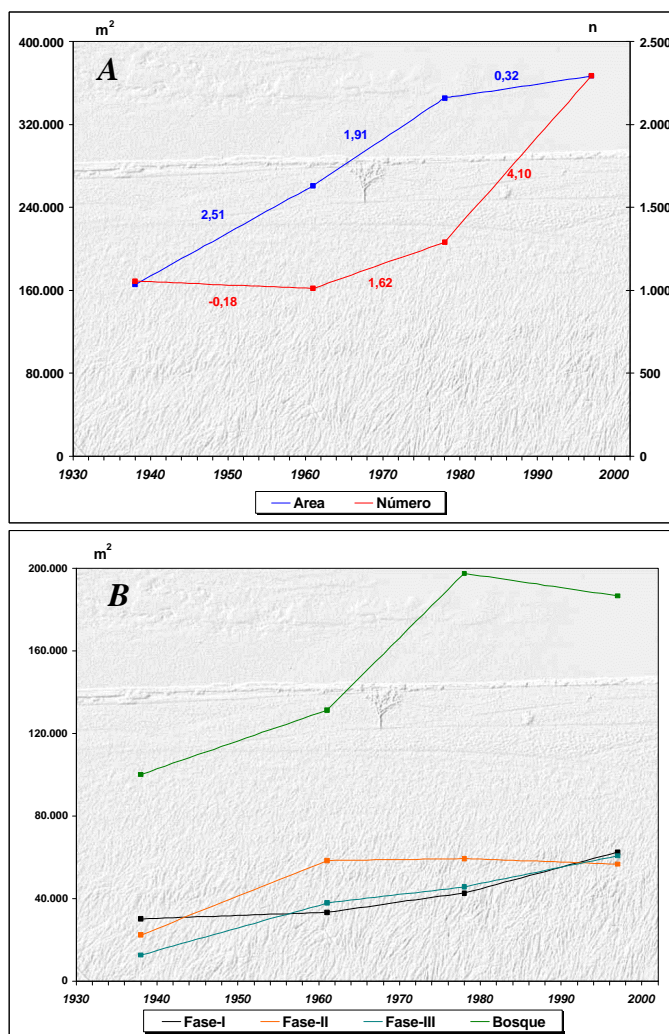


Figura II.39. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{II} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.32. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la *llanura coluvial (LL_{III})* y el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL _{III}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	464	299	424	883	**	-1,55	2,46	5,70	1,53
	Fase-II	78	173	181	178	ns	5,30	0,27	-0,09	2,17
	Fase-III	10	10	11	17	ns	0,00	0,59	2,87	1,19
	Bosque	2	1	1	4	ns	-2,17	0,00	15,79	1,69
	Total		554	483	617	1.082	**	-0,56	1,63	3,97
Área (m ²)	Fase-I	11.255	15.568	18.950	30.267	***	1,67	1,28	3,14	2,86
	Fase-II	17.514	45.498	43.274	42.543	**	6,95	-0,29	-0,09	2,42
	Fase-III	23.660	20.693	37.556	38.114	ns	-0,55	4,79	0,08	1,04
	Bosque	187.671	363.909	436.813	540.504	ns	4,08	1,18	1,25	3,19
	Total		240.099	445.668	536.593	651.429	*	3,72	1,20	1,13
Perímetro (m)	Fase-I	8.850	8.556	11.074	20.117	***	-0,14	1,73	4,30	2,16
	Fase-II	4.965	11.405	10.948	11.417	*	5,64	-0,24	0,23	2,20
	Fase-III	2.530	2.645	3.867	4.453	ns	0,20	2,72	0,80	1,29
	Bosque	7.050	10.123	10.219	16.153	ns	1,90	0,06	3,06	2,19
	Total		23.396	32.730	36.109	52.140	***	1,73	0,61	2,34

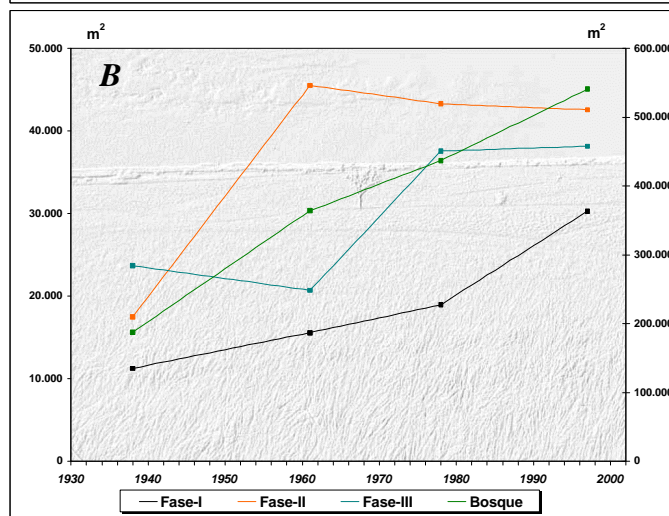
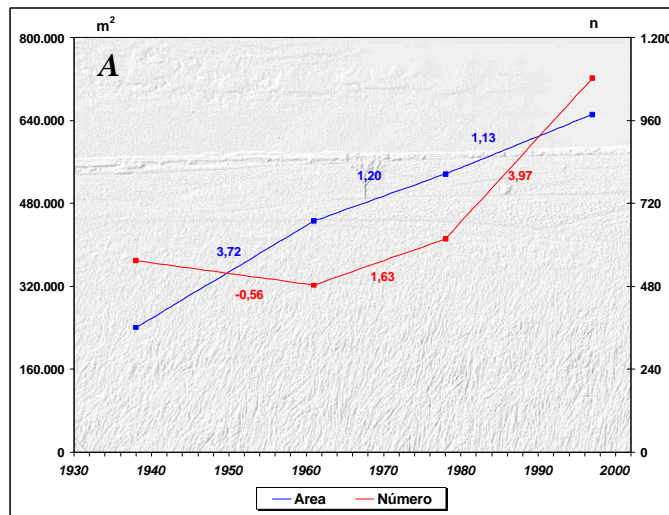


Figura II.40. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{III} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas es el IRA para cada serie. Fase-Bosque sobre eje y2.

Tabla II.33. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la llanura de erosión (LL_{IV}) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en LL_{IV}				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	111	147	232	552	**	1,41	3,40	7,26	6,73
	Fase-II	10	47	79	58	ns	16,09	4,01	-1,40	8,14
	Fase-III	0	5	8	3	ns		3,53	-3,29	
	Bosque	0	0	0	2					
	Total		121	199	319	615	**	2,80	3,55	4,88
Área (m^2)	Fase-I	2.583	6.959	11.266	17.213	***	7,37	3,64	2,78	9,60
	Fase-II	2.764	9.846	17.691	12.279	**	11,14	4,69	-1,61	5,84
	Fase-III	0	8.326	27.341	5.975	ns		13,44	-4,11	
	Bosque	0	0	0	27.783					
	Total		5.347	25.130	56.298	63.250	***	16,09	7,30	0,65
Perímetro (m)	Fase-I	2.039	3.963	6.299	12.028	***	4,10	3,47	4,79	8,30
	Fase-II	711	2.743	4.556	3.312	*	12,43	3,89	-1,44	6,20
	Fase-III	0	1.187	2.890	681	ns		8,44	-4,02	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		2.750	7.893	13.745	16.021	***	8,13	4,36	0,87

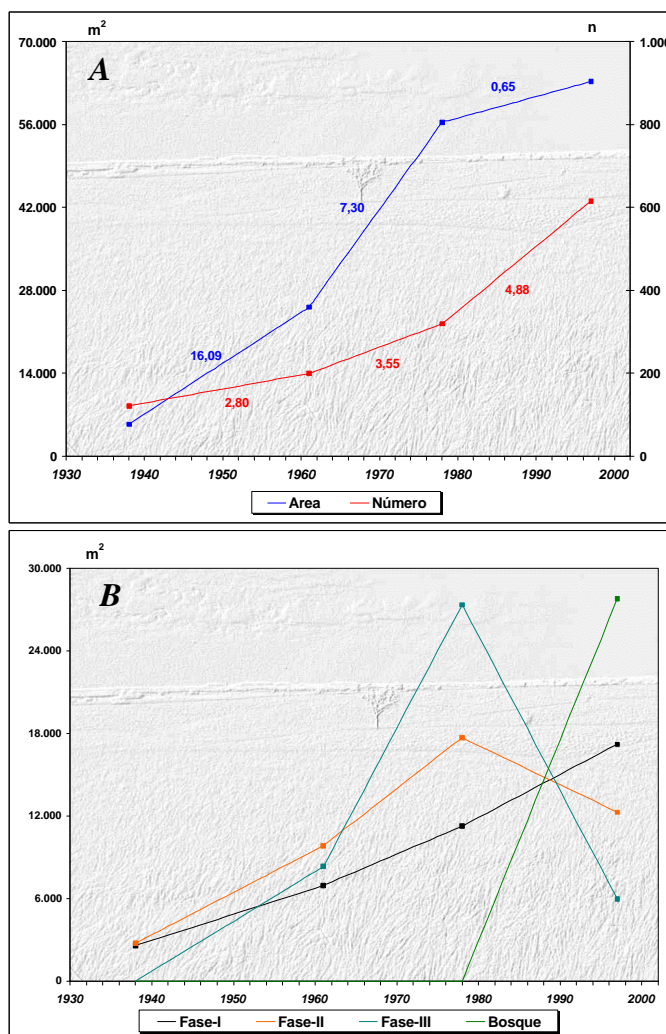


Figura II.41. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para LL_{IV} en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.34. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la zona de transición afloramiento alto-canal de explayamiento (A_T-LL_1) y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P<0,05$; ** $P<0,01$; * $P<0,001$).**

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en A_T-LL_1				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	65	43	93	163	***	-1,47	6,84	3,96	2,56
	Fase-II	10	25	32	32	ns	6,52	1,65	0,00	3,73
	Fase-III	0	0	1	5	ns			21,05	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		75	68	126	200	***	-0,41	5,02	3,09
Área (m ²)	Fase-I	2.268	2.159	4.314	6.263	***	-0,21	5,87	2,38	2,99
	Fase-II	2.238	5.222	6.769	8.554	*	5,80	1,74	1,39	4,78
	Fase-III	0	0	1.557	9.153	ns			25,68	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		4.506	7.381	12.640	23.970	***	2,77	4,19	4,72
Perímetro (m)	Fase-I	1.482	1.209	2.504	3.864	***	-0,80	6,30	2,86	2,72
	Fase-II	657	1.423	1.882	2.156	ns	5,07	1,90	0,77	3,87
	Fase-III	0	0	155	1.034	ns			29,86	
	Bosque	0	0	0	0					
	Total		2.139	2.632	4.540	7.054	***	1,00	4,26	2,91

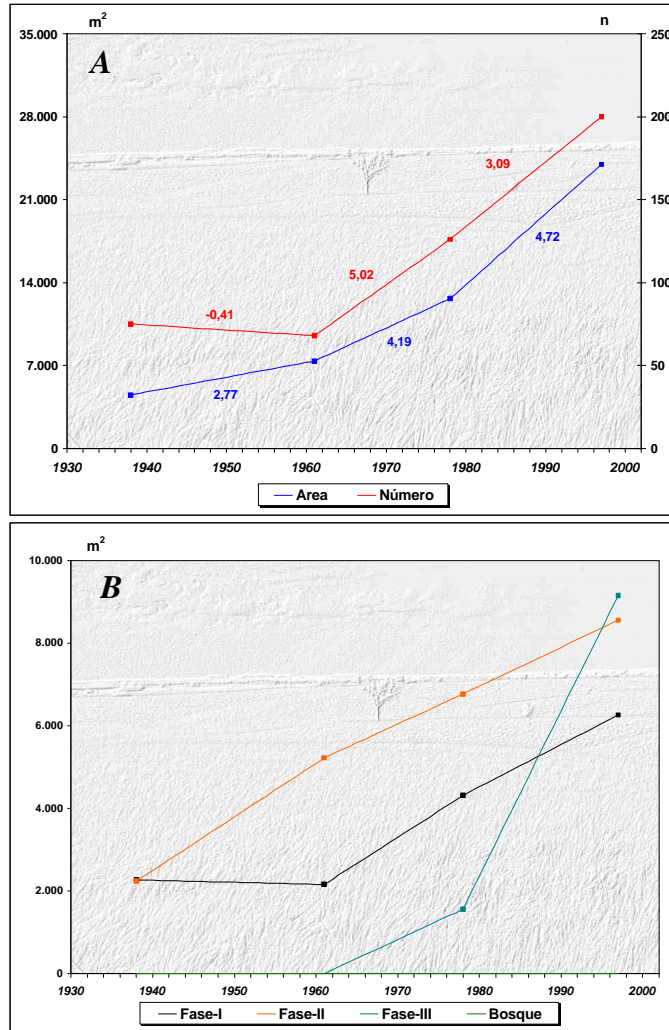


Figura II.42. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para A_T-LL_1 en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Tabla II.35. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la zona de transición afloramiento bajo-llanura coluvial ($A_{III-LL_{III}}$) el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en $A_{III-LL_{III}}$				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	9	4	5	11	ns	-2,42	1,47	6,32	0,38
	Fase-II	11	11	8	9	ns	0,00	-1,60	0,66	-0,31
	Fase-III	3	7	5	5	ns	5,80	-1,68	0,00	1,13
	Bosque	0	1	1	2	ns		0,00	5,26	
	Total	23	23	19	27	ns	0,00	-1,02	2,22	0,29
Área (m^2)	Fase-I	406	309	285	498	ns	-1,04	-0,45	3,92	0,39
	Fase-II	3.324	4.546	3.381	2.159	ns	1,60	-1,51	-1,90	-0,59
	Fase-III	11.970	14.191	19.513	11.447	ns	0,81	2,21	-2,18	-0,07
	Bosque	0	15.051	39.192	62.944	ns		9,43	3,19	
	Total	15.700	34.097	62.372	77.048	ns	5,09	4,88	1,24	6,62
Perímetro (m)	Fase-I	233	141	143	289	ns	-1,72	0,09	5,39	0,41
	Fase-II	864	940	639	574	ns	0,38	-1,88	-0,54	-0,57
	Fase-III	1.112	1.693	1.618	1.065	ns	2,27	-0,26	-1,80	-0,07
	Bosque	0	1.440	2.694	3.559	ns		5,12	1,69	
	Total	2.208	4.214	5.094	5.487	ns	3,95	1,23	0,41	2,52

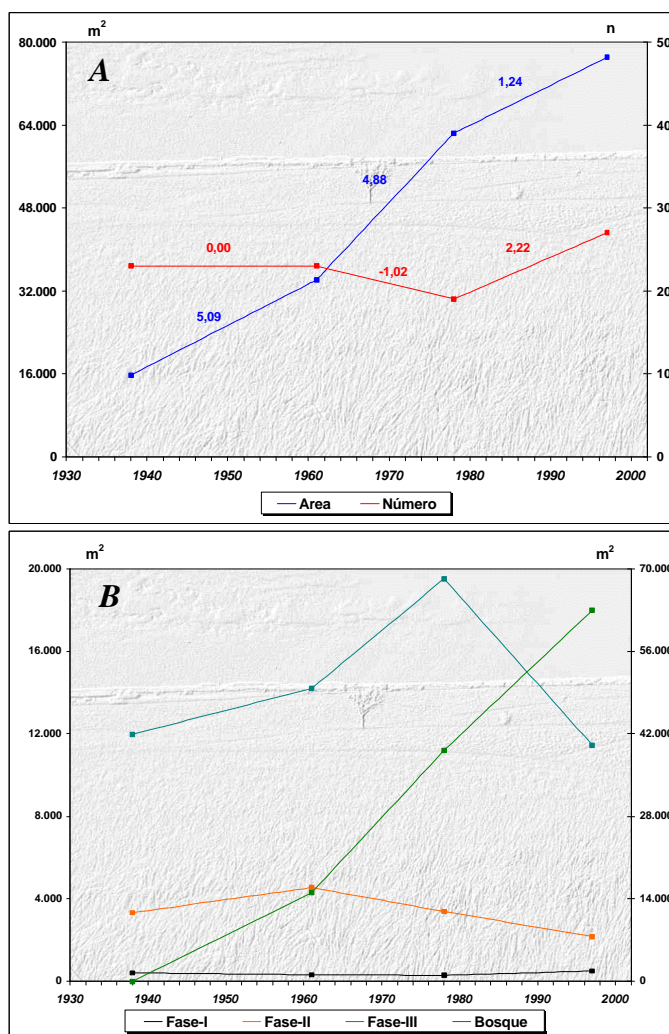


Figura II.43. Dinámica temporal para el número y el área global (A) y del área por fases (B) para $A_{III-LL_{III}}$ en los 59 años del análisis. Los números en las líneas es el IRA para cada serie. Fase-Bosque sobre eje y2.

En la Tabla II.27 y la Figura II.35, se observa que, producto de la dinámica de los polígonos de cobertura de $<100 \text{ m}^2$, la forma de relieve *afloramientos altos*, A_I , presenta una dinámica temporal con tendencia lineal al incremento significativo de sus variables poligonales ($P<0,01$). Esto resulta en un **IRA** medio del área de los polígonos *Fase-I* de 3,82%. Este valor lo alcanza luego de partir de una disminución en el **IRA** del $-0,44 \%$ en el lapso *1938-1961*, y un incremento de $8,45 \%$ y $2,56 \%$ para las series *1961-1978* y *1978-1997*, respectivamente. Esta tendencia se repite para las variables número y perímetro de esta *fase* para esta *forma de relieve*. Por otro lado, para la *Fase-II*, la diferencia entre las medias de las variables poligonales pierde significación, esto a pesar de lograr un **IRA** por serie sostenidamente positivo y un **IRA** medio de $4,92 \%$. En la *forma de relieve* A_I no se detectó la presencia de polígonos en *Fase-III* y *Fase-Bosque*.

Al igual que para la forma de relieve anterior, producto de un incremento lineal de los polígonos *Fase-I*, la dinámica temporal del *afloramiento medio* A_{II} es significativa ($P<0,05$) (ver Tabla II.28 y Figura II.36). El **IRA** medio de la cobertura es de $3,28\%$ y lo alcanza a través de una dinámica temporal donde el número de polígonos se reduce inicialmente (*1938-1961*= $-1,67\%$) para luego incrementarse en el resto de la serie.

El incremento lineal en la cobertura de leñosas se manifiesta nuevamente para la siguiente forma de relieve, el *afloramiento bajo* A_{III} (ver Tabla II.29 y Figura II.37). Para los polígonos presentes en estos afloramientos, los de *Fase-I* y *Fase-II* establecen una significación ($P<0,05$) en la dinámica temporal tanto para el *área* como el *perímetro* de la cobertura leñosa. El *número*, por otro lado, presenta dinámica significativa sólo para aquellos polígonos $<100 \text{ m}^2$ (*Fase-I*). Tanto el *número*, *área* y *perímetro* de los polígonos de *Fase-I* de A_{III} experimentan un descenso en sus valores entre *1938* y *1961*, esto luego se revierte de forma significativa ($P<0,05$) en las dos siguientes series, logrando estas variables poligonales alcanzar un **IRA** medio de $2,43$, $2,44$ y $2,52\%$, respectivamente. La dinámica temporal de los polígonos entre 100 y 1.000 m^2 , de *Fase-II*, presentó un **IRA** constantemente positivo logrando el *área* y el *perímetro* experimentar incrementos anuales de $2,23\%$ y $2,41\%$, respectivamente.

Con respecto a las formas de relieve con dinámica hídrica de deposición (*run-on*), el *canal de explayamiento* LL_I , presenta una dinámica temporal significativa ($P<0,05$) para las dos primeras *fases* (*Fase-I* y *Fase-II*) del *número*, *área* y *perímetro* de los polígonos de cobertura de leñosas (Tabla II.30 y Figura II.38). Luego de un decrecimiento inicial (*1938-*

1961) en los valores poligonales de **Fase-I**, el **IRA** para 1961-1978 y 1978-1997 se torna sensiblemente positivo, especialmente para el último lapso. Lo inverso ocurre con los polígonos entre 100-1.000 m² de cobertura (**Fase-II**); aún cuando el **IRA** medio de las variables es positivo, los valores muestran una reducción importante a lo largo de la serie de 59 años.

La dinámica temporal total en los *abanicos de explayamiento*, **LL_{II}**, es significativa ($P < 0,01$) en sus variables poligonales. Si bien en esta *forma de relieve* se presentan polígonos de leñosas en todas las *fases*, son los de **Fase-I** y **Fase-II** las que presentan significación estadística en el incremento de sus valores ($P < 0,05$). Esto último es especialmente cierto para la dinámica temporal del *área* y el *perímetro* de los polígonos, y de éstos, los de cobertura < 100 m² (**Fase-I**) (ver Tabla II.31 y Figura II.39). Al igual que para **LL_I**, a pesar de presentar un **IRA** medio positivo, la cobertura que generan los polígonos **Fase-II** experimentan una reducción a la largo de la serie de años. En conjunto, es decir, considerando todas las *fases*, el **IRA** total para el *número* de polígonos es negativo para el primer lapso (1938-1961); luego se torna sensiblemente positivo. El **IRA** medio resultante es en todo caso positivo: **IRA número** = 1,99%, **IRA área** = 2,06% e **IRA perímetro** = 2,30%.

Para las *llanuras coluviales* (**LL_{III}**), la dinámica temporal de la cobertura es también significativa ($P < 0,05$). En el caso del *área* y del *perímetro*, los polígonos **Fase-I** y **Fase-II** son los que originan la mayor variabilidad; mientras que para el *número*, sólo los de **Fase-I** muestran significación en la variabilidad temporal de sus valores ($P < 0,01$). Para las tres variables poligonales, el **IRA** de los polígonos **Fase-I** tiende a incrementarse con el tiempo; mientras que en los de **Fase-II** ocurre una reducción. Al considerar la globalidad de datos, es decir todas las *fases*, el **IRA** medio para cualquier variable poligonal es positivo.

En las *llanuras de erosión*, **LL_{IV}** (Tabla II.33 y Figura II.41), los polígonos presentan la dinámica temporal total muy importante, no solo por su significación ($P < 0,001$) sino por el elevado **IRA** medio alcanzado por las variables poligonales: 6,92 % para el *número* de polígonos; 18,36 % para el *área* de cobertura y 8,18 % para el *perímetro*. Esto se logra a través de la dinámica de las *fases* **Fase-I** y **Fase-II**, casi de forma exclusiva.

En el caso de la forma de transición **A_I-LL_I**, la dinámica temporal total de todas las variables poligonales muestra diferencias significativas a través de un incremento lineal de sus valores ($P < 0,001$) (ver Tabla II.34 y Figura II.42). Con respecto a las *fases*, **Fase-I** presenta significación para el *número*, *área* y *perímetro* de polígonos ($P < 0,001$). La dinámica para

Fase-II, sólo es significativa para el área de cobertura ($P < 0,05$). Para todas las variables poligonales en **Fase-I**, se observa una disminución del **IRA** para el lapso 1938-1961. Esto luego se revierte y para las dos siguientes series (1961-1978, 1978-1997), el **IRA** se torna positivo, resultando en un **IRA** medio (1938-1997) también positivo.

La otra forma de transición, **A_{III}-LL_{III}**, presentó una población total de 92 polígonos distribuidos en las diferentes *fases* y series; y a pesar que presenta un **IRA** medio para la cobertura de 6,62%, ninguna de las variables poligonales en ninguna de las series, presentan significación en su dinámica temporal ($P > 0,05$) (Tabla II.35 y Figura II.43).

A modo de resumen de lo expuesto anteriormente, las Tabla II.36 y II.37 y la Figura II.44 presentan los **IRA** por serie de años (1938-1961, 1961-1978, 1978-1997) y medio (1938-1997) que se generan por variaciones temporales en los valores de *número* y *área* de los polígonos de cobertura.

Tabla II.36. IRA por serie de años (1938-1961, 1961-1978, 1978-1997) y medio (1938-1997) que se generan por variaciones temporales en los valores de *número* y *área* de los polígonos de cobertura.

Forma	Número				IRA (%)			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
A_I	423	241	552	1.011	-1.87	7.59	4.38	2.36
A_I-LL_I	75	68	126	200	-0.41	5.02	3.09	2.82
LL_I	440	320	480	952	-1.19	2,94	5.18	1.97
A_{II}	118	94	164	282	-0.88	4.38	3.79	2.36
LL_{II}	1.054	1.011	1.289	2.294	-0.18	1.62	4.10	1.99
A_{III}	208	154	239	503	-1.13	3.25	5.81	2.40
A_{III}-LL_{III}	23	23	19	27	0.00	-1.02	2.22	0.29
LL_{III}	554	483	617	1.082	-0.56	1,63	3.97	1.62
LL_{IV}	121	199	319	615	2.80	3.55	4.88	6.92
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	-0,61	2,75	4,37	2,22

Forma	Área (m ²)				IRA (%)			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
A_I	9.731	11.583	24.132	33.414	0.83	6.37	2.02	4.12
A_I-LL_I	4.506	7.381	12.640	23.970	2.77	4.19	4.72	7.32
LL_I	25.423	33.324	48.296	56.332	1.35	2.64	0.88	2.06
A_{II}	3.082	7.036	8.489	9.041	5.58	1.21	0.34	3.28
LL_{II}	165.492	260.888	345.415	366.644	2,51	1.91	0,32	2,06
A_{III}	21.579	32.284	37.838	50.882	2.16	1.01	1.81	2.30
A_{III}-LL_{III}	15.700	34.097	62.372	77.048	5.09	4.88	1.24	6.62
LL_{III}	240.099	445.668	536.593	651.429	3.72	1.20	1.13	2.90
LL_{IV}	5.347	25.130	56.298	63.250	16.09	7.30	0.65	18.36
Total	490.959	857.391	1.132.073	1.332.010	3,25	1,88	0,93	2,90

Tabla II.37. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para el *Área de Estudio* y el *incremento relativo anual (IRA)* que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación de la diferencia entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en <i>Área de Estudio</i>				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	2.687	1.848	2.950	6.153	**	-1,36	3,51	5,71	2,19
	Fase-II	299	703	792	737	ns	5,87	0,74	-0,37	2,48
	Fase-III	26	38	55	61	ns	2,01	2,63	0,57	2,28
	Bosque	4	4	8	15	ns	0,00	5,88	4,61	4,66
	Total		3.016	2.593	3.805	6.966	**	-0,61	2,75	4,37
Área (m ²)	Fase-I	75.674	85.058	125.578	188.356	***	0,54	2,80	2,63	2,52
	Fase-II	68.504	165.371	178.288	169.587	***	6,15	0,46	-0,26	2,50
	Fase-III	58.911	96.770	154.712	156.259	**	2,79	3,52	0,05	2,80
	Bosque	287.870	510.192	673.495	817.809	ns	3,36	1,88	1,13	3,12
	Total		490.959	857.392	1.132.073	1.332.011	**	3,25	1,88	0,93

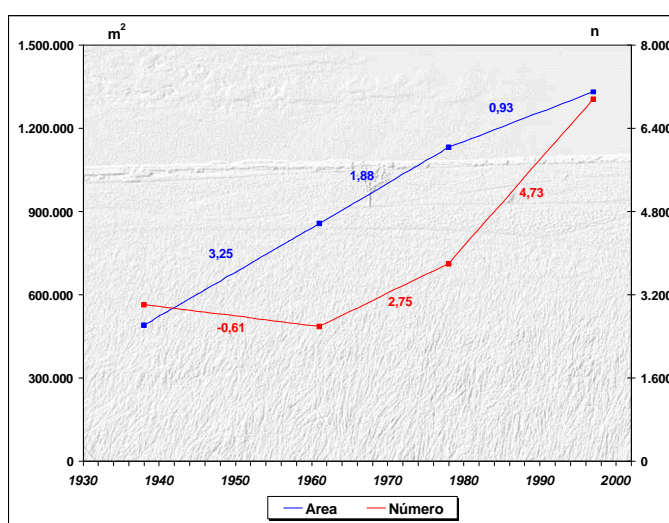


Figura II.44. Dinámica temporal global para el número y el área de cobertura en el *Área de Estudio* en los 59 años del análisis. Los números en las líneas representan los valores de IRA para cada serie.

Se observa que para los primeros 23 años (serie 1938-1961) ocurre una reducción generalizada de $-0,61\%$ anual en el número de polígonos; donde sólo la forma de relieve LL_{IV} logra un incremento en sus valores y $A_{III-LL_{III}}$ los mantiene invariables. A pesar de esto, para la misma serie, ocurre un incremento generalizado en el área de cobertura de las leñosas ($+3,25\%$ /año). A excepción de una reducción en los valores de la forma de transición $A_{III-LL_{III}}$ para la serie 1961-1978, se puede afirmar que, partir de 1961, ocurre un incremento generalizado e importante en el número de polígonos como en el área de cobertura. Esto resulta en un **IRA** medio positivo para los 59 años (1938-1997) y para cualquier forma de relieve, tanto en el número de polígonos ($+2,22\%$ /año) como en el área de cobertura ($+2,90\%$ /año). En el caso del número de polígonos son los de $<100\text{ m}^2$ (*Fase-I*) los que regulan esta dinámica, y los de hasta 10.000 m^2 (*Fase-I*, *Fase-II* y *Fase-III*) en el caso del área de cobertura.

Al ser ordenadas las formas de relieve según su ubicación dentro del gradiente altimétrico presente en el área de estudio se observa un comportamiento diferencial tanto en el **IRA** medio (1938-1997) del *número* y *área* de las *formas* (Figura II.45), como en el **IRA** por serie anual (Figura II.46).

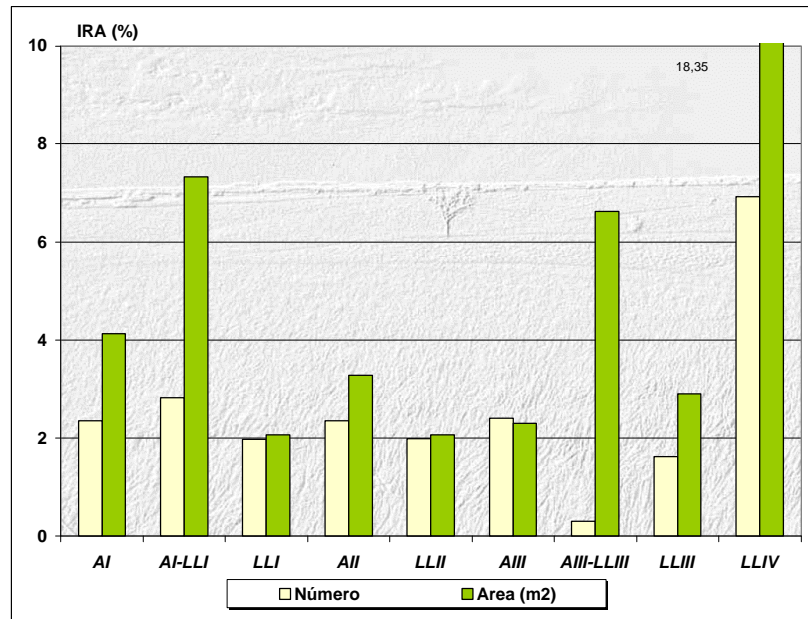


Figura II.45. IRA medio (1938-1997) para el *número* de polígonos y el *área* de cobertura de leñosas expresado en la secuencia de formas de relieve que corresponde al gradiente altimétrico observado en el área de estudio.

Si bien se observa que los valores máximos en el **IRA** medio del área de cobertura se tienen para las formas ubicadas en los extremos del gradiente altimétrico así como en las zonas de transición, las formas de relieve con dinámica hídrica de *run-off* tienden a presentar un **IRA** medio, tanto para el *número* como el *área* de polígonos, superior al de las formas de relieve planas, *run-on*. En las zonas de transición, el **IRA** medio para el número de polígonos se ubica intermedio entre las formas que lo originan, pero el incremento en el área de cobertura muestra un **IRA** medio muy superior al que se manifiesta en las formas de relieve contiguas. Para el lapso entre 1938-1961, las formas de relieve *run-off* presentaron una reducción sensiblemente mayor en el número de polígonos que en las formas de *transición* y de *run-on*. Con respecto al área de cobertura, durante este lapso las formas de transición presentaron el **IRA** más elevado, seguido por las formas de *run-on*. Durante la siguiente serie, 1961-1978, las formas de relieve de *run-off* presenta la mayor dinámica en lo que respecta al incremento en el número de polígonos de cobertura. Globalmente, a estas le siguen las de

transición, específicamente A_I-LL_I con un incremento de 5,02%/año. Tanto para las zonas de *transición* como para las formas de *run-off*, es durante esta serie que se presentan los máximos valores de incremento relativo en el área de cobertura de leñosas, siendo éste intermedio en el caso de los relieves bajos, *run-on*. Para la última serie considerada, 1978-1997, las formas de *run-on* logran un valor máximo en el **IRA** para el número de polígonos. Esta tendencia también se presenta en las formas *run-off*. Entre las tres series consideradas, 1978-1997 presenta el menor incremento relativo global en el área de cobertura de las formas de *run-on*, *run-off* y *transición*. Esta dinámica espacio-temporal se aprecia en la Tabla II.38 que resume los **IRA** que resultan de englobar las formas de relieve según su régimen hídrico dominante.

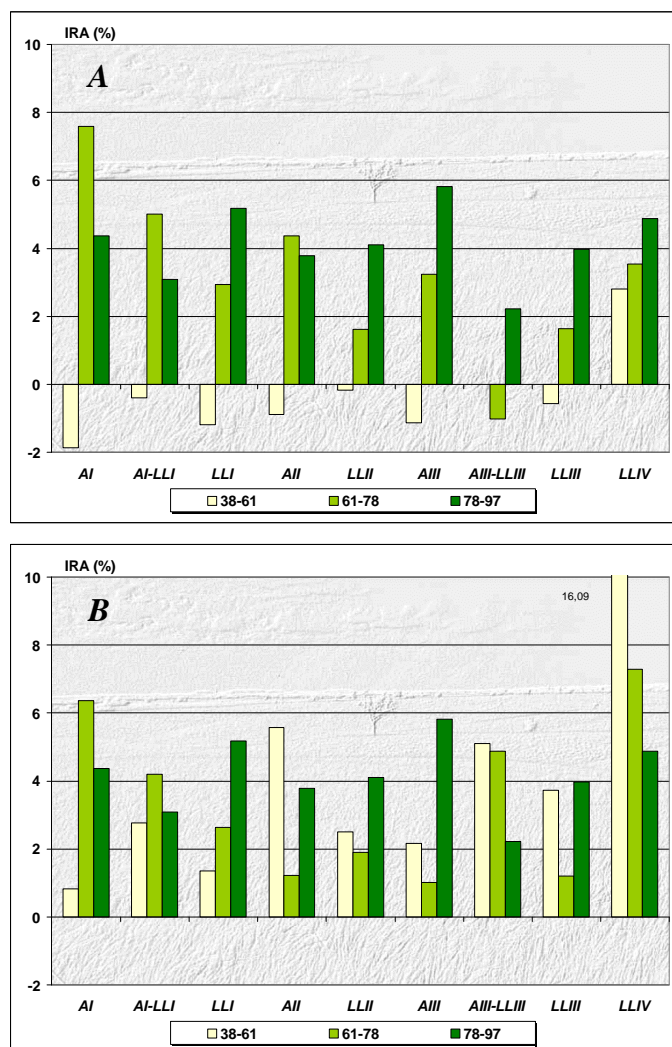


Figura II.46. Dinámica temporal del IRA (por series anuales) para el número de polígonos (A) y el área de cobertura de leñosas (B) expresado en la secuencia de formas de relieve que corresponde al gradiente altimétrico observado en el área de estudio.

Tabla II.38. Variación temporal en los valores de las variables poligonales y el *incremento relativo anual* (IRA) para las formas de relieve presentes en el *Área de Estudio* agrupadas de acuerdo a su dinámica hídrica de *run-off*, *run-on* y de *transición*.

Forma de Relieve	Numero				IRA			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
<i>Run-off</i>	749	489	955	1.796	-1.51	5.61	4.63	2.37
<i>Run-on</i>	2.169	2.013	2.705	4.943	-0.31	2.02	4.35	2.17
<i>Transición</i>	98	91	145	227	-0.31	3.49	2.98	2.23
Total	3.016	2.593	3.805	6.966	-0.61	2.75	4.37	2.22

Forma de Relieve	Area (m ²)				IRA			Medio
	1938	1961	1978	1997	38-61	61-78	78-97	
<i>Run-off</i>	34.392	50.903	70.459	93.337	2.09	2.26	1.71	2.90
<i>Run-on</i>	436.361	765.010	986.602	1.137.655	3.27	1.70	0.81	2.72
<i>Transición</i>	20.206	41.478	75.012	101.018	4.58	4.76	1.82	6.78
Total	490.959	857.391	1.132.073	1.332.010	3.25	1.88	0.93	2.90

II.3.3.3.2.1. *Persistencia* de la cobertura

Otro aspecto importante a ser considerado en la dinámica temporal de la cobertura de leñosas es la *persistencia*. Esta se obtienen al intersectar, para una misma *unidad de muestreo*, los polígonos de leñosas de un año entre los de la siguiente misión. Es decir, la intersección secuencial del conjunto de cuatro representaciones de las Figuras II.11 a la II.20. La Tabla II.39 expresa los valores de persistencia en el área de cobertura de leñosas para las series *1938-1961*, *1961-1978* y *1978-1997*.

Tabla II.39. Valores de persistencia del área de cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve y series. La columna *A* expresa, en m², el área intersectada entre los años que conforman la serie; la columna *B* presenta el porcentaje que corresponde a una forma de relieve del área total intersectado en la serie; la columna *C*, el área de cobertura de leñosas para el inicio de la serie anual (ver valores para *área* en las Tablas II.18 a la II.26); y la columna *D*, el porcentaje intersectado del área original (% de *t-1*).

Forma de Relieve	1938-1961				1961-1978				1978-1997			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
	área (m ²)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938	área (m ²)	área (%)	área 1961 (m ²)	% de 1961	área (m ²)	área (%)	área 1978 (m ²)	% de 1978
A_I	2.068	0,5	9.731	21,3	3.839	0,5	11.583	33,1	9.890	1,2	24.132	41,0
A_ILL_I	1.175	0,3	4.506	26,1	1.878	0,3	7.381	25,4	5.108	0,6	12.640	40,4
LL_I	12.265	2,9	25.423	48,2	16.774	2,4	33.324	50,3	21.875	2,6	48.296	45,3
A_{II}	629	0,1	3.082	20,4	2.352	0,3	7.036	33,4	4.689	0,5	8.489	55,2
LL_{II}	138.011	32,7	165.492	83,4	201.508	28,8	260.888	77,2	205.837	24,0	345.415	59,6
A_{III}	19.197	4,6	21.579	89,0	22.820	3,3	32.284	70,7	28.289	3,3	37.839	74,8
A_{III}LL_{III}	14.443	3,4	15.700	92,0	30.851	4,4	34.097	90,5	56.875	6,6	62.372	91,2
LL_{III}	233.538	55,4	240.099	97,3	404.097	57,8	445.668	90,7	490.279	57,3	536.593	91,4
LL_{IV}	219	0,1	5.347	4,1	15.228	2,2	25.130	60,6	33.169	3,9	56.298	58,9
Total	421.547	100,0	490.959	85,9	699.346	100,0	857.392	81,6	856.009	100,0	1.132.073	75,6

Al tomar en cuenta la variación temporal en los valores de la columna *A* se observa que existe una tendencia lineal significativa al incremento en el área intersectada entre las series anuales ($P < 0,001$). A lo largo de las series anuales los mayores valores de *persistencia* de cobertura de leñosas se presentan en el gradiente que corresponde a la secuencia de las formas de relieve: *LLII*, *AIII*, *AIII-LLIII*, *LLIII* y *LLIV*; con valores que oscilan entre el 60-90% (ver Figura II.47). También se observa un máximo en la *persistencia* de *LLI* relativo a las formas de relieve que le son contiguas.

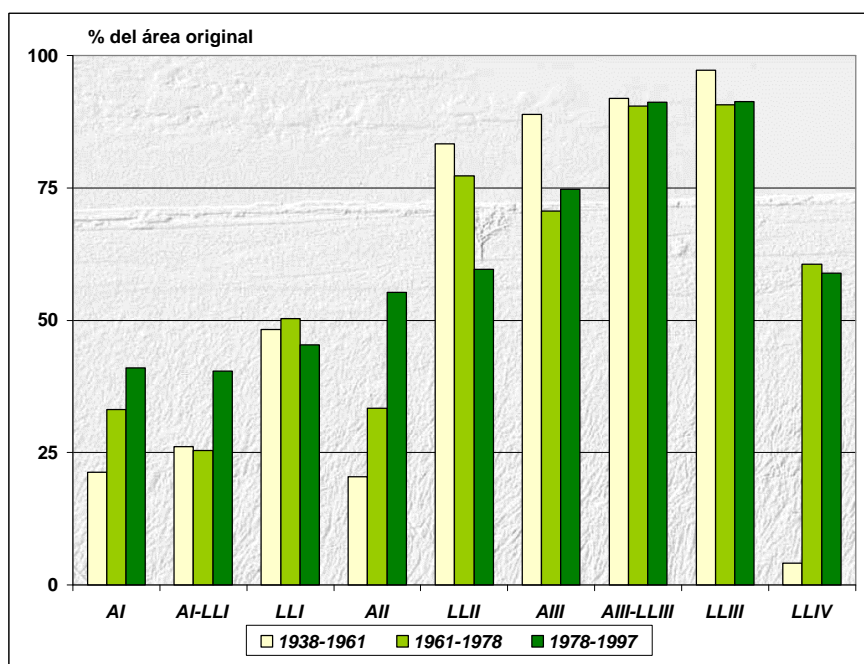


Figura II.47. Porcentaje del total de persistencia de cobertura en las diferentes formas de relieve para las tres series. Datos obtenidos de la columna *D* de la Tabla II.39.

Ahora bien, al considerar la persistencia de la cobertura de leñosas para la serie completa, es decir, los 59 años comprendidos entre 1938 y 1997, se obtiene la Tabla II.40 y la Figura II.48; así como la Figura II.49 que es una representación gráfica de la distribución de los polígonos que resultan de la intersección de la cobertura de 1938 con aquella de 1997. Según la columna *D* de esta tabla, se observa que la mayor persistencia relativa se presenta en la secuencia de las formas de relieve: *LLII*, *AIII*, *AIII-LLIII* y *LLIII*; con valores que van de un mínimo de 38,2% en los *afloramientos bajos* (nivel más alto) y alcanzar un máximo de 98,5% en las *llanuras coluviales* (nivel más bajo). De igual forma, *LLI* presenta un máximo de persistencia entre las cuatro primeras formas de relieve del gradiente. La menor persistencia relativa se tiene para los *afloramientos medios* (*AII*; 5,1%), seguida por las *llanuras de erosión*

(LL_{IV} ; 5,7%), los *afloramientos altos* (A_I ; 6,4%) y por la transición entre los *afloramientos altos* y los *canales de explayamiento* (A_I-LL_I ; 8,1%).

De acuerdo a los valores de la columna A y B de la Tabla II.40 los relieves chatos de las *llanuras coluviales* (LL_{III}) y *abanicos de explayamiento* (LL_{II}) aportan la mayor contribución en la persistencia de la cobertura por parte de las leñosas: 66,6 y 25,4%, respectivamente. Los menores aportes corresponden a las formas de *afloramiento* A_{II} y A_I (0,1 y 0,2%), a la *llanura de erosión* LL_{IV} (0,1%), a la transición entre A_I-LL_I (0,1%) y a los *canales de explayamiento* LL_I (1,3%).

Tabla II.40. Persistencia del área de cobertura total correspondiente a cada *forma de relieve* (columnas A y B) y persistencia de la cobertura original de cada *forma de relieve* (columnas C y D).

Forma de Relieve	1938-1997			
	A	B	C	D
	área (m2)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938
A_I	622,9	0,2	9.731,1	6,4
A_I-LL_I	367,0	0,1	4.505,8	8,1
LL_I	4.792,2	1,3	25.422,7	18,8
A_{II}	156,5	0,0	3.082,0	5,1
LL_{II}	90.119,3	25,4	165.492,3	54,5
A_{III}	8.250,9	2,3	21.578,6	38,2
$A_{III}-LL_{III}$	14.222,2	4,0	15.700,3	90,6
LL_{III}	236.451,7	66,6	240.099,4	98,5
LL_{IV}	306,7	0,1	5.346,7	5,7
Total	355.289,4	100,0	278.993,5	72,4

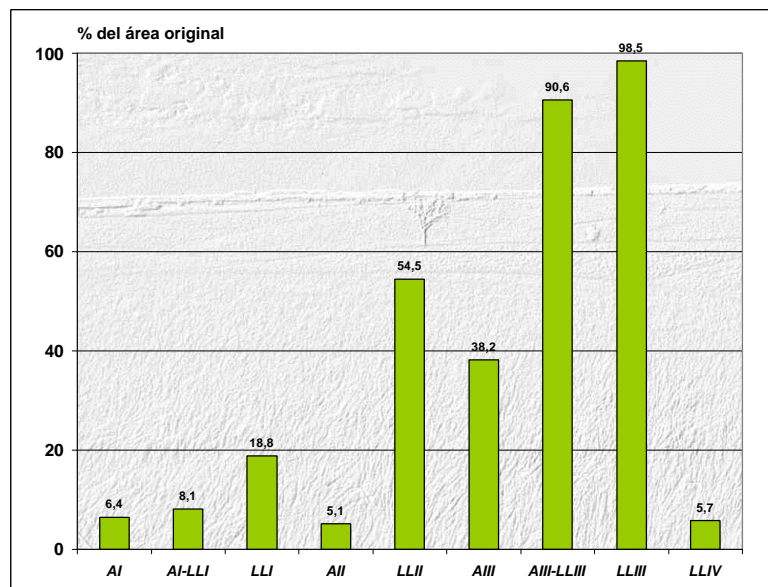


Figura II.48. Porcentaje del total de persistencia para 59 años por parte de las diferentes *formas de relieve*.

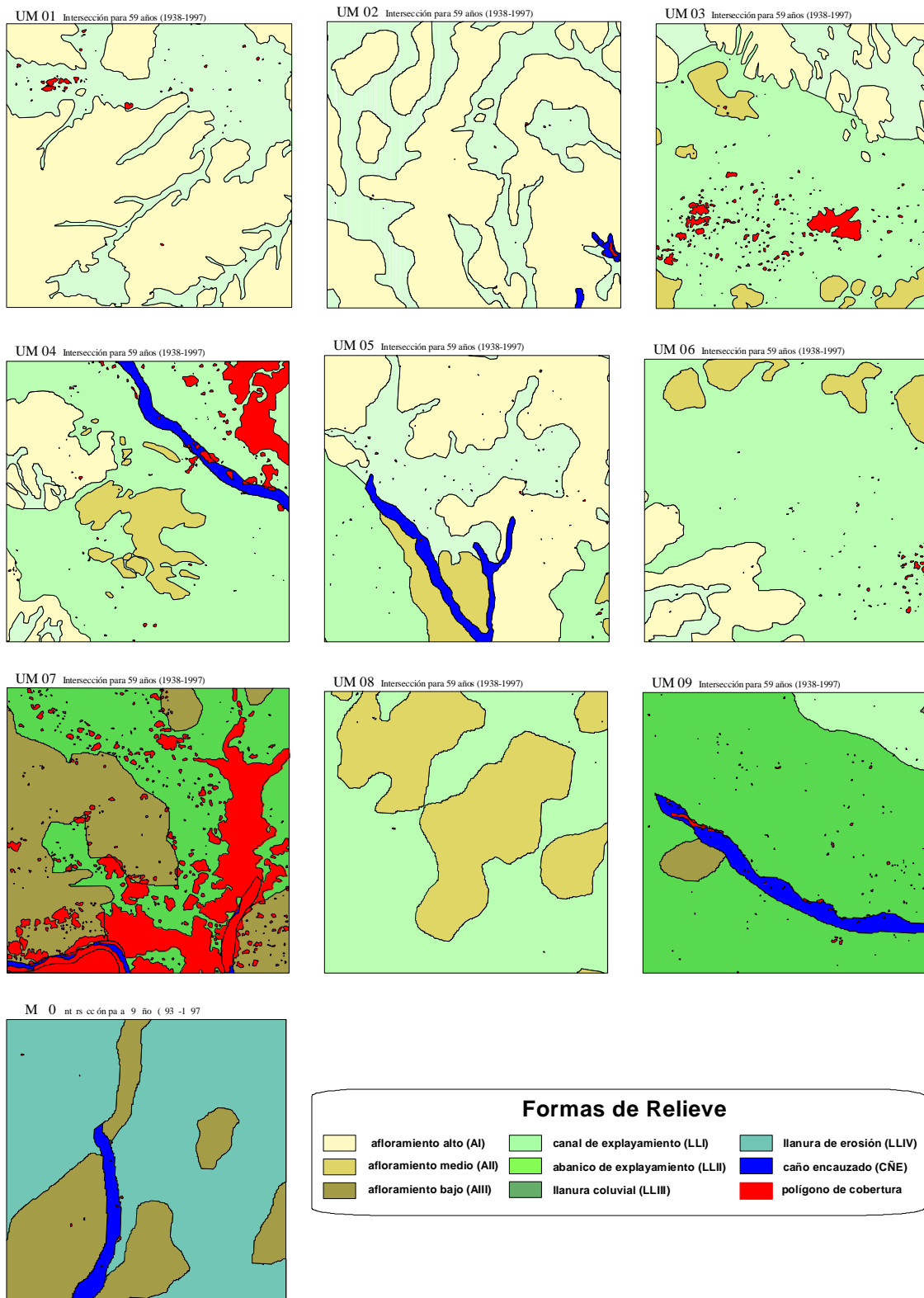


Figura II.49. Persistencia de la cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve de las 10 unidades de muestreo, esto para la serie de 59 años: 1938-1997.

II.3.3.4. Análisis de la dinámica de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías*II.3.3.4.1. Dinámica *espacial*

La fotointerpretación de las galerías en 43 km del cauce de un río presente en el área de estudio para los años 1938, 1961, 1978 y 1997 produjo la serie de Tablas de la II.41 a la II.43 donde se resumen los valores globales para el número, área y perímetro de los 1.455 polígonos discriminados por pertenencia a una forma de relieve, clase de tamaño y *fase*. Según estas tablas, así como la Figura II.50, existe una dinámica espacial de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías* diferenciable ($P>0,01$) si se compara aquella de las formas A_I , A_{II} y LL_I con la de A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , esto tanto para el número, el área como el perímetro. Efectivamente, las *galerías* se concentran en las depresiones y los caños encauzados (*CÑE*) de las *formas de relieve* de poca altura relativa, como son: los *afloramientos bajos* (A_{III}), los *canales de explayamiento* (LL_{II}), y muy especialmente las *llanuras coluviales* (LL_{III}). De las 1.429,4 Ha de cobertura en *galerías*, el 97,7% está presente en A_{III} (15,9%), LL_{II} (17,3%) y LL_{III} (64,5%) (ver Figura II.51).

Tabla II.41. Resumen de los valores de clase de frecuencia y *fase* para el número de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de *galerías*.

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos						Total
	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	
<10 m2	5	4	17	4	11	14	55
10,0-19,9	4	3	6	1	4	3	21
20,0-29,9	3	1	3	1	1	4	13
30,0-39,9	0	2	0	1	4	3	10
40,0-49,9	2	0	1	1	1	0	5
50,0-59,9	3	2	4	2	0	2	13
60,0-69,9	2	3	2	0	5	4	16
70,0-79,9	1	0	3	1	4	3	12
80,0-89,9	1	0	3	2	5	2	13
90,0-99,9	1	1	3	0	1	6	12
100,0-199,9	7	7	40	5	19	26	104
200,0-299,9	5	9	22	1	18	31	86
300,0-399,9	5	5	17	6	22	19	74
400,0-499,9	4	3	14	1	16	18	56
500,0-599,9	4	6	5	3	13	17	48
600,0-699,9	3	1	10	3	12	20	49
700,0-799,9	1	4	7	3	12	11	38
800,0-899,9	4	4	5	3	9	13	38
900,0-999,9	3	0	11	3	10	13	40
1000,0-1999,9	8	8	45	7	64	65	197
2000,0-2999,9	2	5	20	2	36	44	109
3000,0-3999,9	1	5	15	4	26	26	77
4000,0-4999,9	0	5	9	3	21	25	63
5000,0-5999,9	0	4	9	2	13	14	42
6000,0-6999,9	0	0	2	1	13	22	38
7000,0-7999,9	0	1	0	2	6	3	12
8000,0-8999,9	0	1	2	2	7	4	16
9000,0-9999,9	0	0	1	2	7	7	17
>10000,0 m2	0	0	37	4	59	81	181
Total	69	84	313	70	419	500	1.455

Fases	A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	Total
Fase-I	22	16	42	13	36	41	170
Fase-II	36	39	131	28	131	168	533
Fase-III	11	29	103	25	193	210	571
Bosque	0	0	37	4	59	81	181
Total	69	84	313	70	419	500	1.455

Tabla II.42. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el área de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de galerías.

Área de Polígonos							
Clase de Frecuencia	A _I	A _{II}	A _{III}	LL _I	LL _{II}	LL _{III}	Total
<10 m2	24	14	67	17	45	55	221
10,0-19,9	60	41	96	16	72	46	332
20,0-29,9	74	21	81	20	23	104	323
30,0-39,9	0	76	0	33	139	96	345
40,0-49,9	91	0	45	41	45	0	221
50,0-59,9	156	112	227	108	0	104	706
60,0-69,9	126	204	128	0	333	262	1.052
70,0-79,9	77	0	220	71	293	221	882
80,0-89,9	87	0	254	169	424	163	1.096
90,0-99,9	92	93	284	0	97	573	1.139
100,0-199,9	1.117	1.038	5.698	762	2.793	3.910	15.319
200,0-299,9	1.104	2.166	5.513	244	4.448	7.678	21.154
300,0-399,9	1.724	1.692	5.789	2.137	7.594	6.778	25.715
400,0-499,9	1.845	1.434	6.199	423	7.310	8.070	25.282
500,0-599,9	2.128	3.309	2.719	1.572	7.363	9.315	26.406
600,0-699,9	1.942	697	6.456	1.885	7.785	12.904	31.668
700,0-799,9	797	2.915	5.216	2.177	8.959	8.276	28.341
800,0-899,9	3.392	3.409	4.312	2.581	7.751	11.025	32.470
900,0-999,9	2.851	0	10.464	2.870	9.440	12.364	37.988
1000,0-1999,9	11.459	12.033	65.672	10.187	95.796	93.974	289.121
2000,0-2999,9	4.304	11.311	47.680	5.115	87.617	108.949	264.976
3000,0-3999,9	3.326	17.530	50.843	13.604	89.484	91.729	266.516
4000,0-4999,9	0	22.679	39.580	13.135	95.848	110.093	281.336
5000,0-5999,9	0	21.675	48.542	10.679	72.875	75.536	229.307
6000,0-6999,9	0	0	13.769	6.351	83.682	142.665	246.467
7000,0-7999,9	0	7.101	0	14.238	44.702	22.603	88.643
8000,0-8999,9	0	8.730	17.458	16.684	59.705	34.241	136.819
9000,0-9999,9	0	0	9.943	19.108	64.911	65.703	159.665
>10000,0 m2	0	0	1.916.618	52.913	1.716.712	8.393.933	12.080.177
Total	36.775	118.281	2.263.871	177.140	2.476.244	9.221.370	14.293.682

Fases	A _I	A _{II}	A _{III}	LL _I	LL _{II}	LL _{III}	Total
Fase-I	785	562	1.399	476	1.470	1.624	6.316
Fase-II	16.900	16.661	52.367	14.650	63.443	80.320	244.342
Fase-III	19.089	101.058	293.487	109.102	694.618	745.493	1.962.847
Bosque	0	0	1.916.618	52.913	1.716.712	8.393.933	12.080.177
Total	36.775	118.281	2.263.871	177.140	2.476.244	9.221.370	14.293.682

Tabla II.43. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fase para el perímetro de polígonos de cobertura de leñosas en configuración de galerías.

Perímetro de Polígonos							
Clase de Frecuencia	A _I	A _{II}	A _{III}	LL _I	LL _{II}	LL _{III}	Total
<10 m2	81	53	206	85	184	186	795
10,0-19,9	131	75	157	46	135	82	626
20,0-29,9	83	28	76	28	21	157	395
30,0-39,9	0	89	0	49	183	126	447
40,0-49,9	94	0	30	59	70	0	252
50,0-59,9	155	121	180	154	0	72	683
60,0-69,9	154	136	129	0	283	203	905
70,0-79,9	85	0	124	48	328	219	803
80,0-89,9	80	0	138	138	333	110	799
90,0-99,9	96	73	149	0	68	259	645
100,0-199,9	1.018	557	2.467	846	1.408	1.573	7.870
200,0-299,9	788	1.076	1.668	240	1.891	2.503	8.166
300,0-399,9	840	560	1.522	1.187	2.317	1.640	8.066
400,0-499,9	1.030	621	1.690	233	2.211	2.015	7.801
500,0-599,9	741	1.095	654	568	2.512	2.625	8.194
600,0-699,9	814	179	1.549	481	1.807	3.065	7.896
700,0-799,9	236	892	937	724	2.074	1.691	6.554
800,0-899,9	1.626	1.092	845	752	1.651	2.271	8.236
900,0-999,9	788	0	2.352	471	2.485	2.803	8.899
1000,0-1999,9	2.602	2.346	11.480	2.219	17.020	14.723	50.390
2000,0-2999,9	1.161	1.687	6.770	951	15.029	13.292	38.890
3000,0-3999,9	376	2.150	5.451	2.058	13.214	8.806	32.054
4000,0-4999,9	0	2.714	4.143	2.388	12.368	9.220	30.833
5000,0-5999,9	0	2.333	5.713	1.761	8.085	7.242	25.134
6000,0-6999,9	0	0	1.029	655	7.656	11.330	20.670
7000,0-7999,9	0	672	0	1.308	5.120	2.274	9.374
8000,0-8999,9	0	606	1.203	1.553	4.553	3.552	11.468
9000,0-9999,9	0	0	824	778	5.664	6.014	13.280
>10000,0 m2	0	0	110.192	4.318	94.778	299.340	508.629
Total	12.978	19.157	161.678	24.099	203.449	397.394	818.754

Fases	A _I	A _{II}	A _{III}	LL _I	LL _{II}	LL _{III}	Total
Fase-I	957	576	1.190	606	1.606	1.415	6.350
Fase-II	7.882	6.072	13.685	5.502	18.356	20.185	71.682
Fase-III	4.139	12.509	36.611	13.672	88.709	76.453	232.093
Bosque	0	0	110.192	4.318	94.778	299.340	508.629
Total	12.978	19.157	161.678	24.099	203.449	397.394	818.754

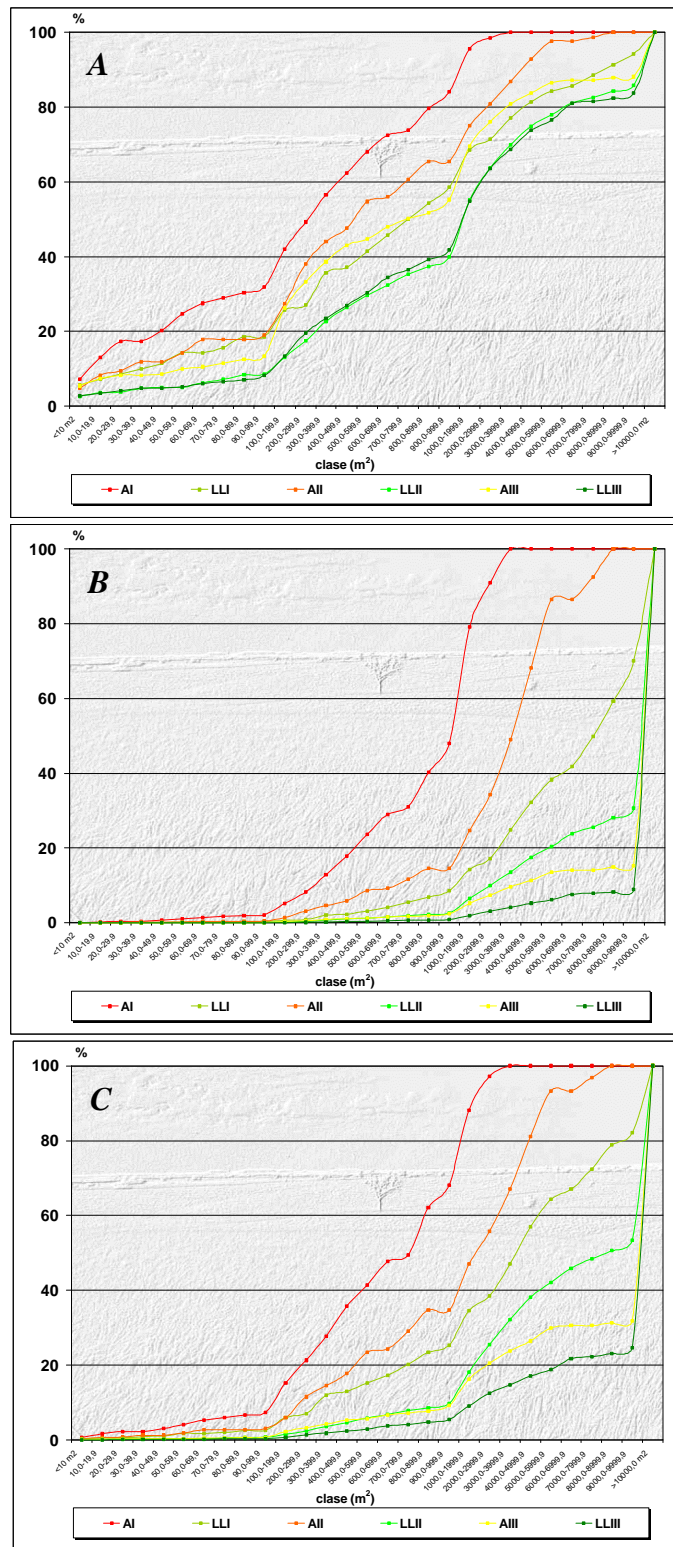


Figura II.50. Curvas de saturación para el número (A), área (B) y perímetro (C) de polígonos para los cuatro años de interpretación. Datos tomados de las Tabla II.41, II.42 y II.43.

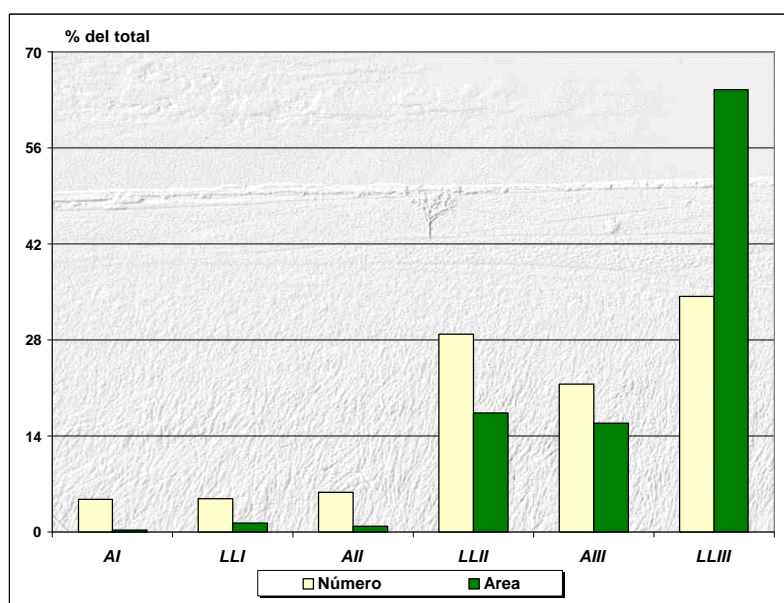


Figura II.51. Distribución a lo largo de las *formas de relieve* del número y del área de cobertura de los polígonos en configuración de galerías.

La Tabla II.44 resume los valores de las variables poligonales para las diferentes *fases* que caracterizan las principales *formas de relieve* donde las *galerías* manifiestan su cobertura. Se observa que a pesar que el 87,5% del total del número de polígonos pertenece a *Fase-I*, *Fase-II* y *Fase-III*; el 98,2% del área de cobertura en las *galerías* se logran a través de polígonos $>1.000 \text{ m}^2$ y especialmente los $>10.000 \text{ m}^2$. Son polígonos de *Fase-I*, *Fase-II* y *Fase-III* los que establecen la dinámica espacial de las formas de relieve altas A_I , A_{II} y LL_I ; mientras que para los niveles inferiores A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , son los de *Fase-III* y *Fase-Bosque*.

Tabla II.44. Caracterización de los polígonos en configuración de *galería* de acuerdo al valor (en %) de sus variables poligonales.

Variable	Fases	Formas de Relieve						Media
		A_I	A_{II}	A_{III}	LL_I	LL_{II}	LL_{III}	
Número	<i>Fase-I</i>	31,9	19,0	13,4	18,6	8,6	8,2	11,7
	<i>Fase-II</i>	52,2	46,4	41,9	40,0	31,3	33,6	36,6
	<i>Fase-III</i>	15,9	34,5	32,9	35,7	46,1	42,0	39,2
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	11,8	5,7	14,1	16,2	12,4
Área	<i>Fase-I</i>	2,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
	<i>Fase-II</i>	46,0	14,1	2,3	8,3	2,6	0,9	1,7
	<i>Fase-III</i>	51,9	85,4	13,0	61,6	28,1	8,1	13,7
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	84,7	29,9	69,3	91,0	84,5
Perímetro	<i>Fase-I</i>	7,4	3,0	0,7	2,5	0,8	0,4	0,8
	<i>Fase-II</i>	60,7	31,7	8,5	22,8	9,0	5,1	8,8
	<i>Fase-III</i>	31,9	65,3	22,6	56,7	43,6	19,2	28,3
	<i>Bosque</i>	0,0	0,0	68,2	17,9	46,6	75,3	62,1

II.3.3.4.2. Dinámica temporal

La dinámica temporal de la cobertura en configuración de galerías viene dada por los datos que se presentan en la Tabla II.45. Estos se obtuvieron, a su vez, por la dinámica que se expresa en las variaciones en los polígonos de cobertura que resultan de la interpretación de misiones aerofotográficas de los años 1938, 1961, 1978 y 1997 (ver Figura II.52). Temporalmente, el área de cobertura de las galerías responde a un incremento lineal significativo ($P>0,01$, ver Figura II.53); esto a través de un *incremento relativo anual* medio ($IRA_{1938-1997}$) de 4,20% (ver Tabla II.46). El IRA para el área de cobertura es positivo entre 1938-1961 para cualquier fase, mientras que el resto de las series anuales (1961-1978 y 1978-1997), el IRA es generalmente negativo para polígonos $<10.000\text{ m}^2$.

Tabla II.45. Resumen de los valores de clase de frecuencia y fases, por año y total, para el número, área y perímetro de los polígonos configuración de galerías.

Clase de Frecuencia	Número de Polígonos					Área de Polígonos					Perímetro de Polígonos				
	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
<10 m2	20	10	16	9	55	97	40	62	22	221	321	146	248	80	795
10,0-19,9	6	5	7	3	21	100	78	104	49	332	189	166	195	77	626
20,0-29,9	7	2	2	2	13	168	54	50	52	323	187	50	59	99	395
30,0-39,9	0	5	4	1	10	0	170	136	39	345	0	232	180	35	447
40,0-49,9	2	1	0	2	5	87	45	0	89	221	120	30	0	102	252
50,0-59,9	3	4	3	3	13	159	212	165	170	706	200	197	118	168	683
60,0-69,9	5	5	2	4	16	332	328	131	261	1.052	298	291	87	229	905
70,0-79,9	3	4	4	1	12	224	289	295	73	882	182	256	322	43	803
80,0-89,9	3	6	2	2	13	250	502	172	171	1.096	172	336	135	156	799
90,0-99,9	4	4	2	2	12	384	381	185	189	1.139	177	189	114	164	645
100,0-199,9	35	37	19	13	104	5.156	5.464	2.829	1.869	15.319	2.682	2.436	1.644	1.107	7.870
200,0-299,9	28	35	14	9	86	6.913	8.449	3.523	2.268	21.154	2.088	3.063	1.907	1.107	8.166
300,0-399,9	21	31	14	8	74	7.391	10.860	4.739	2.724	25.715	1.969	3.463	1.380	967	7.779
400,0-499,9	12	26	13	5	56	5.425	11.583	5.915	2.357	25.282	1.153	3.449	2.017	1.182	7.801
500,0-599,9	12	14	13	9	48	6.577	7.738	7.146	4.946	26.406	1.903	2.310	2.338	1.643	8.194
600,0-699,9	13	13	12	11	49	8.263	8.398	7.804	7.203	31.668	1.945	1.856	1.831	2.366	7.998
700,0-799,9	13	8	8	9	38	9.585	6.042	5.950	6.765	28.341	1.706	1.431	1.307	2.110	6.554
800,0-899,9	6	16	9	7	38	5.098	13.800	7.676	5.896	32.470	1.224	3.104	1.470	2.439	8.236
900,0-999,9	12	12	12	4	40	11.443	11.426	11.407	3.712	37.988	2.342	2.597	3.041	919	8.899
1000,0-1999,9	41	66	53	37	197	58.930	98.445	80.138	51.608	289.121	9.562	16.266	13.820	10.742	50.390
2000,0-2999,9	21	29	26	33	109	51.135	70.211	62.379	81.251	264.976	6.126	10.141	9.471	13.152	38.890
3000,0-3999,9	17	23	19	18	77	58.001	79.556	68.849	60.110	266.516	6.632	9.581	7.212	9.654	33.079
4000,0-4999,9	8	19	19	17	63	34.743	84.119	85.887	76.587	281.336	3.144	9.914	8.978	8.797	30.833
5000,0-5999,9	7	15	8	12	42	37.204	83.318	42.689	66.097	229.307	4.186	8.099	5.576	7.272	25.134
6000,0-6999,9	10	12	6	10	38	64.320	78.112	38.583	65.452	246.467	4.562	7.352	3.124	5.632	20.670
7000,0-7999,9	3	4	3	2	12	0	30.011	21.858	15.342	67.211	2.460	3.669	2.098	1.147	9.374
8000,0-8999,9	3	5	3	5	16	0	42.834	24.827	43.701	111.362	2.662	3.233	2.171	3.402	11.468
9000,0-9999,9	1	5	7	4	17	9.512	46.516	65.610	38.027	159.665	1.393	3.949	5.205	2.733	13.280
>10000,0 m2	28	45	45	63	181	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	12.080.177	50.444	115.934	135.944	206.307	508.629
Total	344	461	345	305	1.455	1.515.461	3.323.089	4.138.431	5.269.812	14.246.793	110.030	213.741	211.993	283.830	819.594

Fases	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total	1938	1961	1978	1997	Total
Fase-I	53	46	42	29	170	1.803	2.098	1.300	1.115	6.316	1.847	1.893	1.458	1.152	6.350
Fase-II	152	192	114	75	533	65.851	83.760	56.990	37.741	244.342	17.011	23.710	16.936	13.840	71.497
Fase-III	111	178	144	138	571	313.844	613.120	490.820	498.174	1.915.959	40.727	72.205	57.655	62.531	233.118
Bosque	28	45	45	63	181	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	12.080.177	50.444	115.934	135.944	206.307	508.629
Total	344	461	345	305	1.455	1.515.461	3.323.089	4.138.431	5.269.812	14.246.793	110.030	213.741	211.993	283.830	819.594

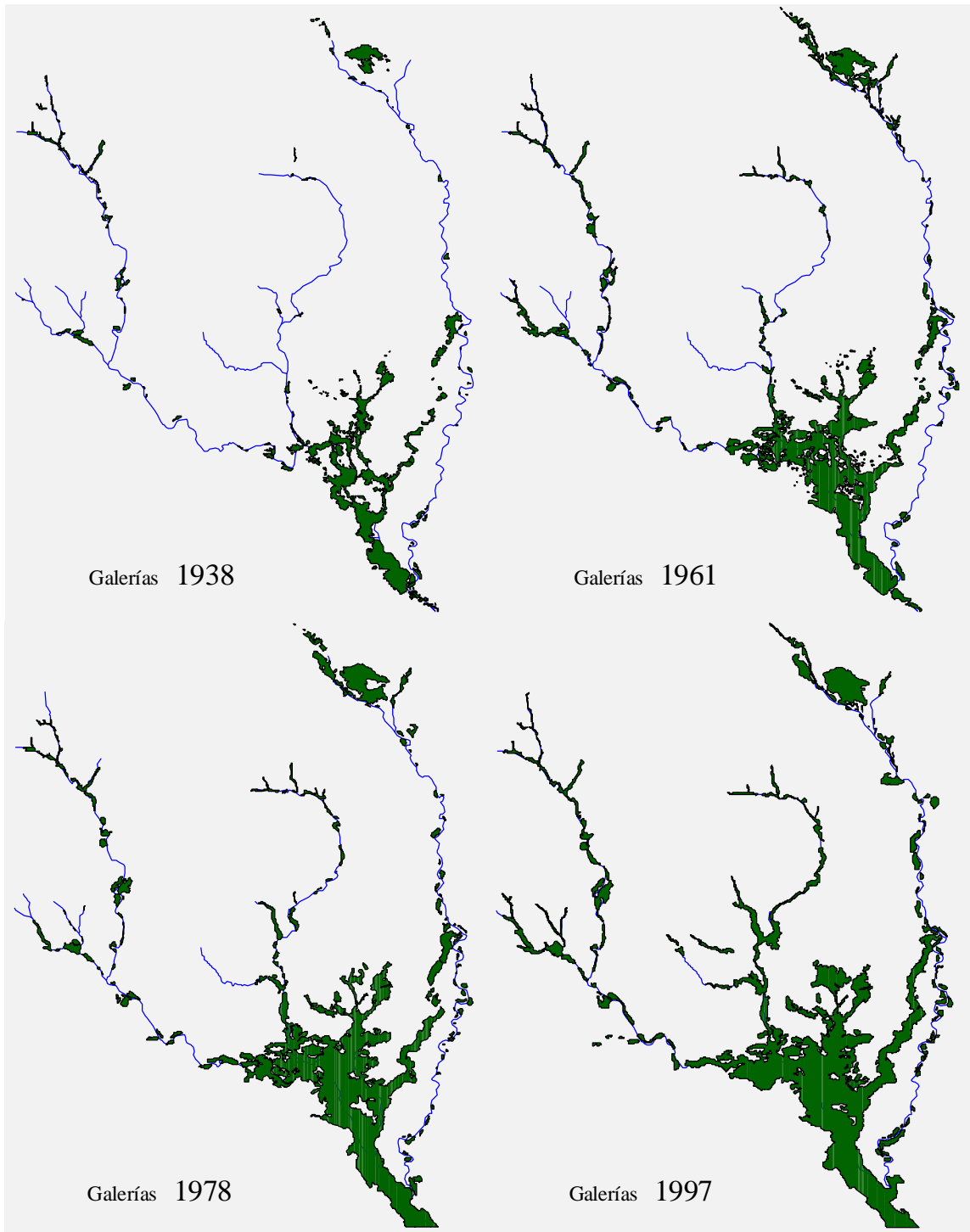


Figura II.52. Dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas en 43 km del cauce de un río, y sus tributarios, presente en el área de estudio.

Tabla II.46. Variación temporal en los valores de las variables poligonales para la cobertura en configuración de galerías y el incremento relativo anual (IRA) que ésta genera en las distintas series de tiempo. Valores en azul: significación entre las misiones (ANOVA; ns, no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$).

Variable Poligonal	Fases	Polígonos en Galerías				Dif.	IRA (%)			Medio
		1938	1961	1978	1997		38-61	61-78	78-97	
Número	Fase-I	53	46	42	29	ns	-0,57	-0,51	-1,63	-0,77
	Fase-II	152	192	114	75	**	1,14	-2,39	-1,80	-0,86
	Fase-III	111	178	144	138	*	2,62	-1,12	-0,22	0,41
	Bosque	28	45	45	63	ns	2,64	0,00	2,11	2,12
	Total	344	461	345	305	**	1,48	-1,48	-0,61	-0,19
Área (m ²)	Fase-I	1.803	2.098	1.300	1.115	*	0,71	-2,24	-0,75	-0,65
	Fase-II	65.851	83.760	56.990	37.741	***	1,18	-1,88	-1,78	-0,72
	Fase-III	313.844	613.120	490.820	498.174	**	4,15	-1,17	0,08	1,00
	Bosque	1.133.963	2.624.110	3.589.322	4.732.782	ns	5,71	2,16	1,68	5,38
	Total	1.515.461	3.323.089	4.138.431	5.269.812	**	5,19	1,44	1,44	4,20
Perímetro (m)	Fase-I	1.847	1.893	1.458	1.152	ns	0,11	-1,35	-1,10	-0,64
	Fase-II	17.011	23.710	16.936	13.840	**	1,71	-1,68	-0,96	-0,32
	Fase-III	40.727	72.205	57.655	62.531	*	3,36	-1,19	0,45	0,91
	Bosque	50.444	115.934	135.944	206.307	ns	5,64	1,02	2,72	5,24
	Total	110.030	213.741	211.993	283.830	**	4,10	-0,05	1,78	2,68

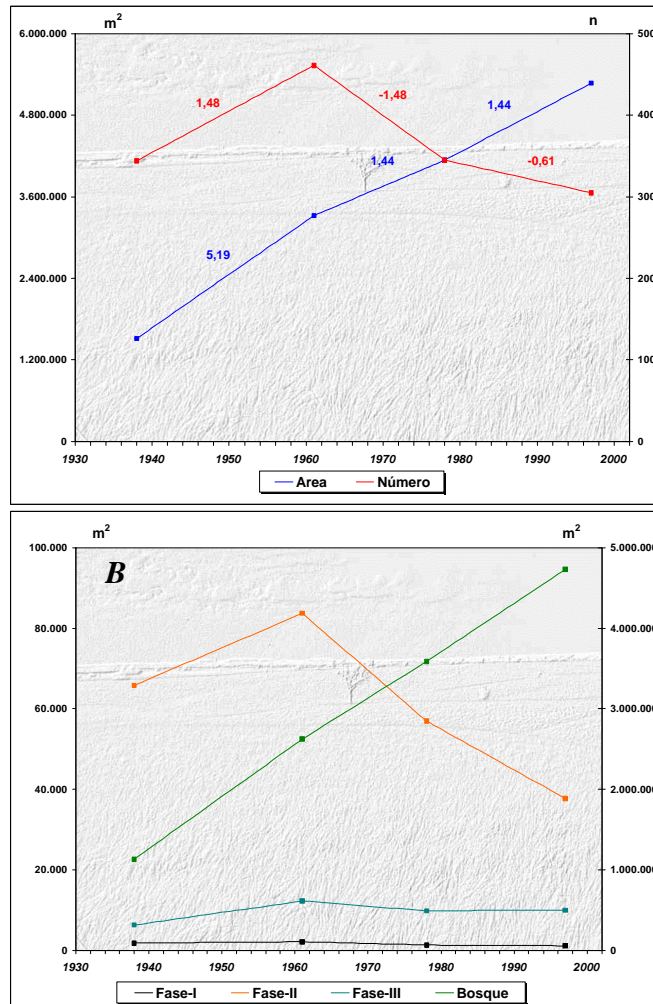


Figura II.53. Dinámica temporal global (A) y de las fases (B) del área de polígonos en configuración de galerías. Los números en las líneas representan los valores IRA de cada variable para cada serie.

La dinámica temporal de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías*, expresada en la serie de tablas y figuras anteriores, resulta en un incremento en la cobertura de los 43 km del cauce del río de 9,6 km (22,2%) que presentaba para 1938 a 27,9 km (64,8%) en 1997 (ver Figura II.54).

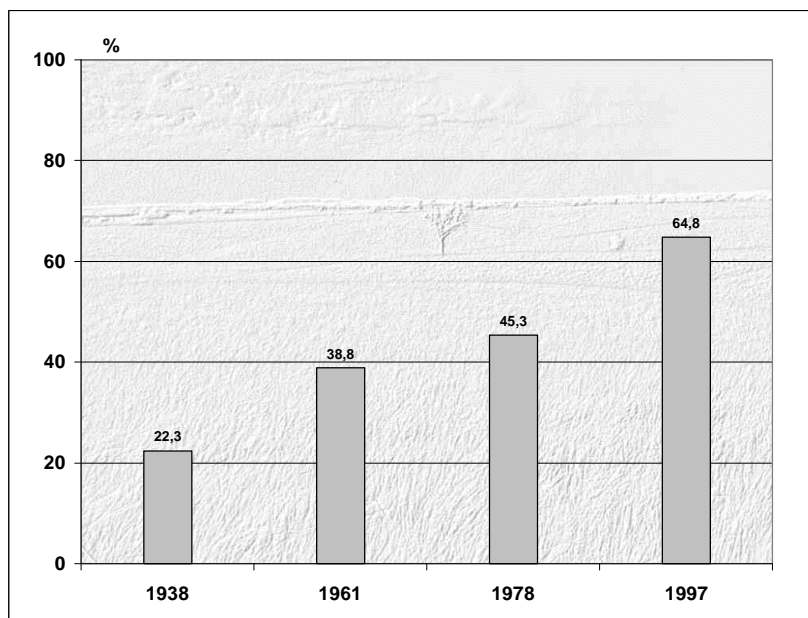


Figura II.54. Dinámica temporal en la cobertura de los 43 km del cauce del río por parte de las *galerías*.

II.3.3.4.2.1. *Persistencia* de la cobertura

La *persistencia*, definida en el presente estudio como el área que resulta de la intersección de los polígonos de cobertura de un año entre los un año subsiguiente, presenta para la serie anual 1938-1961, un valor medio de 89,1% del original, donde los valores más elevados se presentan en las formas de relieve de menor altura relativa: LL_{II} (71,4%), LL_{III} (93,5%) y A_{III} (93,8%) (ver Tabla II.47 y Figura II.55). Para la siguiente serie, 1961-1978, excepto para la forma de relieve más elevada, A_I , que experimento una sensible reducción, la *persistencia* tiende a mantenerse como en el caso de A_{III} , LL_{II} y LL_{III} , o experimentan un ligero incremento como en LL_I y A_{II} . La *persistencia* para la última serie considerada, 1978-1997, experimenta un incremento generalizado de su valor en las diferentes formas de relieve y que es especialmente sensible en A_I logrando alcanzar el 85,6%. La *persistencia* media fue de 91,7%: de los 4.138.431 m² de cobertura presentes para 1978, 3.796.931 m² persisten aún en 1997.

Tabla II.47. Valores de persistencia del área de cobertura de leñosas en las diferentes formas de relieve y series de los 43 km del cauce del río. La columna *A* expresa, en m², el área intersectada entre los años que conforman la serie; la columna *B* presenta el porcentaje que corresponde a una forma de relieve del área total intersectado en la serie; la columna *C*, el área de cobertura de leñosas para el inicio de la serie anual (ver valores para *área* en la Tabla II.45); y la columna *D*, el porcentaje intersectado del área original (% de *t-1*).

Forma de Relieve	1938-1961				1961-1978				1978-1997			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
	área (m ²)	área (%)	área 1938 (m ²)	% de 1938	área (m ²)	área (%)	área 1961 (m ²)	% de 1961	área (m ²)	área (%)	área 1978 (m ²)	% de 1978
<i>A_I</i>	4.315	0,3	6.734	64,1	2.210	0,1	9.956	22,2	4.134	0,1	4.831	85,6
<i>LL_I</i>	10.128	0,7	20.154	50,3	26.673	0,9	43.999	60,6	43.417	1,1	58.878	73,7
<i>A_{II}</i>	2.168	0,2	4.311	50,3	17.421	0,6	24.904	70,0	28.712	0,8	36.131	79,5
<i>LL_{II}</i>	180.139	12,9	252.285	71,4	462.863	16,0	667.131	69,4	546.932	14,4	650.861	84,0
<i>A_{III}</i>	63.507	4,6	67.681	93,8	407.433	14,1	508.871	80,1	672.979	17,7	751.350	89,6
<i>LL_{III}</i>	1.132.223	81,3	1.211.185	93,5	1.967.446	68,2	2.068.229	95,1	2.500.757	65,9	2.636.379	94,9
Total	1.392.480	100,0	1.562.350	89,1	2.884.047	100,0	3.323.089	86,8	3.796.931	100,0	4.138.431	91,7

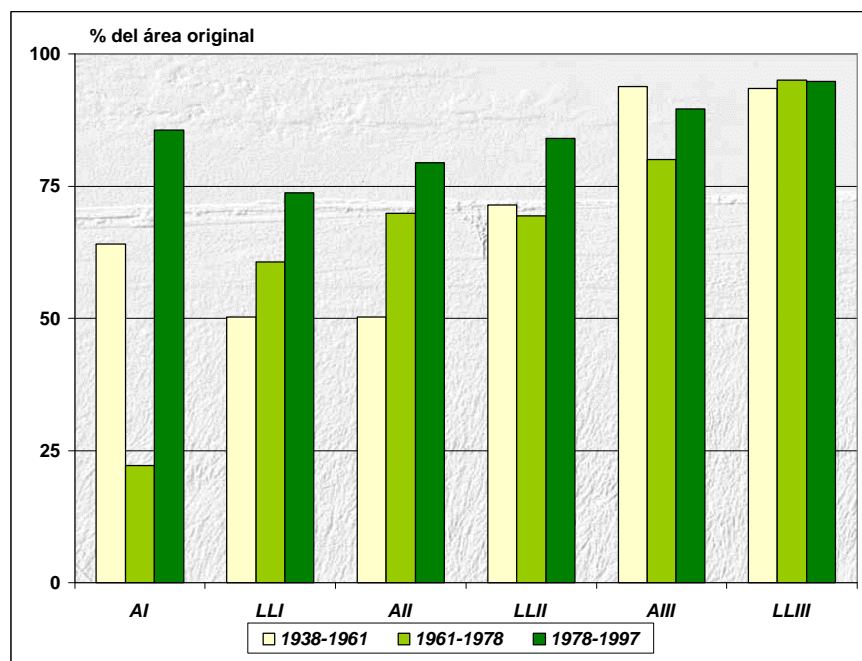


Figura II.55. Persistencia del área original de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías* para las diferentes series de tiempo.

De acuerdo a las Figuras II.56 y II.57, la *persistencia* global, es decir la intersección de los polígonos de cobertura de 1938 entre los de 1997, su valor medio es de 89,1%. En

los *afloramientos altos*, A_I , presenta su mínimo valor: 33,0% de la cobertura de leñosas presente en 1938 logra persistir hasta 1997. Los *canales de explayamiento* LL_I , los *abanicos de explayamiento* LL_{II} y los *afloramientos bajos* A_{III} alcanzan valores de *persistencia* cercanos al 80%. Los máximos se tienen para las formas de relieve *afloramientos medios* A_{II} (96,9%) y *llanuras coluviales* LL_{III} (98,6%). Sobre esto último es importante resaltar que la persistencia citada es relativa y referida a cada forma de relieve por lo que el área afectada por la persistencia puede variar según el caso: para A_{II} la persistencia se refiere a un área de 0,41 Ha mientras que para LL_{III} está referida a 119,4 Ha.

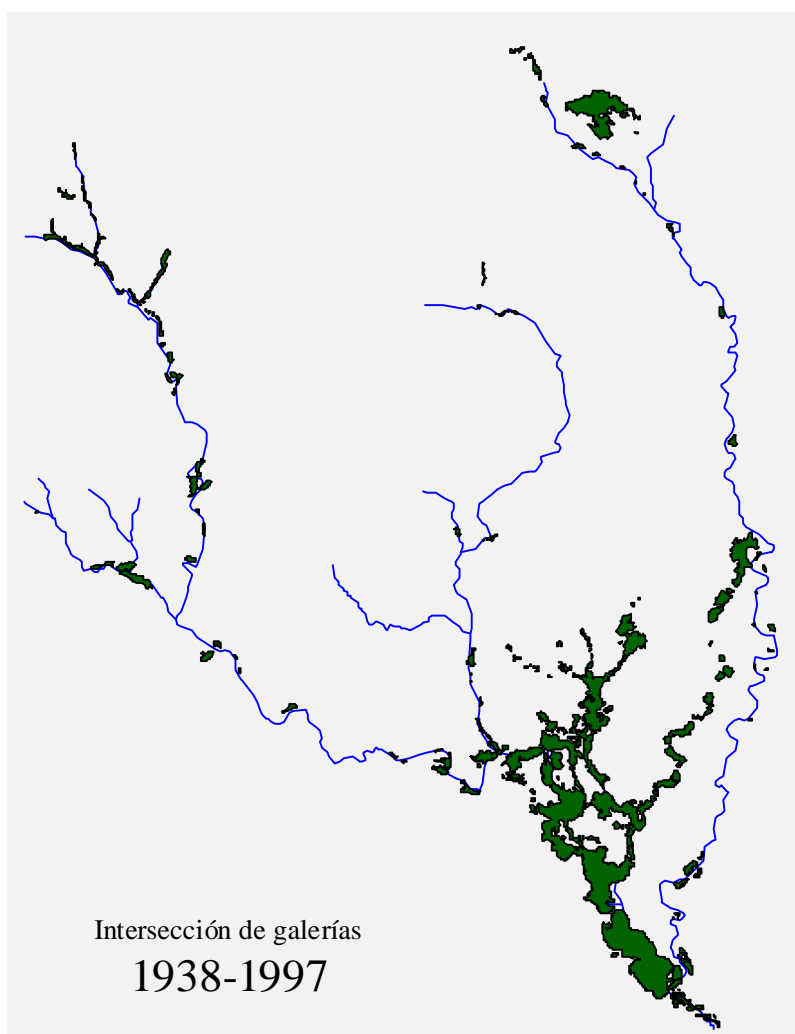


Figura II.56. Distribución espacial de la cobertura de leñosas en configuración de *galerías* a lo largo de los 43 km del cauce del río que logra *persistir* durante los 59 años de la serie 1938-1997.

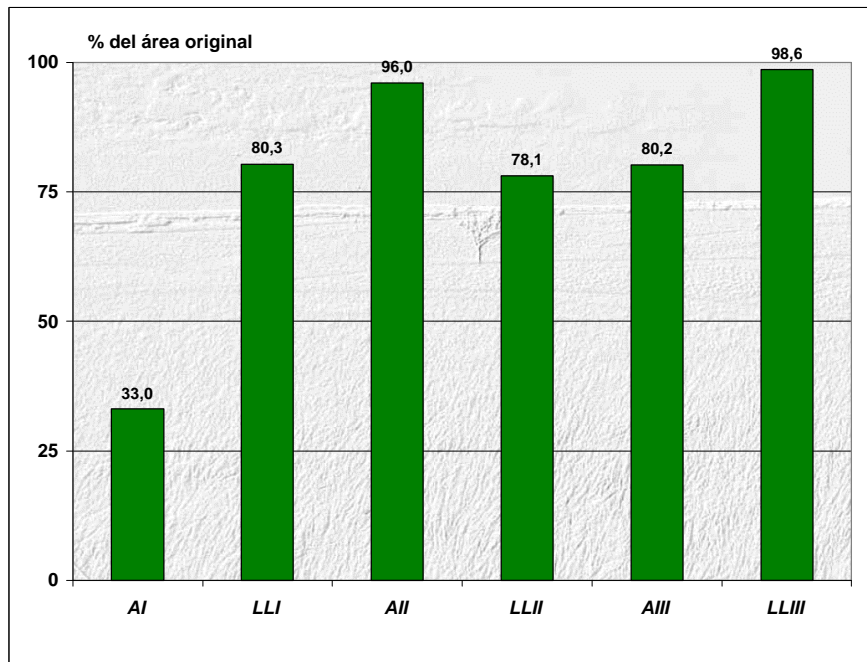


Figura II.57. *Persistencia de la cobertura de leñosas en configuración de galerías para los 59 años de la serie 1938-1997. Los números se refieren a la persistencia relativa al área original de cada forma de relieve.*

II.4. Discusión y Conclusiones

Habiendo cumplido con las premisas que el muestreo fuera espacial y temporalmente representativo para el área de estudio en el sentido que las *unidades de muestreo* no expresaran una heterogeneidad espacial significativamente distintas a la que caracteriza la zonal del estudio; así como en lo temporal, que la frecuencia de muestreos (interpretación de misiones aerofotográficas) permitiera tanto la expresión de la dinámica así como la comparación con los resultados de otros autores; se puede afirmar que la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas demostró ser significativa para múltiples situaciones y consideraciones.

En primer lugar, ésta se manifiesta al considerar la población total de datos, donde en el caso del área de los polígonos que se generan de la fotointerpretación de la cobertura de leñosas, ocurre una tendencia lineal temporal significativa al incremento ($P < 0,01$). Al tomar en cuenta las variaciones entre series anuales en el incremento relativo anual (**IRA**) y entre las diferentes variables poligonales, se puede establecer que la linealidad en el incremento del área de cobertura se obtiene a través de dos procesos distintos, no excluyentes: 1) la fusión o coalescencia durante la serie de núcleos leñosos de poco porte que pasan a formar polígonos de cobertura de una *fase* o tamaño superior, y 2) el establecimiento disperso de pequeños núcleos leñosos a lo largo de la serie incrementando al final los valores de las variables poligonales de las primeras *fases* o clases de tamaño.

Esta dinámica temporalmente diferenciable se obtiene cuando, en el análisis de la totalidad de los datos, se considera que durante los primeros 23 años del estudio (serie anual 1938-1961) el área de cobertura de leñosas se incrementa a una tasa anual del 3,25%, esto aún cuando ocurre una reducción simultánea de $-0,61\%/año$ en el número de polígonos que generan dicha área. Una reducción en el número de polígonos con repercusiones positivas en el área de cobertura resultante es característica de un proceso de *fusión*. Es importante aclarar en este punto que, tratándose los polígonos de entidades sésiles, una fusión ocurre luego que uno o más polígonos hayan presentado un crecimiento que sobrelleve el espacio que los separa. En este sentido, al observar la evolución de la cobertura de leñosas en las representaciones de las Figuras II.11 a la II.20, así como evaluar la dinámica temporal de los

valores de los polígonos (Tabla II.17) se puede inferir que, al crecer, las entidades de mayor tamaño incorporan (se fusionan) las de menor tamaño (ie. **Fase-Bosque** y/o **Fase-III** \Rightarrow **Fase II** y/o **Fase I**).

Durante las dos siguientes series, la dinámica de la cobertura de leñosas se expresa a través de otra estrategia: el *establecimiento disperso*. Un incremento importante y significativo en los valores de cobertura para los polígonos de $<1.000 \text{ m}^2$ (**Fase-I** y **Fase-II**) confirma la adopción de esta estrategia. Además de esto, los resultados señalan que, para una misma estrategia, es posible que el incremento se manifieste con una tasa temporalmente variable. Esto lo determinamos al considerar la relación que existe entre los valores de **IRA** del número polígonos y el área de cobertura para las series anuales 1961-1978 y 1978-1997. Al no ser las estrategias de establecimiento excluyentes, la fusión también se hace presente en estas dos series anuales. Si bien no es significativo, los polígonos $>10.000 \text{ m}^2$ (**Fase-Bosque**) experimentan un crecimiento de su cobertura, proceso en el cual ocurre la fusión con polígonos de menor porte.

Variaciones en la composición de formas de relieve explican las diferencias en la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas que se manifiesta entre las *unidades de muestreo*. Efectivamente, a lo largo de las formas de relieve se presentan importantes gradientes de cobertura de leñosas de dinámica temporal distintiva. Sarmiento y Monasterio (1969 y 1971) sostienen que, al provocar modificaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, la heterogeneidad espacial de la geomorfología es el primer determinante de la fisonomía de la vegetación.

En sentido amplio, el gradiente de cobertura que presenta el área de estudio permite distinguir dos grupos principales: los *afloramientos*, con poca cobertura y las *llanuras*, con mayor cobertura de leñosas. Esta separación se puede explicar si se considera la dinámica hídrica superficial que domina cada grupo. Por su relieve pronunciado, en los *afloramientos* **A_I**, **A_{II}** y **A_{III}** la dinámica es de *run-off*, es decir, el agua sale rápidamente del sistema. En el otro extremo, aunque nunca permanecen anegados por períodos mayores a unos pocos días, el relieve chato de las *llanuras* (**LL_I**, **LL_{II}**, **LL_{III}** y **LL_{IV}**) favorece la acumulación o salida gradual del agua (*run-on*).

Entre los *afloramientos*, las diferencias en la cobertura se hacen evidentes dependiendo de la fase o tamaño de los polígonos que se considere. La dinámica espacio-temporal de la

cobertura de leñosas en los *afloramientos altos*, A_I , viene dada exclusivamente por polígonos $<100\text{m}^2$ (**Fase-I**). Históricamente, este tipo de cobertura coloca a los *afloramientos altos* como la segunda forma de relieve en abundancia de individuos leñosos de gran porte (eg. *Curatella americana*, *Bowdichia virgilioides* o *Byrsonima crassifolia*) bien sea aislados o conformando pequeñas *matas*. En el caso de los *afloramientos bajos*, A_{III} , además de los de $<100\text{m}^2$, los polígonos de cobertura entre $100-1.000\text{m}^2$ (**Fase-II**) se incorporan significativamente en la dinámica espacio-temporal de esta forma de relieve. De hecho, la presencia y dinámica de este tipo de cobertura establece las diferencias con los afloramientos más altos (menos degradados). Para los *afloramientos medios*, A_{II} , la dinámica se expresa a través de coberturas $<100\text{m}^2$ pero en una proporción muy inferior a la de los afloramientos inmediatos superiores e inferiores. Si no se toman en cuenta los valores de cobertura para las dos zonas de transición entre formas de relieve consideradas en este trabajo (A_{I-LLI} y $A_{III-LLIII}$), a través de la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas en los *afloramientos medios* estarían expresados los valores más bajos para el número de polígonos y para el área y perímetro que estos generan.

Estas diferencias pueden ser atribuidas a que, en el caso de los afloramientos más altos, el relieve permite la formación de estrechos canales de drenaje en los cuales el establecimiento de individuos aislados o de pequeñas *matas* es favorecido por un incremento en el balance hídrico, y hasta de nutrientes, que genera este microrelieve, compensando de este modo las limitaciones impuestas por la presencia generalizada y característica en esta forma de relieve de una gruesa capa de granzón basal de la *Formación Mesa*. Si bien la escala de trabajo no permitió diferenciar los canales de drenaje y discriminar o cuantificar los polígonos de cobertura que se encuentran dentro y fuera del microrelieve, las observaciones de campo confirman que la dominancia de cobertura de leñosas tiende hacia las depresiones del terreno. En el caso de los afloramientos más bajos la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas no está vinculada al microrelieve: el relieve suave y ondulado no permite la formación de canales de drenaje, detectables siquiera en las observaciones de campo. La facilitación en el establecimiento de leñosas en los *afloramientos bajos*, con respecto a afloramientos más elevados, pudiera ocurrir por:

- 1) La capa de granzón basal se encuentra suficientemente desgastada como para permitir a las raíces de las leñosas acceder a estratos inferiores más favorables, minimizando así los efectos físicoquímicos limitantes del estrato de granzón de

la *Formación Mesa*. Esto resulta en una homogeneización del estrato superior que, a diferencia de los *afloramientos altos*, el espacio para el establecimiento no es un factor limitante.

- 2) Al estar ubicados los *afloramientos bajos* en la menor altura relativa dentro del gradiente altimétrico de afloramientos, la vegetación leñosa, luego de establecerse y desarrollar un sistema radical profundo, pueden acceder a un horizonte espacialmente homogéneo donde la dinámica hídrica profunda permite una extensión temporal del agua disponible para las plantas, minimizando la variabilidad temporal de este determinante (*ie.* Homogeneización espacio-temporal del **ADP**).
- 3) Los *afloramientos bajos* se encuentran insertos en los *abanicos de explayamiento* (**LL_{II}**) y en las *llanuras coluviales* (**LL_{III}**), formas de relieve que presentan los valores más altos de cobertura de leñosas, especialmente de núcleos boscosos; la proximidad a centros potenciales de dispersión de propágulos facilita el establecimiento de especies decíduas que participarían en la nucleación que se genera luego del establecimiento de especies siempreverdes. A diferencia de la dinámica espacio-temporal de los *afloramientos altos*, en los afloramientos más desgastados, las *matas* medianas hasta grandes (polígonos **Fase-II**; 100-1.000m²) tienen una participación muy significativa, así como disponen de un importante número de *matas* grandes o islotes de bosque con una cobertura >1.000 m² (**Fase-III**).

Histórica y espacialmente, los *afloramientos medios* (**A_{II}**) presentan los valores más bajos de cobertura de leñosas, no sólo entre los *afloramientos* sino para cualquier otra forma de relieve. Esto puede deberse a que, si bien la capa de granzón basal se encuentra desgastada, no está lo suficiente para permitir a las raíces de las leñosas alcanzar estratos inferiores más favorables, pero sí lo suficiente para no permitir la formación de microrelieve (canales de drenaje). Espacialmente, **A_{II}** ocupan la sección media del área de estudio y del gradiente altitudinal que allí se manifiesta, y aún cuando interceptan una forma de relieve de las más ricas y variadas en lo que a cobertura de leñosas se refiere: los *abanicos de explayamiento* (**LL_{II}**), una mayor proximidad a los centros potenciales de dispersión de propágulos (decíduos

o siempreverdes) no se refleja significativamente en la dinámica espacio-temporal de los *afloramientos medios*, si se compara con la de otros *afloramientos*.

Las *llanuras*, al igual que los *afloramientos*, presentan respuestas diferenciables dependiendo de su ubicación dentro del gradiente de *run-on* en la dinámica hídrica superficial que domina el relieve chato del área de estudio. Entre las *llanuras*, las *coluviales (LLIII)* se ubican, espacial y temporalmente, en el extremo del gradiente, logrando los mayores valores para el área de cobertura de leñosas a través de un importante número de polígonos de $>10.000\text{m}^2$ (islotos de bosque y galerías). A éstas le siguen los *abanicos de explayamiento (LLII)* los cuales obtienen su cobertura a través de la mayor densidad de polígonos de cobertura de cualquier tamaño observada en el gradiente altimétrico o de drenaje presente en nuestra área de estudio, pero son los de hasta 1.000 m^2 los que establecen su dinámica temporal. En el extremo opuesto del gradiente de cobertura observado se tienen los *canales de explayamiento (LLI)* y las *llanuras de erosión (LLIV)*. Históricamente, la cobertura de leñosas en estas formas de relieve no supera el 5% del área de estudio, y su dinámica viene dada por el incremento lineal en los valores de polígonos de cobertura $<1.000\text{ m}^2$.

Según Sarmiento y Monasterio (1969 y 1971) la erosión hídrica donde está comprendida el área de estudio es de carácter predominantemente laminar y arrastra los sedimentos más finos depositándolos hacia sus bordes meridionales. Las diferencias que se observan en la dinámica de la cobertura en las *llanuras* responden, en primer lugar, a la profundidad de los redepósitos coluviales, y luego al tipo de horizonte que subyace en cada forma de relieve; características éstas que regulan no sólo la disponibilidad de nutrientes, sino también la dinámica hídrica superficial así como cómo la profunda. Esto explica la mayor cobertura de leñosas presente en las *llanuras coluviales (LLIII)* cuya ubicación dentro del gradiente altimétrico del área de estudio permitiría que los redepósitos coluviales fueran más profundos y descansaran, en muchos casos, directamente sobre un horizonte menos permeable de lutitas abigarradas de la *Formación Chaguaramas* (Salvador 1964, Zinck 1970, Gonzáles de Juana 1980) que mantendría un nivel freático relativamente accesible. La menor cobertura de los *abanicos de explayamiento (LLII)* responde tanto a una menor profundidad de coluvios superficiales como a la presencia, previa al horizonte impermeable de la *Formación Chaguaramas*, de un estrato relictual de gravas de la *Formación Mesa* cuya profundidad se incrementa, a costa del horizonte superficial de redepósitos, en dirección a las formas de relieve más elevadas del área de estudio (S-N). Es así como se explica la menor cobertura de

leñosas de las *llanuras* más elevadas, los *canales de explayamiento (LL_I)*: la capa de coluvios es demasiado delgada para retener efectivamente la humedad, aún cuando la dinámica hídrica es favorecida por la acción canalizadora de las escorrentías superficiales por el microrelieve de los *afloramientos altos (A_I)* superiores adyacentes. La escasa cobertura de leñosas de las *llanuras de erosión (LL_{IV})* también se puede explicar por encontrarse éstas en una situación extrema dentro del gradiente edáfico. Aquí, afloran las lutitas de la *Formación Chaguaramas*: tanto el horizonte de redepósitos, característico de las otras formas de *llanuras*, como las gravas de la *Formación Mesa*, determinante de los *afloramientos*, se encuentran extremadamente degradados (presencia de pequeñas lentes de rodados) y hasta ausentes. *LL_{IV}* es una forma de relieve cuyo rasgo más característico es la microtopografía sumamente irregular, constituida por depresiones circulares de hasta 5 m de diámetro, unidas entre sí por grietas profundas, originando una trama que en las fotos aéreas aparece como si fueran viruelas. Este microrelieve se ha formado sobre las areniscas localmente calcáreas que se encuentran en la base de la *Formación Mesa* y que han quedado expuestas por la erosión total de los estratos que las recubrían. Eliminando los redepósitos coluviales dejando así al descubierto los estratos subyacentes, originando de este modo el relieve de *llanuras de erosión*. Las depresiones circulares o “viruelas” dejan expuesto un franco arcilloso, masivo y de abundantes concreciones calcáreas infiriéndole características físicoquímicas que los diferencian notablemente del resto de los suelos de la región estudiada. Sarmiento y Monasterio (1971) sostienen que la variabilidad espacial en la cobertura y la composición de las comunidades de leñosas presente en las *llanuras de erosión* viene dada por una elevada heterogeneidad del sustrato.

Es abundante la bibliografía que trata de explicar la fitofisionomía característica de las sabanas tropicales con respecto a los gradientes ambientales y edáficos en particular (eg. Sarmiento y Monasterio 1969^a, 1969^b y 1971, Sarmiento *et al.* 1971^a y 1971^b, Silva *et al.* 1971, Monasterio *et al.* 1971, Silva y Sarmiento 1976^a y 1976^b, Walker *et al.* 1981, Walker y Noy-Meir 1982, Sarmiento *et al.* 1985, Knoop y Walker 1985, Goldstein y Sarmiento 1987, Medina y Silva 1990, San José y Montes 1991, Furley 1992 y San José *et al.* 1998). Si bien los autores coinciden al reconocer a la heterogeneidad del sustrato como uno de los principales determinantes de la dinámica espacial de la cobertura vegetal, se aprecia que la percepción que tienen del proceso que origina este determinismo espacial puede ser muy variada, y en algunos casos, contradictoria. En un extremo se tienen perspectivas como la de Brown (1987) quien

sostiene que “bajo un régimen climático determinado y sin la intervención del hombre, las principales clases de suelo determinarán el tipo de vegetación”. En el otro extremo, existe la perspectiva que, por actuar a diferentes escalas espaciales y temporales, los cambios en la vegetación no se relacionan a cambios en un gradiente edáfico (Furley 1992). En todo caso, el paradigma de la heterogeneidad del sustrato (vía **ADP** y **NDP**) como principal determinante de la fisionomía de las leñosas, y de la vegetación en general, de las sabanas neotropicales ha sido formulado por estudios, en su mayoría, espacialmente locales, y en todo caso, temporalmente puntuales.

Si bien los resultados sobre la dinámica espacial de la cobertura de leñosas en las sabanas estacionales presentados en este capítulo confirman las observaciones de múltiples autores sobre la acción determinante de la heterogeneidad del sustrato y la distribución consiguiente del **ADP** y del **NDP**, la variabilidad temporal significativa tanto en el *incremento relativo anual (IRA)* de la cobertura como en las estrategias de su establecimiento: *fusión vs. disperso*; que se observan en las diferentes formas de relieve consideradas en este estudio (*ie.* dinámica temporal diferenciable), nos advierten que indudablemente existen factores externos y temporalmente variables capaces de incrementar o disminuir la acción determinante de las diferencias estables de la distribución del sustrato en la cobertura de leñosas. Por lo tanto, una reformulación coherente del paradigma del determinismo edáfico en la fitofisionomía de las sabanas estacionales, solo se logrará a través de un enfoque integral que incluya en su discusión evidencias sobre los efectos de variaciones temporales o pulsaciones de diferente magnitud de factores capaces de sobrellevar las limitaciones locales del **NDP** y homogeneizar en una escala regional aquellas del **ADP**. Los resultados sobre la dinámica temporal de la cobertura de leñosas presentados en este capítulo arrojan fuertes evidencias sobre la participación histórica de factores externos. A su vez, la variabilidad temporal de estos factores puede ser explicada por la dinámica y las tendencias de los cambios globales, y en especial y por sus efectos en el **ADP** de cualquier sistema, por los cambios históricos en las precipitaciones. En este sentido, el capítulo subsiguiente (Capítulo III) muestra los resultados del esfuerzo por generar información sobre la variabilidad histórica de las precipitaciones en nuestra área de estudio y que ha servido para establecer relaciones y describir los procesos que determinan la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas a través de una discusión final e integradora presentada en el Capítulo IV del presente trabajo.

II.5. Bibliografía

- Archer, S. 1989. Have Southern Texas savannas been converted to woodlands in recent history?. *American Naturalist*, 134:545-561.
- Archer, S. 1990. Development and stability of grass/woody mosaics in a subtropical savanna parkland, Texas, USA. *Journal of Biogeography*, 17:453-562.
- Archer, S. 1995. Tree-grass dynamics in a Prosopys-thornscrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience*, 2:83-99.
- Archer, S., C. Scifres, C.R. Bassham y R. Maggio. 1988. Autogenic succession in a subtropical savanna: conversion of grassland to thorn woodland. *Ecological Monographs*, 58:111-127.
- Archer, S.C. 1996. Assessing and interpreting grass-woody plants dynamics. En: *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Hodgson, J. y A.W. Illius (eds.). CAB International. pp.101-134.
- Barnes, D.L. 1979. Cattle ranching in east and southern Africa. En: *Management of semi-arid ecosystems*. Walker, B.H. (Ed.). Elsevier, Amsterdam. p9-54.
- Belsky, A.J. 1990. Tree/grass ratios in East African savannas: a comparison of existing models. *Journal of Biogeography*, 17:483-489.
- Belsky, A.J. 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, 75:922-932.
- Belsky, A.J., S.M. Mwonga y J.M. Duxbury. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agroforestry Systems*, 24:1-20.
- Blackburn, W.H. y P.T. Tueller. 1970. Pinyon and juniper invasion in black sagebrush communities in east-central Nevada. *Ecology*, 51:841-848.
- Blydenstein, J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Columbia. *Ecology*, 48:1-15.
- Brown, K.S. 1987. Soils and Vegetation. En: *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*. Whitmore, T.C. y G.T. Prance (Eds.). Clarenton Press, Oxford, pp19-45.
- Bucher, E.H. 1982. Chaco and Caatinga- South American Arid Savannas, Woodlands and Thickets. En: *Ecology of Tropical Savannas*. Huntley, B.J. y B.H. Walker (Ed.) Springer-Verlag, Berlin.
- Buffington, L.C. y C.H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs*, 35:139-164.
- Cole, M. 1986. *The savannas: biogeography and geobotany*. Academic Press, London.
- Farji-Brener, A.G. 1992. *Dinámica de islas boscosas en una sabana-parque: La actividad de las Attini (Hymenoptera, Formicidae) y su relación con la invasión de leñosas*. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 66p.
- Furley, P.A. 1992. Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the Neotropics. En: *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Furley, P.A., J. Proctor y J.J. Ratter (Eds.). Capítulo 6. Chapman & Hall, Londres. pp91-117.
- Goldstein, G. y G. Sarmiento. 1987. Water relations of trees and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation. En: *Determinants of Tropical Savannas*. B.H. Walker (Ed.). Capítulo 2. IUBS Monograph Series N°3. Australia. pp13-38.
- González de Juana, C., J.M. Iturralde de Arozena y X. Picard, 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. II Tomos. Ediciones FONINVES. Caracas. 1031p.
- Harrington, G.N. A.D. Wilson y M.D. Young. 1984. *Management of Australia's rangelands*. CSIRO, Melbourne.
- Herbel, C.H., F.N. Ares y R.A. Wright. 1972. Drought effects on a semi-desert grassland. *Ecology*, 53:1084-1093.

- Hobbs, R.J. y H.A. Mooney. 1986. Community changes following shrub invasion of grassland. *Oecologia*, 70:508-513.
- Hunziker, J.H., R.A. Palacolis, L. Poggio, C.A. Naranjo y T.W. Yang. 1977. Geographic distribution, morphology, hybridization, cytogenetics and evolution. *En: Creosotebush: their biology and chemistry of Larrea in New World deserts*. Dowden, Hutchinson y Ross (eds.) pp 10-47. Stroudsburg, Pennsylvania, USA.
- Jeltsch, F., S.J. Milton, W.R.J. Dean y N. van Rooyen. 1996. Tree spacing and coexistence in semiarid savannas. *Journal of Ecology*, 84:583-595.
- Jonhston, M.C. 1963 Past and present grassland of southern Texas and northeastern Mexico. *Ecology*, 64:553-576.
- Knoop, W.T. y B.H. Walker. 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a Southern African savanna. *Journal of Ecology*. 73:235-253.
- Medina, E. y J.F. Silva. 1990. The savannas of northern South America: a steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography*, 17:403-413.
- Menaut, J.C., J. Gignoux, C. Prado y J. Clobert. 1990. Tree community in a humid savanna of the Cote-d'Ivoire: modelling the effects of fire and competition with grass and neighbours. *Journal of Biogeography*, 17:471-481.
- Monasterio, M., G. Sarmiento y J.F. Silva. 1971. Reconocimiento Ecológico de Los Llanos Occidentales. III. El Sur del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana*, 22:153-169.
- Morales, F. 1978. *El Alto Llano: estudio de su geografía física*. Ediciones de la Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 188p.
- Moreira, A.G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27:1021-1029.
- Salvador, A. 1964. Proposed simplification of the stratigraphic nomenclature in the Eastern Venezuelan basin. *Boletín Informativo de la Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo*, 7:153-202.
- San José, J.J. y R. Montes. 1991. Regional interpretation of environmental gradients which influence *Trachypogon* savannas in the Orinoco Llanos. *Vegetatio*, 95:21-32.
- San José, J.J., M.R. Fariñas y J. Rosales. 1991. Spatial patterns of trees and structuring factors in a *Trachypogon* Savanna of the Orinoco Llanos. *BIOTROPICA*, 23:114-123.
- San José, J.J., R. Montes y M. Mazorra. 1998. The nature of savanna heterogeneity in the Orinoco Basin. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7:441-455.
- Sarmiento, G. (Ed.) 1990. *Las Sabanas Americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y utilización*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas, Venezuela. p332.
- Sarmiento, G. 1983^a. Patterns of specific and phenological diversity in the grass community of the Venezuelan tropical savannas. *Journal of Biogeography*, 10:373-391.
- Sarmiento, G. 1983^b. The savannas of Tropical America. *Tropical Savannas*. Bourliere, F. (Ed.). Ecosystems of the World. Elsevier Publ. Co., Amsterdam. pp245-288.
- Sarmiento, G. 1984. *The ecology of neotropical savannas*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 235p.
- Sarmiento, G. 1996. Biodiversity and water relations in tropical savannas. *En: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 62-75.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1969^a. Corte ecológico de Estado Guárico. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 28(115-116):83-106.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1969^b. Studies on the savanna vegetation of the Venezuelan Llanos. I. The use of association-analysis. *Journal of Ecology*. 57:579-598.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1971. *Ecología de las sabanas de América Tropical: Análisis macroecológico de Los Llanos de Calabozo, Venezuela*. Cuadernos Geográficos N° 4. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, 127p.

- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1983. Life forms and phenology. *In: Ecosystems of the World: Tropical savannas*. Bouliere, F. (Ed.). Elsevier, Amsterdam. p79-108.
- Sarmiento, G., G. Goldstein y F. Meinzer. 1985. Adaptative strategies of woody species in neotropical savannas. *Biology Review*, 60:315-355.
- Sarmiento, G., M. Monasterios y J. F. Silva. 1971^a. Reconocimiento Ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las Unidades Ecológicas Regionales. *Acta Científica Venezolana*, 22:52-61.
- Sarmiento, G., M. Monasterios y J. F. Silva. 1971^b. Reconocimiento Ecológico de los Llanos Occidentales. IV. El Oeste del Estado Apure. *Acta Científica Venezolana*, 22:170-180.
- Schoefield, C.J. y E.H. Bucher. 1986. Industrial contributions to desertification in South America. *TREE*, 1:78-80.
- Scholes, R.J. y B.H. Walker. 1993. *An African Savanna - Synthesis of the Nylsvley Study*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Scholes, R.J. y S.R. Archer. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28:517-544.
- Silva, J.F. 1996. Biodiversity and stability in tropical savannas. *In: Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes: a global perspective*. Solbrig, O.T., E. Medina y J.F. Silva (Eds.). Ecological Studies 121. Springer. Berlin. pp 161-171.
- Silva, J.F., M. Monasterio y G. Sarmiento. 1971. Reconocimiento ecológico de Los Llanos Occidentales. II. El Norte del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana*, 22:60-71.
- Silva, J.F. y G. Sarmiento. 1976^a. La composición de las sabanas en Barinas en relación con las unidades edáficas. *Acta Científica Venezolana*, 27:68-78.
- Silva, J.F. y G. Sarmiento. 1976^b. Influencia de factores edáficos en la diferenciación de las sabanas. Análisis de componentes principales y su interpretación ecológica. *Acta Científica Venezolana*, 27:141-147.
- Silva, J.F., A. Zambrano y M.R. Fariñas. 2001. Increase in the woody component of seasonal savannas under different fire regimes in Calabozo, Venezuela. *Journal of Biogeography*, 28:977-983.
- Singh, J.S. y M.C. Joshi. 1979. Primary production. *In: Grassland ecosystems of the world*. Coupland, R.T. (Ed.). IBP Vol. 18, Cambridge Univ. Press, Cambridge. p179-225.
- Skarpe, C. 1991. Spatial patterns and dynamics of woody vegetation in an arid savanna. *Journal of Vegetation Science*, 2: 565-572.
- Skarpe, C. 1992. Dynamics of savanna ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 3:293-300.
- Taiton, N.M. y B.H. Walker. 1992. Grassland of southern Africa. *En: Ecosystems of the World*, Vol. 8B. Natural Grasslands: Eastern Hemisphere. Coupland, R.T. (ed.). Elsevier, Amsterdam. pp.265-290.
- van Devender, T.R. y E.G. Spaulding. 1979. Development of vegetation and climate in the southwestern United States. *Science*, 204:701-710.
- van Vegten, J.A. 1983. Thornbush invasion in a savanna ecosystem in eastern Botswana. *Vegetatio*, 56:3-7.
- Walker, B.H. 1985. Structure and function of savannas: an overview. *En: Ecology and Management of the World's Savannas*. Tothill, J.C. y J.J. Mott (eds.). Australian Academy of Science, Canberra. pp.83-91.
- Walker, B.H. y I. Noy-Meir. 1982. Aspects of stability and resilience of savanna. *En: Ecology of Tropical Savannas*. Huntley, B.J. y B.H. Walker (Eds.). Ecological Studies 42. Springer, Berlin. pp.143-155.
- Walker, B.H., D. Ludwig, C.S. Holling y R.M. Peterman. 1981. Stability of semi-arid savanna grazing systems. *Journal of Ecology*, 69:473-498.
- Walter, H. 1971. *Ecology of Tropical and Subtropical Vegetation*. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK.
- Zinck, A. 1970. *Origen y evolución de la Formación Mesa: un enfoque edafológico*. Ministerio de Obras Públicas. Maracaibo. 70p.

CAPÍTULO III

DINÁMICA TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES

III.1. Introducción

La variabilidad es el rasgo que mejor define al fenómeno climático de las precipitaciones (Fernández-García 1996). Espacialmente, en Venezuela existe un gradiente donde las precipitaciones anuales aumentan desde el Norte donde hay regiones con menos de 300 mm, hasta el Sur, con más de 3.600 mm. En la Península de Araya (Edo. Sucre) ocurren años enteros sin precipitación alguna y por otro lado, en la zona del río Paragua (Edo. Bolívar), se observan lluvias mensuales de más de 900 mm, cantidad que constituye el promedio anual para otras áreas geográficas de Venezuela (Goldbrunner 1963 y 1976). En la escala temporal, las precipitaciones en Venezuela también son muy variables: su distribución mensual va desde un mes de precipitación en Paraguaná (Edo. Falcón) hasta doce meses en la región de Guayana. En una escala temporal más grande, se observa también un gradiente para los días con precipitaciones al año, y que varía desde regiones del Sotavento en el Norte del país con menos de 50 días hasta más de 300 días en el estado Amazonas y en el Sur del Lago de Maracaibo. Esta variabilidad espacio-temporal está relacionada con la dinámica general atmosférica, de la que dependen el régimen anual y las oscilaciones interanuales, y con la topografía y el relieve, que introducen desequilibrios muy marcados en la distribución espacial de las precipitaciones (Fernández-García 1996).

La región de Los Llanos del Orinoco, caracterizada por un relieve relativamente homogéneo y que compromete una gran parte del territorio nacional, presenta un régimen de precipitaciones marcadamente estacional y de distribución unimodal: una *estación seca* seguida por una *estación húmeda*; localmente conocidas como *verano* e *invierno*, respectivamente. Esta nitidez estacional se debe al dinamismo de la circulación general de la atmósfera, específicamente por la dinámica de las células Hadley y por el Alta de Las Azores (vientos *Alisios*) (Goldbrunner 1963 y 1976, Vila 1965, Freile 1969^a y 1969^b, Moreau y Deffit 1979, Martelo 2002). De diciembre hasta abril, y a través del flujo superficial de los *Alisios* del NE, la célula tropical Hadley del Hemisferio Norte extiende su influencia desde 30°

N (centro de la alta presión subtropical) hasta cerca de 2° N, latitud en la cual converge la corriente del aire de la célula correspondiente al Hemisferio Sur, *Alisios* del SE, dando lugar a la *zona de la convergencia intertropical (ZCIT)*. Durante el verano astronómico del Hemisferio Norte, dominan los centros de altas presiones en las alturas; éstos ocasionan el descenso de las masas de aire limitando el desarrollo de nubes convectivas, y por tanto las precipitaciones. Pero, la ZCIT está sujeta a los movimientos del Sol en el transcurso del año, y al comenzar el verano astronómico del Hemisferio Sur, ésta comienza a desplazarse hacia el Norte, situándose entre mayo y noviembre aproximadamente a $4-6^{\circ}$ N. Con su campo de bajas presiones, la ZCIT provoca el ascenso vertical de la atmósfera, saturándola de humedad y produciendo nubes y abundantes precipitaciones. Como consecuencia de esta dinámica anual en los desplazamientos de la ZCIT, en la región central de Los Llanos, la *estación húmeda* se extiende desde el mes de mayo hasta octubre, con abril y noviembre como *meses de transición*, mientras que desde diciembre hasta marzo, *estación seca*, las lluvias son muy raras o totalmente inexistentes (Monasterio 1970).

La ZCIT es uno de los sistemas meteorológicos más importantes que actúan en los trópicos (Silveira-Ferreira 2003). Debido a su estructura física, la ZCIT es decisiva en la caracterización de las diferentes condiciones de tiempo y de clima en diversas áreas de la región tropical global (ver Fig. III.1).

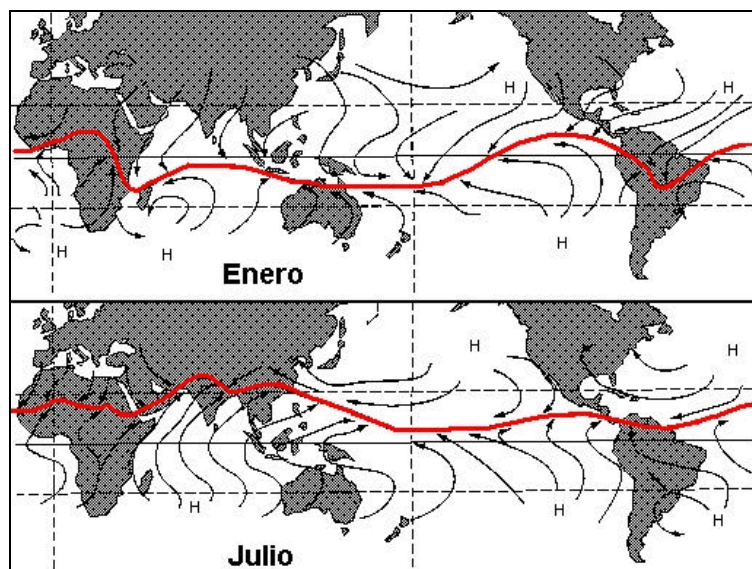


Figura III.1. En rojo, presencia de la *Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)* a escala global para dos momentos de su desplazamiento: al Sur en enero; y al Norte en julio. (Fuente: <http://meteo.nc/comprendre/glossaire/zcit.html>)

A pesar de que Los Llanos presentan esta “nitidez estacional”, existen perturbaciones que originan variabilidad interanual a través de sus efectos sobre las estaciones. El tiempo meteorológico en la ZCIT está íntimamente relacionado con la inestabilidad del aire, con la velocidad de los vientos convergentes y con el ángulo que forman estos vientos entre sí en su convergencia. Por lo tanto, es frecuente encontrar que la ZCIT se encuentra interrumpida. Al romperse la ZCIT se forma una zona de alta presión que la reemplaza en posición, formándose al Norte de ésta una pequeña zona de convergencia, fenómeno que parece ser corriente en Los Llanos y es a su vez la causante de las interrupciones del tiempo meteorológico derivado de la ZCIT, y se presentan como pequeñas pulsaciones secas o “veranitos” durante la estación húmeda (Freile 1969a y b, Casarim 1983, Silveira-Ferreira 2003) que introducen variabilidad.

Los *veranitos* no son fenómenos exclusivos de Los Llanos del Orinoco, sino que están presentes en cualquier estación húmeda dentro de la zona intertropical (Assad *et al.* 1994). Se tiene, por ejemplo, que para el Cerrado Brasileño, aún cuando presenta una estacionalidad temporalmente inversa a la de Los Llanos¹, los *veranitos* no sólo son fenómenos recurrentes en la estación húmeda (intra e interestacional), sino que representan un determinante ambiental adicional en la dinámica del sistema. En este sentido, y al realizar análisis de la dinámica espacial de *veranitos* de diferentes frecuencias y duración Wolf (1977), Cochrane *et al.* (1988), Nieuwolt (1989), Luchiari Jr. *et al.* (1986) y Assad *et al.* (1994) advierten sobre las implicaciones ecológicas por afectación potencial a la fenología al punto que recomiendan se reconsideren las actuales prácticas de conservación y agrícolas para amplios sectores del Cerrado brasileño. A parte de una breve referencia que hace Monasterio (1970) sobre la ocurrencia de *veranitos*, no existen trabajos previos que caractericen la variabilidad de la estación húmeda en Los Llanos del Orinoco, expresada en términos de su dinámica intra e interestacional a partir una amplia serie temporal, información imprescindible para conocer los efectos de su dinámica histórica en el sistema, además de iniciar el conocimiento en las tendencias actuales así como en la predicción de alteraciones potenciales futuras en la frecuencia y duración de los *veranitos* como escenario posible de cambio climático para las sabanas neotropicales.

Goldbrunner (1976), al observar que una sequía con 35% de déficit de precipitación que se presentó entre 1970 y 1974 en el centro de Venezuela y específicamente en el estado

¹ Producto de la dinámica espacio-temporal de la ZCIT, la *estación húmeda* en Los Llanos corresponde a la *estación seca* en el Cerrado, y viceversa.

Guárico, coincidía con la sequía Saheliana en África, advirtió que la variabilidad temporal de las precipitaciones en Venezuela pudiera estar acentuada por fenómenos climáticos que actúan a una escala espacial muy amplia y hasta global. Moreau y Deffit (1979) sostienen que es posible explicar parte de la variabilidad de las precipitaciones en Los Llanos a través de los registros históricos de aquellos fenómenos macroclimáticos con capacidad de inducir cambios en la temperatura del mar, más específicamente con el movimiento de masas de agua más frías o más calientes dentro del Atlántico o del Mar Caribe.

Efectivamente, la *Circulación Termohalina Atlántica* (THC) tiene un efecto potencialmente importante en el clima del Atlántico a través del transporte meridional de calor y agua dulce (Figura III.2, Delworth 2003). En una escala temporal de décadas a cientos de años, fluctuaciones en estos transportes pueden tener un impacto sustancial en las *temperaturas marinas superficiales* (SST), así como impactos potenciales en el clima de las regiones continentales adyacentes. Modelos recientes sugieren que cambios en la THC pueden afectar la posición meridional de la ZCIT, alterando la convección tropical y la circulación atmosférica a gran escala. La THC es a su vez afectada por la *Oscilación del Atlántico Norte* (NAO) al modular ésta los flujos de boyacidad superficial en el Atlántico Norte. Varios factores (gases de invernadero, SST tropical, etc.) pueden afectar la NAO, ésta a la THC y por último a la ZCIT (NRC 1998 y 2002). Como puede apreciarse en la Figura III.3, la NAO es la principal responsable de la variabilidad climática interanual y de series de tiempo mayores que se observa en el Hemisferio Norte (Hurrell 2000).

Estos procesos de retroalimentación con la variabilidad temporal en las precipitaciones no sólo han sido establecidos para otras variables macroclimáticas sino que pudiera existir además un comportamiento temporalmente diferenciable. Harzallah *et al.* (1996) y Enfield (1996) muestran evidencias donde las lluvias del Noreste de Brasil están influenciadas por dos procesos dinámicamente diferentes: en una escala temporal interanual las anomalías en la SST del Pacífico tropical causadas por *El Niño-Oscilación Sur* (ENSO) explican la variabilidad de las precipitaciones; en una escala de tiempo decadal, las variaciones en la SST del Atlántico tropical corresponden a aquellas de las lluvias. En ambos procesos, la dinámica de la ZCIT es significativamente afectada.

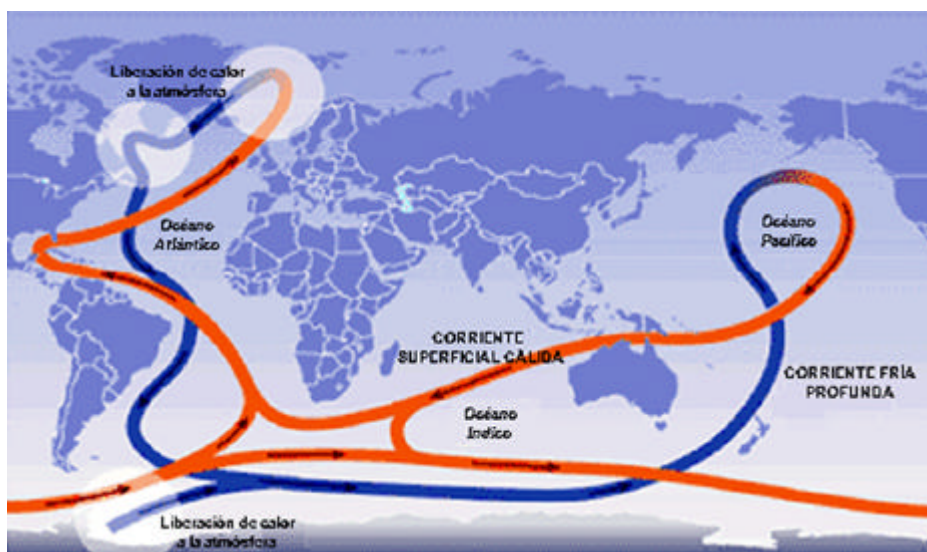


Figura III.2. Esquema que representa las principales características de la *Circulación Termohalina*. Aguas cálidas y de baja salinidad fluyen superficialmente al Norte del Atlántico, tornándose más salada (líneas rojas). El enfriamiento en el Atlántico Norte de esta agua más salada produce una densidad suficientemente elevada en el agua para que se hunda y fluya al Sur hacia las cuencas oceánicas (Tomado de Broecker 1995 y NRC 2002).

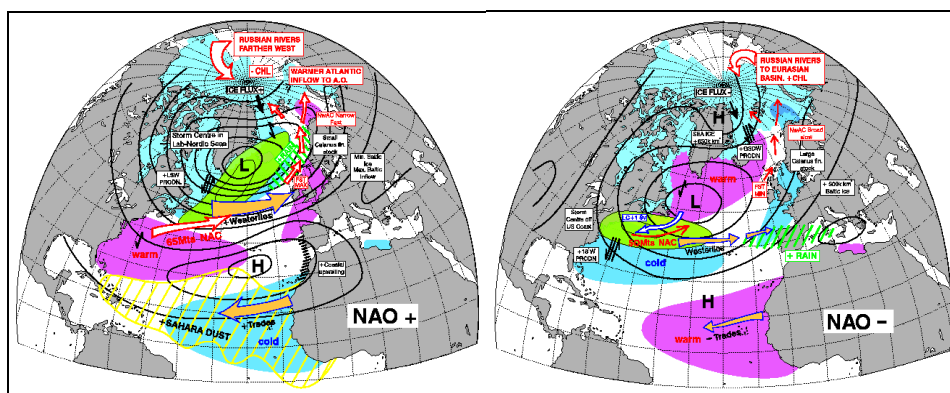


Figura III.3. Esquema que representa la variabilidad temporal de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y sus repercusiones espaciales. (Tomado de Stephenson 1999).

El Niño es considerado como una de las principales manifestaciones de variabilidad climática interanual global (Moreano 1984). Se le puede definir de un modo más preciso como el calentamiento anómalo de la superficie del mar (+2 °C) sobre los valores normales durante un periodo por lo menos de cuatro meses a lo largo de la línea ecuatorial en los sectores central y oriental del Pacífico tropical. Este calentamiento anómalo de la superficie del mar está asociado a una vasta fluctuación de la presión atmosférica (SOI, *Índice de Oscilación del*

Sur) entre ambos flancos (Este-Oeste) del océano. La ocurrencia de *El Niño* es cíclica, no periódica. Su frecuencia de aparición varía, según los autores, con intervalos entre 3 y 8 años (Chávez 1987); 3 y 16 años (Lagos 1997); 2 y 12 años (Rossel *et al.* 1997); 1 y 5 años (Yesid *et al.* 1997); 2 y 7 años (Nash 1998); 4 y 7 años (Glantz 1997^a); 3 y 7 años (Trenberth 1997b); 4 y 5 años (Stuller 1998). Existe una gran incertidumbre acerca de las relaciones entre ENSO y la dinámica de otros índices macroclimáticos (*eg.* NAO). Se puede apuntar que su ciclo está cambiando en cuanto a la periodicidad – periodicidad que nunca fue rigurosa sino caótica, y se presenta cada vez con mayor asiduidad, sobre todo en forma de episodios extraordinarios (Capel-Molina 1999).

La incorporación y posterior extensión en el uso de índices macroclimáticos para la interpretación de la dinámica climática histórica han permitido avanzar en la diferenciación entre la *variabilidad natural*, presente en cualquier serie temporal amplia de datos climáticos de una región particular, con aquella variabilidad que responde a eventos cuya escala está comprendida dentro de los cambios globales. La noción de *estabilidad climática*, paradigma presente hasta principios de la década de los años 90, ha sido significativamente reformulada. Los secuenciales informes del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 1990, 1992, 1995, 1996^a, 1996^b, 1996^c, 1998, 2001^a y 2001^b), así como los del *National Research Council* (NRC-CGCR 1989, 1990^a, 1990^b, 1999, NRC-PCVDCTS 1998 y NRC-CHDGC 1999), plantean que el clima no solo ha cambiado, está cambiando y continuará haciéndolo, con o sin influencia antropogénica.

Debido a que los informes anteriores se desarrollaron para responder preguntas como: ¿qué pasaría si el CO₂ se duplica? Estos reflejan inquietudes centradas primariamente en escenarios de *cambios climáticos graduales* donde se simulaba una situación donde el clima se desplazaba lentamente de un estado inicial a uno final (*ie.* uno más cálido). Pero, sería un error considerar que los cambios climáticos suceden con una lentitud suficiente para que el medio ambiente, las estructuras sociales y económicas, las ecológicas e incluso las biológicas se adapten con facilidad y sin traumas a tales modificaciones en el clima (Capel-Molina 1999).

Evidencias geológicas y paleoclimáticas colectadas en las últimas décadas muestran que el clima puede cambiar abruptamente, afectando regiones hemisféricas hasta globales de forma repetida (Broecker 1995 y 1997). Cambios de hasta 16°C y de un factor de 2 para las precipitaciones se han presentado en algunos lugares por periodos tan cortos como décadas a

unos pocos años (Alley y Clark 1999, Lang *et al.* 1999). Técnicamente, un *cambio climático abrupto* ocurre cuando el sistema climático es forzado a cruzar determinado umbral, desatando una transición a un nuevo estadio a una tasa que viene determinada por el mismo sistema climático y es más rápido que la misma causa. Los procesos caóticos en el sistema climático pueden permitir que la causa de un cambio climático abrupto pase casi de forma inadvertida (NRC-CACC 2002). Desde este punto de vista, un cambio climático abrupto es aquel que ocurre tan rápidamente y de forma inesperada que los sistemas naturales y humanos tienen dificultades en adaptarse a la nueva situación. En todo caso, es muy probable que los impactos de los cambios climáticos abruptos serán tanto mayores como más agudos que aquellos bajo un cambio climático gradual según los planteados por los informes del IPCC. La principal razón para esta diferencia es que los sistemas sociales, económicos y ecológicos usualmente se adaptan más fácilmente a los cambios anticipables y graduales (NAST 2000). La historia del hombre, por ejemplo, ha estado moldeada realmente por eventos abruptos. Los registros geológicos sugieren que sequías abruptas pero persistentes causaron la desintegración de la cultura Maya (Hodell *et al.* 1995, Gill 2000) y que cambios también abruptos fueron los responsables del colapso de la civilización Mesopotámica (Weiss *et al.* 1993). No existe ninguna razón que lleve a pensar que los cambios climáticos abruptos no ocurrirán nuevamente. Más aún, los registros paleoclimáticos muestran que los cambios más dramáticos en el clima han ocurrido cuando los factores que controlan el sistema climático cambiaban. Esto tiene importantes implicaciones para el clima futuro ya que sugiere que una perturbación humana creciente en el sistema terrestre incrementa las posibilidades de un cambio climático abrupto (NRC-CACC 2002).

Se hace imperativo entonces, generar y/o mejorar el conocimiento sobre: 1.- evaluación de las probabilidades de su ocurrencia en el futuro cercano; 2.- la identificación de los umbrales de cambio del clima global; 3.- los procesos de retroalimentación entre los índices macroclimáticos y la variabilidad regional en el clima; y sobre todo, 4.- prever sus consecuencias en el funcionamiento de los sistemas naturales y humanos (NRC-PCVDCTS 1998).

Dentro del contexto de los objetivos planteados en el Capítulo I y de las inquietudes surgidas en la discusión del Capítulo II, corresponde a este estudio evaluar aspectos a los dos últimos puntos. Por lo tanto, en el presente capítulo se plantea como objetivo identificar aquellas variables que han participado en la evolución histórica de las precipitaciones en la

región central de Los Llanos del Orinoco y especialmente a las zonas cercanas al área de estudio definido en el Capítulo II. A través del análisis de datos de la mayor serie temporal disponible se pretende caracterizar la estacionalidad al diferenciar aquellos meses con menor precipitación de los de mayor precipitación, identificando a su vez los meses que representen una situación transitoria entre ambas estaciones. En base anual, estacional y mensual, se evaluarán los efectos en la dinámica temporal resultante de los días con precipitación y la presencia de veranitos de diferente magnitud. Lo anterior será relacionado a valores históricos de los diferentes índices macroclimáticos para establecer la existencia de interrelación y el grado de contingencia entre la dinámica de las precipitaciones del área de estudio y la variabilidad y las tendencias de los cambios climáticos globales.

III.2. Materiales y Métodos

III.2.1. Definición de la *Ventana de Trabajo*

El principal problema a enfrentar en el análisis temporal de las precipitaciones es que en los 172 km² que abarca el *Área de Estudio*, definido en el Capítulo II, no existen estaciones pluviométricas (Figura III.4). La estación más próxima se encuentra a más de 20 km de distancia y sus registros sólo cubren los últimos 44 años (Estación Palenque, Serial 3502¹, Lapso 1953-1997). Según los objetivos planteados en este capítulo, y en el estudio general, es importante establecer cual ha sido la dinámica de las precipitaciones en la zona a varias escalas temporales de trabajo. Para generar datos confiables y representativos de la historia de las precipitaciones se decidió por establecer una *Ventana de Trabajo* conformada por estaciones pluviométricas que pertenecían a la misma provincia climática. Partiendo del centro geométrico del *Área de Estudio*, coordenadas LAT 8°50'10,5'' N y LON 66°44'26,6'' W (UTM, Huso 19: LAT 748.500, LON 977.500), y describiendo una espiral excéntrica, fueron consideradas para conformar la *Ventana de Trabajo* todas aquellas estaciones que presentaban una misma distribución relativa anual de precipitaciones. Esto se realizó hasta lograr disponer de datos suficientes para cubrir la serie temporal más amplia dentro del menor radio de *ventana* posible. Los datos de las estaciones fueron suministrados por el Servicio de Hidrología del Ministerio del ambiente (MARN).

Según Fernández-García (1996), un análisis espacial como el que se plantea en este trabajo permite establecer las relaciones entre los valores puntuales registrados en una población de estaciones pluviométricas e identificar los factores que los determinan. Se trata, por tanto, de un modelo de distribución espacial que permite extrapolar la información puntual a un espacio más extenso con el fin de poder inferir la precipitación registrada en un área de particular interés. Tradicionalmente, los mapas de isoyetas han servido como principal herramienta en la modelización espacio-temporal de la dinámica de las precipitaciones. Las isoyetas son líneas que unen puntos de igual precipitación, por lo que en realidad definen áreas de precipitación cuyo valor corresponde a la media de las dos isoyetas que lo delimitan. La

¹ Serial asignado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

densidad de estaciones y los valores registrados en ellas condicionan el intervalo de su trazado. En el presente trabajo, el programa SURFER™ sirvió para establecer las relaciones espaciales y obtener las representaciones gráficas que resultaban de interpolaciones Krigging. La interpolación Krigging es un método geoestadístico de cuadrícula que permite la expresión espacial de las tendencias de una población de datos.

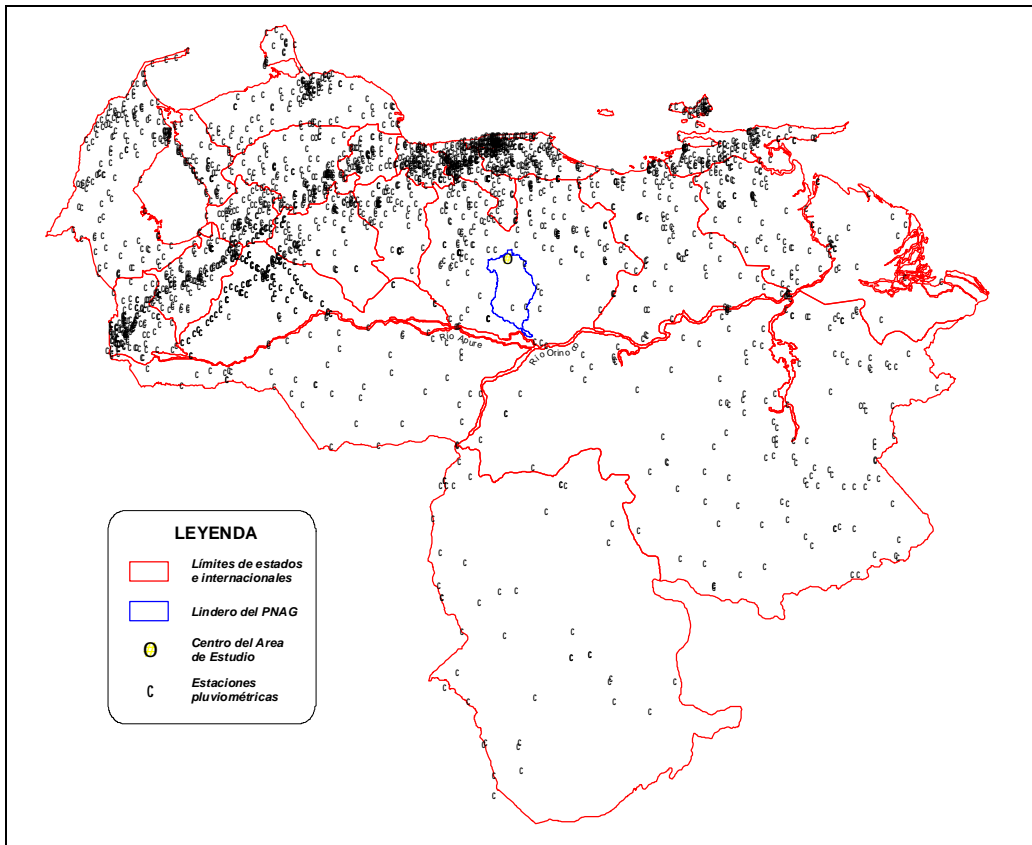


Figura III.4. Distribución espacial de las estaciones con registros pluviométricos en base mensual disponibles en el MARN.

III.2.2. Análisis de los datos de la *Ventana de Trabajo*

Los datos de la *ventana de trabajo* fueron analizados sobre la base de diferentes escalas temporales, a saber: *mensual*, *estacional* y *anual*. Sobre la estacionalidad en Los Llanos del Orinoco, Monasterio (1970) y Goldbrunner (1976) plantean la existencia de dos períodos de transición entre las dos principales estaciones climáticas: seca y lluviosa. Los datos de las estaciones pluviométricas que conforman la *Ventana de Trabajo* se encuentran originalmente

en base mensual; en este sentido, para confirmar la observación de estos autores así como facilitar el estudio de la dinámica temporal de la estacionalidad presente, se procedió a agrupar, en primer lugar, aquellos meses contiguos que por sus valores de precipitación media, relativa al total anual, pudieran ser identificados fácilmente como pertenecientes a una de las dos principales estaciones. Luego, aquellos meses contiguos cuyos valores se ubicaran intermedios a estos dos principales grupos, fueron a su vez agrupados y tratados como de transición a la estación húmeda (*entrada de las lluvias*) y a la estación seca (*salida de las lluvias*).

La serie completa de datos en base mensual comprende 76 años. Sobre ésta se realizaron análisis de la variación temporal medias relativas mensuales, estacionales y anuales agrupando los datos en 4 series anuales contiguas de 19 años cada una: 1922-1940, 1941-1959, 1960-1978 y 1979-1997. Tanto el análisis sobre la base de series anuales, así como los otros análisis arriba descritos, están referidos a una media relativa (mensual, estacional o anual según el caso) a la de la serie. Las series se escogieron no sólo en base a que fueran de igual duración, sino también a que fueran representativas de la historia pluviométrica previa a cada misión aerofotográfica fotointerpretada en el Capítulo II del presente trabajo (1938, 1961, 1978 y 1997), información que facilitaría la identificación de posibles relaciones entre la dinámica espacio-temporal de las leñosas y aquella de las precipitaciones (Capítulo IV).

III.2.3. Análisis en base diaria de las precipitaciones

Para el análisis en base diaria se utilizaron los datos de aquella estación pluviométrica más cercana al centro geométrico del área de estudio y con la mayor cantidad de años de registros ininterrumpidos disponibles. En este caso, la estación *San Fernando de Apure* (Serial 4404), ubicada a 129 km y con 37 años (1961-1997), presentaba la base de datos de registros más confiable y extensa de aquellas disponibles en el MARN. Además, Goldbrunner (1976) sostiene que, para conocer la distribución diaria anual de la precipitación en gran parte de Venezuela con sus períodos de sequía y lluvia, San Fernando de Apure puede servir de prototipo.

Considerando como *día de precipitación* aquel que presentara una intensidad 0,1 mm/día, se realizaron análisis de su frecuencia mensual, estacional y anual agrupándolos en

clases de frecuencia cuyas intensidades (en mm/día) correspondían a: <1, 1-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75 y >75. La significación en las relaciones entre la distribución temporal de los eventos de precipitación de diferentes intensidades y con las precipitaciones medias mensuales, estacionales y anuales, se establecieron a través de correlaciones *Pearson*. Esto para las series anuales **1961-1978** (18 años), **1979-1997** (19 años) y global (**1961-1997**, 37 años).

Para el análisis de la dinámica temporal de *veranitos*, definidos estos como aquella serie 5 días consecutivos con precipitaciones de <1mm comprendida dentro la estación húmeda (Assad *et al.* 1994); en nuestro caso, desde abril hasta noviembre. Para facilitar los análisis, los *veranitos* fueron agrupados en tres clases: de **5 días**, de **10 días** y de **15 días** de duración. En cada caso y dependiendo de la escala temporal considerada, la frecuencia de *veranitos* fue correlacionada (*Pearson*) con la distribución media de las precipitaciones mensual, estacional o anual, según el caso.

III.2.4. Relación entre las precipitaciones de la *ventana de trabajo* y la dinámica temporal de las *variables macroclimáticas*

Para establecer las posibles causas de la variabilidad temporal de las precipitaciones para la *ventana de trabajo* se analizaron las correlaciones *Pearson* que resultan al relacionar las bases de datos mensuales de precipitación con aquellas de las principales *variables macroclimáticas* (VM). Para identificar y conocer mejor posibles interacciones entre las precipitaciones y las VM, el análisis se realizó bajo siete condiciones diferentes de retardo o *lags* en las VM: 0, -1, -2, -3, -4, -5 y -6. Es decir, una población de datos de precipitación para un tiempo *t* era relacionada con aquella de las VM para un tiempo *t-n*. Por ejemplo, para un *lag* -3 los datos de precipitación de octubre eran relacionados con aquellos de las VM del julio anterior. Para un *lag* 0, los datos tanto de precipitación como de las VM correspondían al mismo mes del mismo año. Para facilitar la identificación de posibles relaciones entre las precipitaciones y las VM, se decidió agrupar los datos utilizando las mismas series anuales empleadas en la sección III.2.2, es decir: 1922-1940, 1941-1959, 1960-1978 y 1979-1997; así como la serie completa de 76 años 1922-1979.

La selección de las *VM* se realizó en base a información disponible en la bibliografía sobre los efectos directos o indirectos, positivos o negativos, de sus dinámicas (teleconexiones) en el clima del norte de Sudamérica y el Caribe, y por consiguiente en el área que comprende el presente estudio. Según el NRC-PCVDCTS (1998), Giannini *et al.* (2000), Hurrell (2000), Hurrell y Deser (2001), Martelo (2002) y el NRC-CACC (2002), las principales *VM* para considerar son las variables atmosféricas: *Oscilación del Atlántico Norte (NAO)*, *Índice de Oscilación Sur (SOI)* e *Índice del Pacífico Norte (NPI)*, que expresan la diferencia en la presión atmosférica a nivel del mar (*SSP*) entre dos puntos geográficos distintos; así como las variables oceánicas: *Atlántico Norte Tropical (NATL)*, *Atlántico Sur Tropical (SATL)*, *Región Niño 3.4 (N34)*, *Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)* y *Norte del Atlántico Norte (NAN)*, cuyas unidades expresan la temperatura media de la superficie del mar (*SST*) en una región determinada. De igual forma, y dentro también del contexto de los cambios climáticos globales, hemos incluido en los análisis información sobre la variabilidad temporal de las temperaturas tanto marinas como terrestres para una extensa región comprendida entre los paralelos 20°N-20°S (**TROPICO 20-20**), así como la temperatura global (**GLOBAL**). En la Tabla III.1 se presenta una lista de las *VM* seleccionadas y la fuente donde se obtuvieron los datos; la Figura III.5 expresa la distribución espacial de algunas de estas *VM*.

Tabla III.1. Variables macroclimáticas usadas para explicar la variabilidad temporal en las precipitaciones del área de estudio.

Variable Macroclimática	Nombre	Unidades ²	Fuente
<i>NAO</i>	Oscilación del Atlántico Norte	<i>SSP</i> – anom.	http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm
<i>SOI</i>	Índice de Oscilación Sur	<i>SSP</i> – anom.	http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi.htm
<i>NPI</i>	Índice del Pacífico Norte	<i>SSP</i> – anom.	http://www.egd.ucar.edu/cas/catalog/climind/np.html
<i>NATL</i>	Atlántico Norte Tropical	<i>SST</i> – anom.	http://www.cdc.noaa.gov/Correlation/tna.data
<i>SATL</i>	Atlántico Sur Tropical	<i>SST</i> – anom.	http://www.cdc.noaa.gov/Correlation/tsa.data
<i>N34</i>	Región Niño 3.4	<i>SST</i> – anom.	http://www.egd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34/index.html#Sec5
<i>PDO</i>	Oscilación Decadal del Pacífico	<i>SST</i> – anom.	http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest
<i>NAN</i>	Norte del Atlántico Norte	<i>SST</i> – anom.	http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/#surface_temperature_time_series
TROPICO 20-20	Temperatura entre 20°N-20°S	<i>Temp</i> – anom.	http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/tropical_sstanomts/
GLOBAL	Temperatura Global	<i>Temp</i> – anom.	http://www.cru.uea.ac.uk/cru/climon/data/themi/

² *SSP* – presión atmosférica a la superficie del mar; *SST* – temperatura de la superficie del mar; *Temp.* – incluye tanto temperaturas atmosféricas marinas como terrestres; todas como unidades de anomalía.

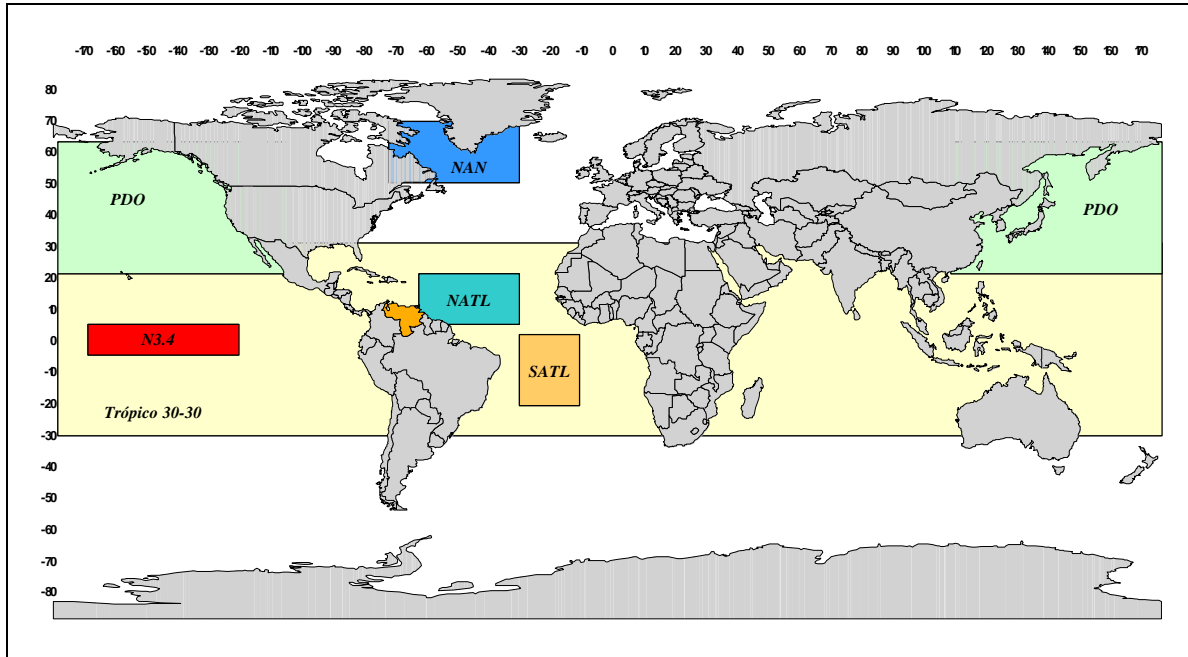


Figura III.6. Ubicación relativa de las regiones donde se obtienen los registros de temperatura para las variables macroclimáticas *Atlántico Norte Tropical* (NATL), *Atlántico Sur Tropical* (SATL), *Región Niño 3.4* (N3.4), *Oscilación Decadal del Pacífico* (PDO), *Norte del Atlántico Norte* (NAN), así como la de la zona entre los paralelos 20°N-20°S (TROPICO 20-20). La VM GLOBAL comprende el área total de esta figura.

III.2.5. Relación entre las precipitaciones diarias para San Fernando de Apure y la dinámica temporal de las *variables macroclimáticas*

Los resultados de la sección III.2.3 de este Capítulo sobre las variaciones interanuales e interestacionales en el número de días con precipitaciones de diferente intensidad, de días secos y de días secos vinculados a *veranitos*, serán correlacionados con los valores de anomalía correspondientes de las *variables macroclimáticas* descritas en la sección anterior. Para facilitar la interpretación de los resultados, los análisis se harán agrupando los datos en las mismas series de la sección III.2.3, a saber: **1961-1978**, **1979-1997** y **1961-1997**.

III.3. Resultados

III.3.1. Análisis espacial y temporal sobre la totalidad de la base de datos disponible

La Figura III.5 muestra las isoyetas que resultan de la interpolación Krigging de los promedios anuales para las 1.005 estaciones pluviométricas con datos disponibles (ver Fig. III.4). El polígono en azul se refiere a los límites del PNAG¹. Las isolíneas son confiables sólo para el territorio nacional: la sección Sur-Oeste, perteneciente a Colombia; la sección Sur-Este, Brasil; y la perteneciente al Mar Caribe (Norte), pueden reflejar estimaciones con una elevada probabilidad de error debido a la ausencia de datos (estaciones pluviométricas) para estas regiones. De la figura se puede confirmar la existencia del gradiente Norte-Sur de precipitaciones así como la influencia del relieve sobre su distribución espacial.

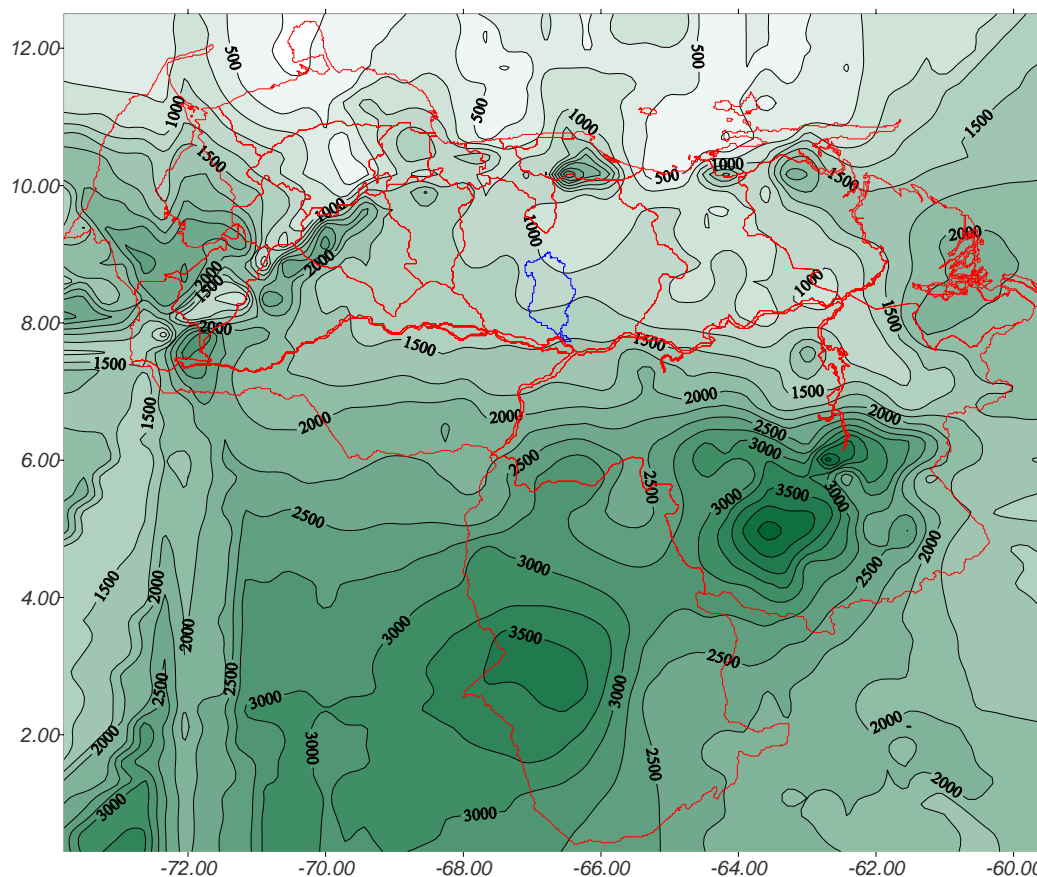


Figura III.5. Isolíneas de precipitación (en mm) para la media anual en Venezuela. Línea en azul representa los límites del PNAG.

¹ Parque Nacional Aguaro-Guariquito

La serie de Figuras III.6 a la III.9 muestra las isolíneas de precipitación que resultan de la interpolación de los promedios agrupados en varias series temporales identificados como de especial interés para la región de Los Llanos por la bibliografía (Goldbrunner 1963, Monasterio 1970, Moreau y Deffit 1979) en lo que respecta a la distribución anual de las precipitaciones: meses más secos (Figura III.6); entrada o transición a las lluvias (Figura III.7); meses más húmedos (Figura III.8); y salida o transición a la estación seca (Figura III.9).

En la Figura III.6 se observa que durante el cuatrimestre diciembre-enero-febrero-marzo más de 2/3 del territorio nacional presenta precipitaciones que corresponden apenas al 10% del total anual (<5% para el PNAG), es decir a un período o estación definitivamente seco. Por otro lado, en la región deltáica y el extremo Sur de Venezuela las precipitaciones acumuladas para el mismo cuatrimestre pueden alcanzar el 25% del total anual; mientras que para la región andina, sur del Lago de Maracaibo y buena parte del litoral venezolano, las precipitaciones pueden superar el 30% del total anual.

La Figura III.7 muestra que para el bimestre abril-mayo las precipitaciones acumuladas presentan un gradiente Sur-Norte, donde para el PNAG este puede llegar a ser >15%. En el litoral desciende a <10%, en el Delta del Orinoco <15% y <20% en el estado Zulia y Los Andes.

Durante los siguientes cuatro meses (junio-julio-agosto-septiembre), a excepción de las tierras bajas del estado Táchira y parte Sur del Lago de Maracaibo, el territorio nacional presenta una condición definitivamente más húmeda. Esto es especialmente cierto para la región que comprende Los Llanos del Orinoco (>55% del total anual, Figura III.8) con un máximo de >70% en el centro de esta región (incluye al PNAG), disminuyendo progresivamente hacia el Sur, y de forma casi abrupta hacia el Oeste por las barreras orográficas impuestas por la Cordillera de Los Andes y de la Costa hacia el Norte.

Finalmente, y con respecto al análisis espacial de las precipitaciones en Venezuela para diferentes series temporales, la Figura III.9 señala un gradiente en las precipitaciones de octubre-noviembre: <20% al Norte y <15% al Sur. Nuevamente, la región deltáica, Sur del Lago, andina y costera muestran valores diferenciables de aquella de Los Llanos: por lo general, >25%.

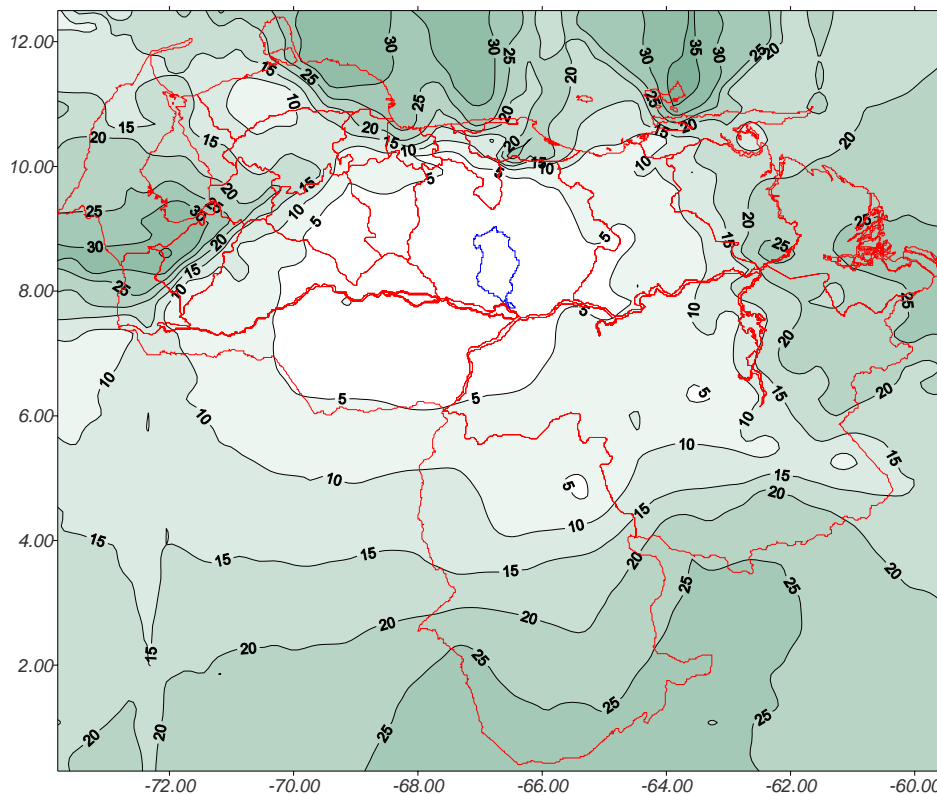


Figura III.6. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para el lapso diciembre-enero-febrero-marzo. Línea en azul representa los límites del PNAG.

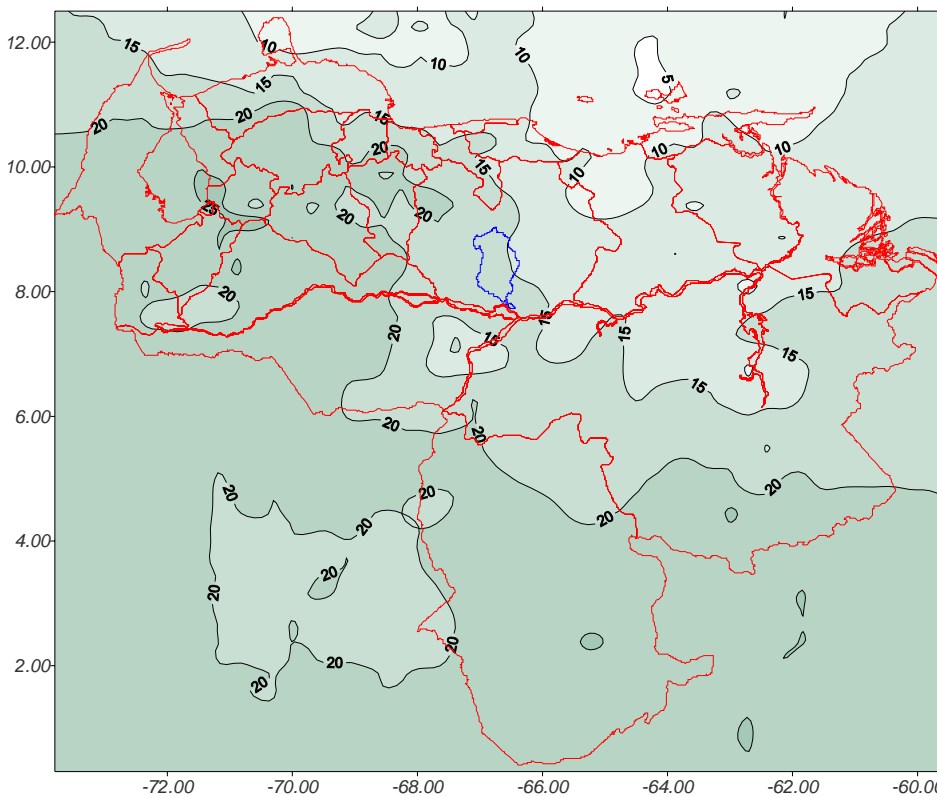


Figura III.7. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para el lapso abril-mayo. Línea en azul representa los límites del PNAG.

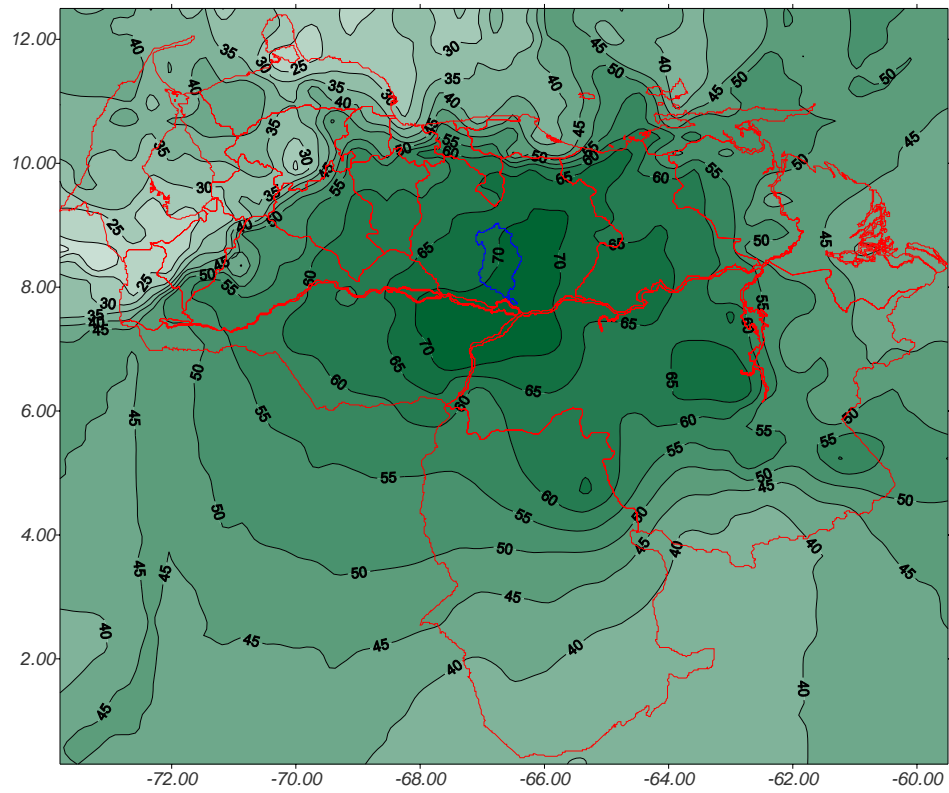


Figura III.8. Isolneas de precipitación relativa (% de la media anual) para el lapso junio-julio-agosto-septiembre. Línea en azul representa los límites del PNAG.

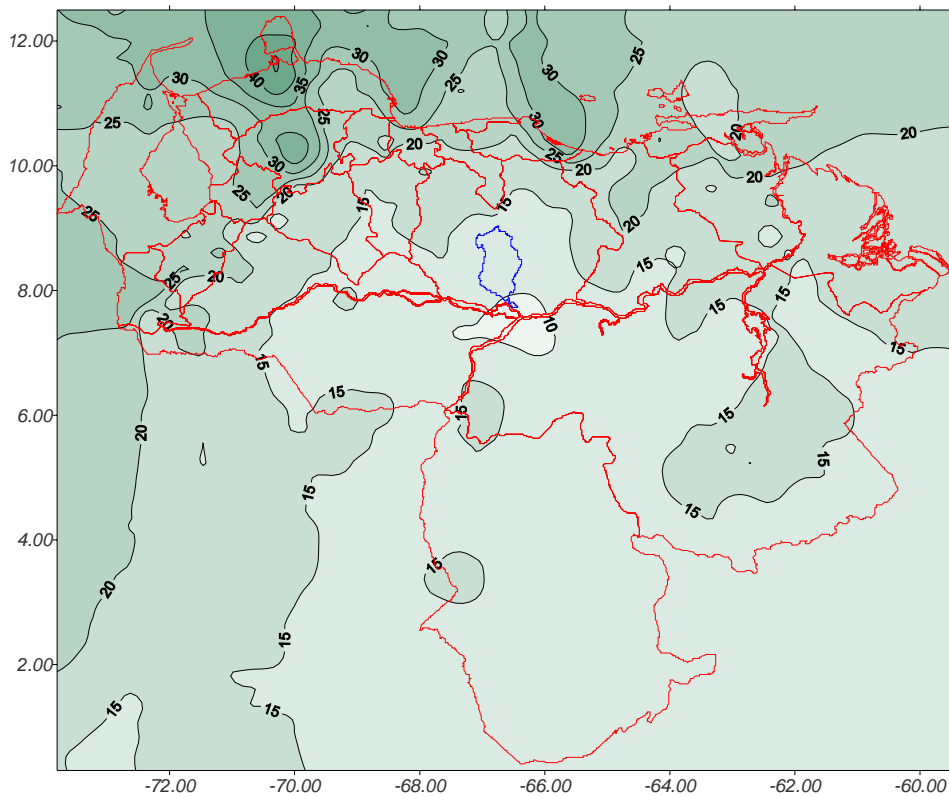


Figura III.9. Isolneas de precipitación relativa (% de la media anual) para el lapso octubre-noviembre. Línea en azul representa los límites del PNAG.

III.3.2. Análisis espacial y temporal de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*

La Figura III.10 muestra la distribución espacial de las estaciones pluviométricas del MARN con datos en base mensual y que han servido para definir la *ventana de trabajo*, y contienen la información analizada agrupándolos en base a diferentes series temporales: mensual, estacional, anual y series anuales.

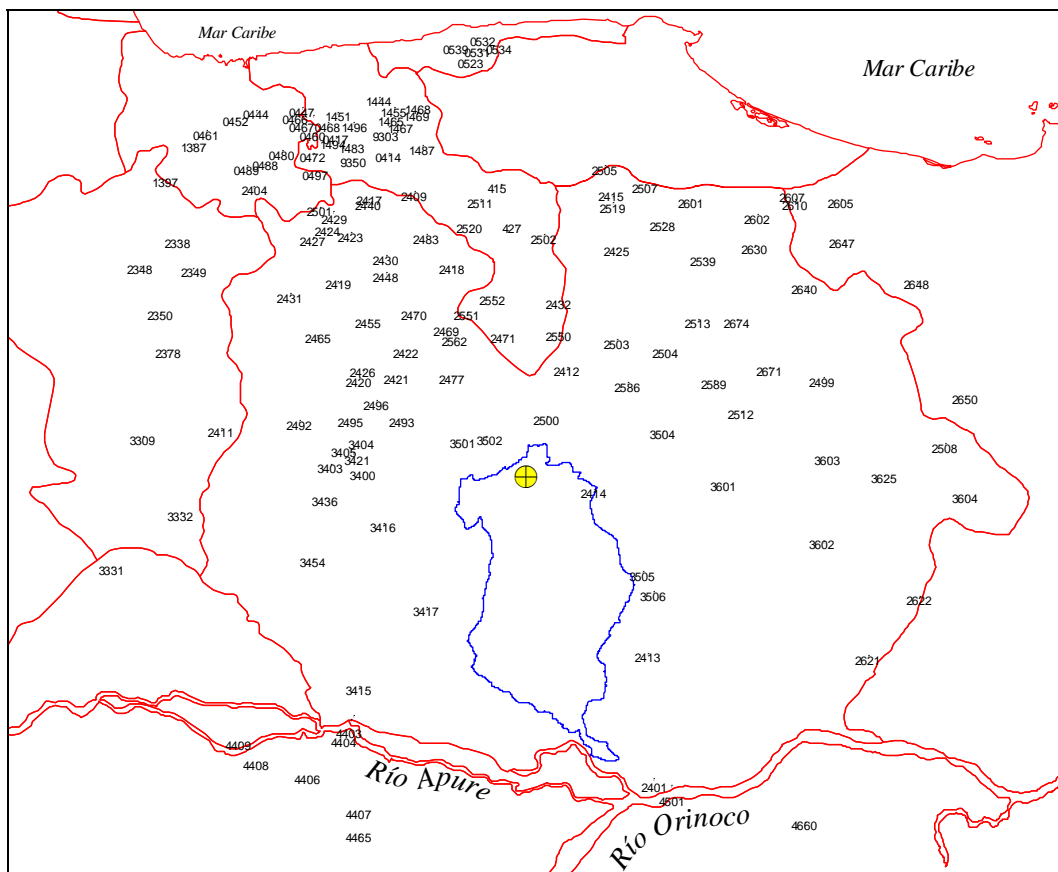


Figura III.10. Distribución espacial de las estaciones con registros pluviométricos disponibles en el MARN. Los números se refieren al serial de cada estación.

En la Tabla III.1 se presenta la lista de 146 estaciones seleccionadas ordenadas por su distancia al centro geométrico de *área de estudio* (UTM, Huso 19: LAT 748.500, LON 977.500). La estación más próxima es Palenque (serial 3502, a 24,5 km al NW) y la más lejana es Valencia (seriales 0461 y 1387, a 205 km al NW). La *ventana de trabajo* incluye 74 estaciones del estado Guárico, 31 de Aragua, 10 de Carabobo, 8 de Anzoátegui, 8 de Cojedes, 7 de Apure, 5 del Distrito Capital, 2 de Bolívar y 1 de Barinas. La precipitación media anual para la *ventana de trabajo* es de 1.063,2 mm.

Tabla III.1. Estaciones que conforman la *ventana de trabajo*. El serial corresponde a aquel asignado por el MARN. La disponibilidad de datos se refiere al lapso y al número de años con datos disponibles, y empleados en los análisis. La distancia se refiere a aquella (en km) que existe entre la estación pluviométrica y el centro geométrico del *área de estudio* (UTM, Huso 19: LAT 748.500, LON 977.500).

Serial	Estado	Estación	Coordenadas		Disponibilidad de datos			Distancia del área de estudio		Precipitación media relativa (%) mensual											pp media anual (mm)	
			LAT	LON	desde	hasta	Años	km	Dir.	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct		Nov
3502	Guárico	PALENQUE-DISPENSARIO	8,99	-66,90	jun-52	dic-97	46	24,5	NW	0,6	0,1	0,1	0,2	4,3	12,6	17,2	18,2	20,2	12,4	9,9	4,1	1037,9
2500	Guárico	EL PUNZON	9,07	-66,66	ene-71	dic-97	27	26,8	NE	0,6	0,1	0,0	0,2	4,7	11,9	15,3	20,5	18,3	14,5	9,5	4,4	762,4
2414	Guárico	VAQUERITO	8,78	-66,47	jul-67	dic-97	30	30,4	ESE	1,0	0,3	0,3	0,3	4,5	10,0	17,1	23,0	19,6	12,4	8,5	3,1	940,9
3501	Guárico	EL CALVARIO	8,98	-66,99	jun-52	dic-83	32	32,4	WNW	0,8	0,1	0,1	0,2	3,9	14,3	17,6	18,6	18,6	12,7	8,7	4,3	1195,8
2412	Guárico	PIRITAL	9,26	-66,58	jul-67	dic-83	16	50,6	NNE	0,6	0,6	0,3	0,4	3,5	15,3	17,3	17,3	19,7	12,7	8,2	4,1	813,1
2477	Guárico	ENCROJUADA-CALABOZO	9,23	-67,03	jul-52	jul-96	44	53,7	NW	0,8	0,2	0,3	0,5	4,1	14,3	18,0	17,7	17,5	11,7	10,2	4,7	1065,2
2586	Guárico	ROBLECITO	9,20	-66,34	ene-41	dic-70	30	60,1	NE	2,6	0,4	0,3	0,1	2,7	12,5	18,6	22,6	17,4	10,7	8,2	3,9	1020,6
2493	Guárico	PALO SECO	9,06	-67,23	feb-52	dic-97	46	60,2	WNW	0,9	0,2	0,5	0,8	5,2	13,2	16,8	17,3	18,0	12,3	9,3	5,6	1074,8
2471	Guárico	KILOMETRO 25	9,39	-66,83	sep-62	dic-97	35	62,0	N	1,1	0,2	0,2	0,3	3,9	14,5	16,8	19,3	16,6	10,4	11,0	5,7	893,9
3504	Guárico	LA CULEBRA	9,01	-66,20	ene-69	dic-97	29	62,9	ENE	0,8	0,4	0,4	0,4	3,1	10,4	18,8	17,9	20,3	13,7	9,3	4,6	889,0
2550	Guárico	MEMO KILOMETRO 50	9,40	-66,61	ago-61	dic-97	36	63,4	NNE	1,4	0,2	0,2	0,9	3,3	13,0	18,7	18,4	18,1	11,8	8,6	5,4	861,0
3416	Guárico	EL MANGUITO	8,65	-67,30	mar-69	dic-97	29	65,8	WSW	0,4	0,1	0,0	0,8	4,0	14,3	14,3	19,6	19,1	13,6	8,6	5,2	1288,0
3505	Guárico	SAN ANTONIO	8,46	-66,28	ene-69	dic-97	29	66,5	SE	0,9	0,2	0,2	0,6	2,4	11,8	16,4	21,1	18,3	14,4	9,0	4,8	1236,7
2562	Guárico	CARRIZAL-B.A.	9,39	-67,02	ene-53	sep-87	35	68,4	WNW	1,3	0,5	0,1	0,8	2,9	13,6	19,2	16,2	17,7	11,6	10,7	5,4	1011,5
2469	Guárico	EL SOMBRERO	9,39	-67,05	abr-43	dic-97	55	70,1	NNW	1,5	0,3	0,2	0,5	4,2	12,8	18,3	18,7	16,3	11,5	10,1	5,5	1028,2
2503	Guárico	LOS ARBOLITOS	9,37	-66,38	abr-68	dic-97	30	70,8	NE	1,3	0,4	0,3	0,4	2,8	12,4	18,3	18,1	19,0	13,1	10,2	3,7	830,0
3400	Guárico	ESTACIÓN BIOLÓGICA LOS LLANOS	8,85	-67,38	ene-69	dic-97	29	71,6	W	0,8	0,2	0,3	0,6	5,1	13,4	17,2	17,5	18,5	11,7	9,9	4,9	1326,5
2421	Guárico	LA JUANERA	9,23	-67,25	feb-69	dic-83	15	71,6	NW	0,9	0,6	0,1	0,3	7,1	13,3	13,9	15,7	18,2	12,1	13,1	4,8	973,3
3417	Guárico	PASO EL CABALLO	8,32	-67,13	abr-69	dic-97	29	72,2	SW	0,4	0,1	0,1	0,7	4,6	11,5	15,1	20,6	18,2	14,6	9,8	4,2	1182,7
2496	Guárico	LA CEIBA	9,13	-67,33	ago-52	dic-70	18	73,6	WNW	1,2	0,2	0,1	1,2	3,1	12,0	17,2	19,5	18,9	11,2	10,4	5,0	1182,1
2422	Guárico	SOSA	9,33	-67,21	ago-70	dic-83	13	75,2	NW	0,6	0,4	0,7	0,6	5,5	13,2	15,2	17,0	17,4	12,5	12,4	4,6	931,0
2551	Aragua	BARBACOAS	9,48	-66,97	jul-52	dic-95	43	75,5	NNW	1,4	0,4	0,2	0,7	4,0	12,4	18,3	17,3	17,7	12,1	10,5	5,1	1041,0
3506	Guárico	TORO NEGRO	8,38	-66,24	jul-69	may-96	27	75,6	SE	0,5	0,2	0,2	0,5	3,1	9,4	16,4	19,1	22,1	14,4	9,8	4,4	1279,5
3404	Guárico	CALABOZO-AEROPUERTO	8,93	-67,42	ene-52	jul-57	6	76,0	W	0,6	0,2	0,0	1,7	3,1	9,6	18,0	21,2	17,1	14,1	11,1	3,3	1348,5
3421	Guárico	CALABOZO-AEROPUERTO	8,93	-67,42	jul-90	nov-97	7	76,0	W	0,4	0,0	0,1	1,5	5,5	10,1	22,9	19,5	13,5	12,5	8,7	5,2	1300,3
2432	Aragua	LOS GUIRES	9,52	-66,61	jul-67	dic-95	28	77,3	NNE	0,9	0,2	0,2	0,2	3,2	12,4	18,6	17,6	18,2	14,6	9,5	4,4	733,2
3405	Guárico	CALABOZO	8,94	-67,43	ene-21	jun-50	29	77,4	W	1,0	0,1	0,3	0,7	5,3	13,1	14,6	17,8	16,7	14,0	9,9	6,5	1305,8
2552	Aragua	EL PLAYON	9,54	-66,87	ago-62	dic-95	33	79,7	NNW	1,0	0,3	0,2	0,5	2,9	13,6	19,6	17,7	16,7	11,6	10,1	5,6	949,9
2495	Guárico	EL RASTRO	9,06	-67,43	jun-58	dic-83	26	81,2	WNW	1,0	0,1	0,2	0,6	5,3	13,5	18,3	17,0	18,1	11,1	9,6	5,1	1187,3
2504	Guárico	SALINETAS MANAPIRE	9,33	-66,19	abr-68	dic-97	30	81,9	NE	1,6	0,5	0,2	0,4	2,4	10,9	19,5	20,7	15,8	14,6	8,8	4,6	886,4
2420	Guárico	MAPURITE	9,22	-67,40	jun-68	dic-83	16	84,5	WNW	0,7	0,6	0,4	0,7	8,1	13,7	16,2	14,8	18,8	11,5	10,6	3,9	1170,3
2426	Guárico	LA YEGUERA	9,25	-67,38	jul-59	dic-97	38	84,9	NW	1,2	0,2	0,2	0,6	5,4	12,7	17,0	17,0	17,7	12,3	9,9	5,9	1122,0
3403	Guárico	LOS NARANJOS	8,88	-67,51	jul-52	dic-97	45	85,7	W	0,9	0,2	0,1	0,6	3,6	14,0	17,6	17,8	17,4	12,7	10,7	4,5	1232,3
2470	Guárico	EL SOMBRERO-KILOMETRO 18	9,48	-67,18	ago-61	dic-82	21	86,9	NW	1,8	0,4	0,5	0,8	4,4	14,5	17,6	14,6	16,4	12,5	11,1	5,5	1076,7
3601	Guárico	EL PALITO	8,81	-65,96	sep-68	dic-97	29	87,2	E	1,3	0,3	0,2	0,7	2,5	9,9	17,2	22,8	20,0	12,7	8,2	4,1	1033,8
3436	Guárico	BANCOS DE SAN PEDRO	8,75	-67,53	ene-61	dic-88	28	88,8	W	0,9	0,1	0,2	0,4	4,0	13,6	19,1	17,3	17,6	12,8	9,9	3,9	1346,0
2589	Guárico	VALLE DE LA PASCUA	9,21	-66,00	may-68	dic-97	30	92,2	ENE	1,8	1,0	0,5	0,8	2,9	9,9	20,3	17,9	17,8	12,7	9,7	4,7	908,3
2413	Guárico	SANTA RITA	8,14	-66,26	jun-67	dic-97	31	94,4	SE	0,8	0,1	0,2	0,8	3,6	11,9	16,9	22,3	18,7	13,0	8,0	3,8	1269,6
2418	Guárico	VEGA GRANDE	9,66	-67,03	sep-67	nov-87	20	97,0	NNW	1,2	0,4	0,4	0,4	4,0	12,4	17,0	13,9	20,0	14,5	11,4	4,3	1027,7
2455	Guárico	MORROCOCYES	9,45	-67,36	ene-61	dic-82	22	97,1	NW	1,2	0,4	0,1	0,6	5,5	14,8	16,5	14,2	16,5	12,8	11,0	6,4	1079,8
2512	Guárico	BELLA VISTA	9,09	-65,89	ene-70	dic-97	28	98,4	E	2,0	0,6	0,3	0,7	2,2	9,2	20,8	19,1	18,0	14,1	7,9	5,0	973,0
3454	Guárico	COROZO PANDO	8,51	-67,58	jun-52	dic-97	46	100,7	WSW	0,8	0,1	0,3	0,4	3,7	12,3	17,0	18,0	17,3	14,0	10,8	5,4	1415,2
2513	Guárico	PRESA TAMANACO	9,45	-66,06	ene-70	dic-97	28	101,3	NE	2,3	0,9	0,6	0,5	2,7	9,3	17,4	18,5	17,6	14,5	10,7	5,2	914,6
2492	Guárico	GUARDATINAJAS	9,05	-67,63	jul-69	dic-97	28	102,1	WNW	0,6	0,4	0,0	0,5	6,1	13,8	18,9	16,8	16,8	11,1	9,6	5,4	1129,4
2502	Aragua	TAGUAY	9,78	-66,67	jul-66	mar-93	27	105,2	N	1,8	0,4	0,4	0,5	3,4	10,1	15,8	15,2	18,2	14,4	14,0	6,0	943,8
2448	Guárico	ORTIZ	9,63	-67,29	abr-52	dic-97	46	106,4	NW	1,4	0,3	0,2	0,7	5,1	12,3	18,3	15,8	17,2	13,5	9,9	5,2	1116,6
2425	Guárico	LEZAMA	9,73	-66,38	ene-52	dic-97	46	106,5	NNE	1,7	0,4	0,2	0,3	3,3	10,3	20,3	17,8	18,9	12,2	9,9	4,6	942,0
4027	Aragua	LA ESPINOSA	9,82	-66,78	ene-68	ene-97	29	106,7	N	1,6	0,8	0,4	0,4	3,9	10,6	16,3	16,4	18,5	14,1	11,2	5,8	1037,2
2465	Guárico	SAN JOSE DE TIZNADOS	9,39	-67,56	ene-53	dic-97	45	109,9	NW	1,0	0,3	0,2	0,5	5,6	15,5	15,5	16,3	18,5	11,5	9,4	5,7	1080,9
2520	Aragua	EMBALSE DE CAMATAGUA	9,82	-66,96	ene-71	dic-97	27	111,3	NNW	1,6	0,3	0,2	0,8	4,4	11,3	16,4	16,9	17,0	14,8	11,5	5,0	1090,8
2483	Guárico	FALTRIQUERA	9,78	-67,13	ene-67	dic-97	31	112,7	NNW	1,2	0,4	0,2	0,5	4,7	12,8	16,8	16,5	17,1	15,0	11,1	3,7	865,5
2430	Guárico	PARAPARA	9,70	-67,29	jul-61	dic-97	36	113,9	NW	1,3	0,5	0,2	0,9	4,1	12,7	16,5	15,2	17,5	13,0	12,3	5,7	1016,5
2674	Guárico	EL PALMAR	9,45	-65,91	ene-69	dic-97	29	114,5	NE	2,2	0,6	0,5	0,6	2,0	10,6	16,4	19,2	18,0	13,8	10,9	5,3	838,2
2671	Guárico	TUCUPIDO	9,26	-65,78	sep-69	dic-93	24	117,0	ENE	2,1	1,1	0,2	0,5	2,6	9,1	20,6	19,2	17,7	14,3	7,8	4,7	875,7
2419	Guárico	LA PALMITA	9,60	-67,48	sep-67	dic-97	30	117,6	NW	1,5	0,2	0,2	0,7	5,0	13,8	15,3	15,3	18,8	13,5	11,0	4,6	990,4
3415	Guárico	GUAYABAL	8,01	-67,40	ene-70	dic-82	13	117,9	SW	0,7	0,1	0,5	0,8	6,2	11,1	15,8	21,2	19,7	11,9	8,2	3,7	1369,3
2511	Aragua	VALLE MORIN	9,92	-66,92	ago-61	dic-97	36	122,0	N	1,4	0,4	0,2	0,8	3,5	11,0	16,6	17,8	18,2	14,3	11,5	4,3	1236,1
2539	Guárico	SAN ANTONIO DE TAMANACO	9,69	-66,04	abr-62	dic-97	36	122,5	NE	2,6	0,9	0,4	0,5	3,0	9,3	16,6	18,0	16,6	14,7	11,2	6,1	983,6
2519	Guárico	OROCOYAL-VENADO	9,91	-66,40	ene-61	dic-82	22	125,1	NNE	1,6	0,6	0,5	0,3									

Tabla III.1. Continuación...

Serial	Estado	Estación	Coordenadas		Disponibilidad de datos			Distancia del área de estudio		Precipitación media relativa (%) mensual											pp media anual (mm)		
			LAT	LON	desde	hasta	Años	km	Dir.	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct		Nov	
2427	Guárico	HATO PARADERO	9,77	-67,58	ago-61	dic-97	36	139,4	NW	1,4	0,5	0,2	0,8	5,1	14,0	16,9	16,0	16,3	12,4	10,8	5,6	1004,2	
2601	Guárico	SOUBLETTE	9,92	-66,09	sep-59	dic-97	38	139,9	NNE	3,7	1,1	1,0	0,8	2,9	10,1	15,7	16,8	17,4	14,3	9,4	6,9	1020,0	
2630	Guárico	ÚVERAL	9,74	-65,84	ene-60	dic-83	24	141,2	NE	3,0	1,3	0,7	0,6	3,8	9,1	16,6	19,4	15,8	14,6	9,0	6,2	861,2	
2429	Guárico	LA SOCORRITA	9,87	-67,50	ene-65	dic-97	33	142,1	NW	1,5	0,5	0,5	0,7	6,5	13,3	15,1	15,3	16,0	14,0	10,8	5,8	1562,9	
2401	Guárico	CABRUTA	7,65	-66,24	jun-67	dic-83	17	143,0	SSW	0,6	0,3	0,4	0,7	5,3	11,8	17,3	19,3	20,2	15,6	6,2	2,3	1615,2	
2640	Guárico	KILOMETRO 133-COROMOTO	9,58	-65,64	sep-59	dic-97	38	147,6	NE	2,5	1,0	0,8	0,9	1,2	8,0	21,1	17,9	16,6	12,7	10,1	7,1	936,2	
2501	Carabobo	CARTANAL	9,89	-67,55	abr-66	dic-97	32	147,7	NW	3,4	0,8	0,4	1,8	6,6	11,9	15,3	12,7	14,8	13,0	13,1	6,1	860,5	
4501	Bolívar	CAICARA DEL ORINOCO	7,62	-66,17	abr-70	mar-91	21	150,3	SSE	1,1	0,3	0,3	0,8	5,3	11,7	15,8	19,7	22,6	13,8	6,1	2,6	1495,9	
1487	Aragua	TIARA	10,13	-67,15	feb-52	dic-97	46	150,6	NNW	2,6	1,2	0,7	0,8	3,6	10,9	16,1	15,8	16,0	13,2	12,8	6,3	1427,5	
3332	Cojedes	JOBALITO	8,69	-68,10	ene-72	dic-97	26	151,7	W	0,9	0,2	0,3	0,8	5,9	13,8	18,4	18,7	14,1	12,8	9,2	4,9	1405,2	
0414	Aragua	SAN FRANCISCO PAO	10,10	-67,28	oct-66	ago-94	28	152,3	NNW	1,8	0,6	0,4	0,9	5,4	12,0	15,4	16,6	16,6	14,5	9,7	6,0	1086,6	
2602	Guárico	SAN JOSE DE GUARIBE	9,86	-65,83	may-60	dic-97	38	152,5	NE	3,0	1,0	0,9	0,7	3,3	8,8	16,3	17,4	17,2	13,1	10,1	8,3	836,6	
3625	Guárico	SANTA MARIA DE IPIRE	8,84	-65,33	oct-66	dic-97	31	156,8	E	3,1	0,9	0,3	0,8	3,5	8,5	15,8	17,5	17,3	14,5	10,6	7,2	1139,6	
9350	Aragua	EL CORTIJO	10,08	-67,42	oct-71	abr-93	22	157,3	NNW	1,6	0,3	0,3	1,3	5,9	13,8	14,9	13,9	16,0	15,9	11,3	5,0	955,1	
0497	Aragua	LAS CENIZAS	10,03	-67,57	dic-60	dic-97	37	160,8	NW	2,7	0,8	0,8	1,1	7,5	12,2	12,9	14,0	15,0	14,4	11,1	7,5	927,6	
9303	Aragua	FILA GUARAIMA	10,18	-67,29	abr-72	may-94	22	161,6	NNW	2,2	0,4	0,6	0,4	5,8	10,7	14,7	15,5	17,0	15,3	11,0	6,4	966,0	
4406	Apure	SAN JUAN DE PAYARA	7,66	-67,60	feb-68	dic-97	30	162,8	SW	0,2	0,1	0,2	0,6	4,4	11,8	18,5	22,2	20,0	11,3	8,4	2,3	1470,9	
4407	Apure	SAN RAFAEL ATAMAICA	7,52	-67,40	ene-70	dic-82	13	164,1	SSW	0,2	0,1	0,5	0,6	4,3	10,1	16,4	21,8	22,5	12,8	9,0	1,7	1599,9	
1483	Aragua	ÇASUPTO	10,14	-67,44	jul-44	may-94	50	164,6	NNW	2,3	0,6	0,5	1,0	4,9	12,4	12,4	12,9	16,2	15,0	14,3	7,5	971,2	
1469	Aragua	LAS TEJERIAS	10,26	-67,17	jun-53	jun-94	41	164,6	NNW	2,3	1,7	0,7	1,3	4,1	12,3	16,4	14,6	13,9	12,8	13,0	6,9	872,3	
1467	Aragua	SANTA TERESA	10,23	-67,25	ene-21	dic-46	26	165,0	NNW	2,2	0,4	0,1	0,8	4,3	12,7	14,4	16,2	15,0	13,4	13,0	7,4	1045,0	
1468	Aragua	LAS TEJERIAS-GFV	10,26	-67,17	ene-21	oct-66	46	165,1	NNW	2,9	0,8	0,5	0,7	3,8	11,8	16,6	15,7	15,2	13,4	11,5	7,2	989,3	
2378	Cojedes	CAÑO BENITO	9,33	-68,15	jun-53	dic-97	45	166,4	WNW	1,7	0,5	0,4	1,0	5,2	14,1	16,9	17,9	16,0	11,4	8,6	6,3	1253,1	
1465	Aragua	EL CONSEJO	10,24	-67,27	jun-53	may-94	41	166,7	NNW	1,9	0,5	0,5	1,1	4,6	10,3	16,1	16,7	17,0	14,0	11,2	6,2	916,9	
2610	Anzoátegui	BOTUON	9,91	-65,68	sep-62	dic-95	33	167,1	NE	4,1	1,7	1,4	1,0	5,3	8,3	16,5	14,9	15,6	13,7	11,1	6,4	924,1	
2607	Anzoátegui	VALLE DE GUANAPE	9,92	-65,68	nov-51	ago-95	44	168,1	NE	4,1	1,7	1,5	0,9	4,9	7,8	14,3	15,3	17,1	13,1	12,1	7,1	958,0	
1494	Aragua	EMBALSE TAIGUAIGUAY	10,15	-67,50	ago-51	dic-97	46	168,1	NNW	1,6	0,5	0,4	1,1	5,7	11,5	13,0	15,0	17,4	14,8	11,8	7,1	916,4	
3309	Cojedes	EL BAUL-CARRETERA	8,99	-68,25	abr-61	dic-97	37	168,6	W	1,6	0,3	0,6	1,0	4,8	14,0	18,2	16,9	15,3	12,1	9,9	5,5	1470,1	
0472	Aragua	TOCORON-CASERIO	10,10	-67,58	jul-51	dic-97	46	169,1	NW	2,2	0,4	0,5	1,1	5,8	12,9	12,2	14,4	17,0	14,9	11,8	6,9	824,3	
0417	Aragua	SANTA CRUZ EDAFOLOGICA	10,17	-67,49	ene-66	dic-97	32	169,4	NNW	1,7	0,4	0,3	1,3	5,1	11,5	14,0	15,0	16,0	15,5	12,9	6,2	984,4	
2621	Anzoátegui	BARRANCAS DE ZUATA	8,13	-65,39	jun-68	jul-95	27	169,9	ESE	2,2	0,7	0,4	1,2	4,0	7,7	17,1	17,5	20,4	14,2	9,7	5,0	1086,9	
1455	Aragua	LA URBINA-QUEBRADA SECA	10,28	-67,26	abr-40	dic-97	58	170,5	NNW	3,0	0,9	0,4	1,2	4,6	13,1	15,9	15,0	15,1	14,1	11,0	5,8	820,6	
1496	Aragua	SAN MATEO-HACIENDA EL PALMAR	10,22	-67,42	ene-21	dic-46	26	170,6	NW	1,8	0,6	0,3	1,1	4,7	12,9	12,5	14,0	16,9	14,1	11,6	9,5	1046,9	
4409	Apure	LOS ALGARROBOS	7,79	-67,87	abr-73	dic-97	25	171,1	SW	0,5	0,1	0,1	1,3	4,6	12,6	17,8	21,8	18,8	12,7	6,9	3,0	1430,3	
2349	Cojedes	EL PAO-OFFICINA	9,65	-68,05	mar-44	dic-97	54	171,3	WNW	2,3	0,5	0,5	1,3	6,2	14,3	15,4	15,8	15,8	11,8	9,1	6,8	1283,2	
4408	Apure	ARICHUNA	7,71	-67,80	ene-73	dic-97	25	172,2	SW	0,3	0,0	0,2	0,6	3,2	9,6	18,9	20,9	23,8	11,5	8,0	2,7	1547,6	
2404	Carabobo	MANUARE	9,97	-67,81	ago-58	ago-94	36	172,4	NW	3,4	1,1	0,8	1,6	6,7	13,4	13,1	12,9	15,4	11,9	11,1	8,7	1211,4	
4465	Apure	CUNAVICHE	7,43	-67,40	oct-68	dic-97	29	172,8	SSW	0,3	0,0	0,4	0,7	4,6	10,4	16,8	24,8	18,2	14,9	7,4	1,6	1517,6	
2647	Anzoátegui	GUARIBE-TENEPE	9,76	-65,49	mar-60	dic-97	38	173,1	NE	3,3	1,1	0,9	0,7	2,2	7,6	17,2	17,5	15,8	15,3	10,0	8,6	944,1	
2350	Cojedes	GALERA	9,48	-68,18	jun-58	dic-97	40	174,7	NNW	2,3	0,5	0,5	1,3	6,3	12,4	16,6	17,4	15,2	12,1	8,8	6,6	1318,1	
0460	Aragua	LA PEREÑA	10,18	-67,58	ene-60	dic-97	38	176,0	NNW	2,0	0,7	0,3	0,8	5,1	11,6	14,5	16,0	17,9	13,8	10,2	6,9	869,4	
0480	Carabobo	YUMA-CASERIO	10,11	-67,70	oct-59	dic-94	35	176,7	NW	1,8	0,5	0,6	0,8	5,9	11,9	12,1	13,0	17,5	15,5	13,4	7,0	1084,3	
0468	Aragua	GONZALITO	10,22	-67,52	oct-59	dic-97	38	176,7	NNW	1,8	0,6	0,5	1,2	5,8	12,6	13,0	13,2	17,4	18,4	14,8	11,3	6,5	847,2
1444	Aragua	PIE DEL CERRO	10,32	-67,32	abr-40	dic-97	58	177,2	NNW	2,9	1,1	0,8	1,3	5,7	11,2	13,2	12,4	14,4	13,8	14,4	8,7	898,8	
0488	Carabobo	COLONIA EL TROMPILLO	10,06	-67,77	feb-60	ago-94	35	177,8	NW	2,7	0,6	0,6	0,9	5,7	12,1	14,1	14,5	15,5	14,3	11,8	7,2	1076,7	
1451	Aragua	GUAYABITA	10,26	-67,48	dic-40	dic-97	57	178,3	NNW	2,0	0,7	0,7	1,5	5,2	12,5	12,1	13,7	16,8	15,2	12,6	6,9	876,7	
2622	Anzoátegui	ZUATA	8,36	-65,19	oct-68	oct-97	29	180,1	ESE	2,1	0,6	0,8	1,0	3,0	9,5	16,0	19,5	18,5	12,5	11,3	5,3	998,8	
0489	Carabobo	AGUA BLANCA	10,05	-67,84	ene-51	dic-97	47	181,4	NW	2,5	0,8	0,9	0,9	6,6	12,4	12,3	15,4	16,6	13,4	11,4	6,7	1274,8	
2605	Anzoátegui	GUANAPE	9,92	-65,50	ene-60	dic-97	38	182,7	NE	4,0	1,2	0,6	0,6	3,2	6,9	16,9	16,6	17,9	13,3	12,0	6,9	905,8	
0467	Aragua	MARACAY-PROVIDENCIA	10,25	-67,58	may-40	jun-70	30	182,7	NNW	2,4	0,7	0,6	0,6	4,2	14,2	13,3	14,5	18,6	15,6	10,5	4,9	862,9	
2508	Guárico	EL DIVIDIVE	8,96	-65,09	ene-67	dic-97	31	183,6	E	3,1	1,0	0,8	0,4	4,0	7,1	12,7	18,9	16,8	15,8	12,1	7,3	1087,6	
2338	Cojedes	EL PAO PLANTA	9,76	-68,11	ago-50	dic-97	47	183,8	NW	2,1	0,5	0,6	1,3	6,2	12,1	14,4	17,3	17,0	12,2	10,1	6,2	1373,3	
0539	DC	CARACAS-CIUDAD UNIVERSITARIA	10,49	-66,89	jun-49	oct-94	45	184,8	N	4,5	2,0	1,6	1,5	6,1	9,6	13,6	11,9	13,7	12,4	12,8	10,2	860,4	
3331	Barinas	ARISMENDI	8,48	-68,37	may-71	dic-91	21	185,6	WSW	1,0	0,1	0,4	0,7	7,4	14,0	18,1	16,7	15,3	12,0	9,6	4,6	1446,3	
0523	DC	CARACAS-CAÑO AMARILLO	10,50	-66,92	ene-43	oct-66	24	185,7	N	2,9	2,8	0,9	0,8	2,9	11,7	17,1	13,2	14,6	10,5	12,6	9,9	867,7	
0531	DC	CARACAS-OBSERVATORIO CAGIGAL	10,51	-66,93	ene-21	dic-97	77	186,6	N	4,8	2,3	1,4	1,3	4,0	10,0	12,5	12,4	13,8	12,7	14,6	10,2	843,5	
0534	DC	CARACAS-ELECTRICIDAD	10,51	-66,91	ene-21	dic-46	26	186,6	N	5,6	2,1	0,9	1,1	3,0	10,8	11,3	10,6	13,0	13,7	14,9	12,9	803,5	
0466	Aragua	MARACAY-BASE AEREA SUCRE	10,25	-67,65	ene-34	dic-97	64	186,7	NNW	2,0	0,5	0,6	0,7	4,2	12,0	13,7	15,0	20,3	15,0	10,6	5,6	894,5	
0532	DC	CARACAS-SANTA INES-GFV	10,51	-66,92	ene-21	dic-46	26	186,8	N	5,9	2,2	1,0	1,1	3,1	10,7	11,1</							

años, el número de estaciones se incrementa hasta alcanzar un máximo de 130 en 1976. Luego, la disponibilidad de estaciones con datos disminuye hasta 75 en 1997.

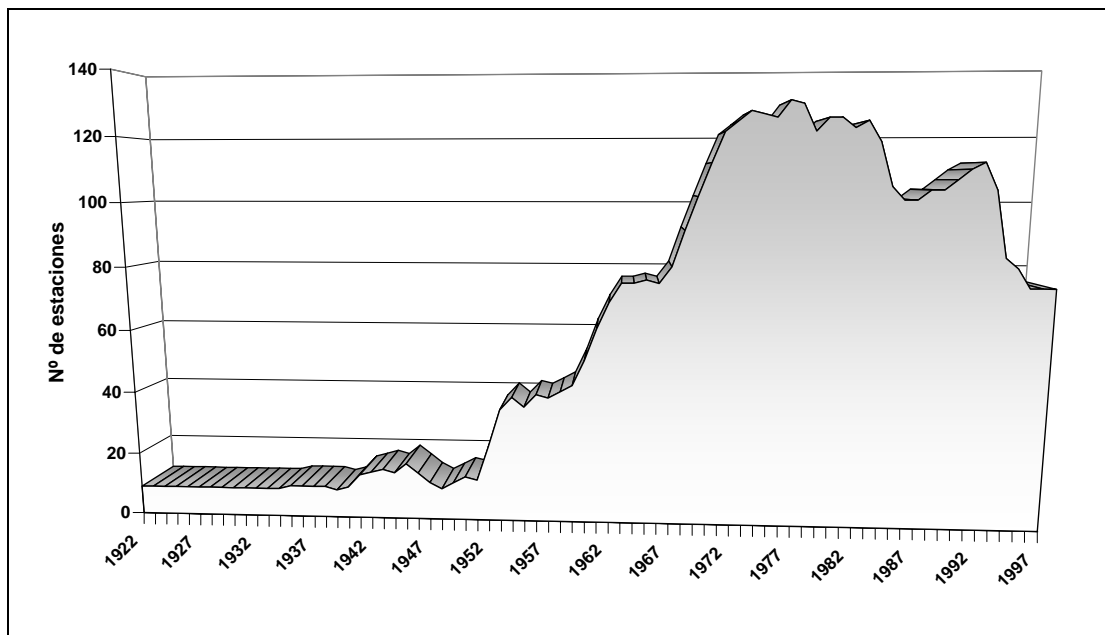


Figura III.11. Número de estaciones pluviométricas con datos mensuales disponibles por año para la serie de 76 años, 1922-1997.

Los promedios que resultan de la población de datos de las estaciones que conforman la *ventana de trabajo* presentan una correlación significativa (Pearson $P < 0,0001$; $r = 0,78$; $R^2 = 0,61$, ver Figura III.12) con aquellos de la estación más próxima al *área de estudio* (Palenque, serial 3502, a 24,5 km).

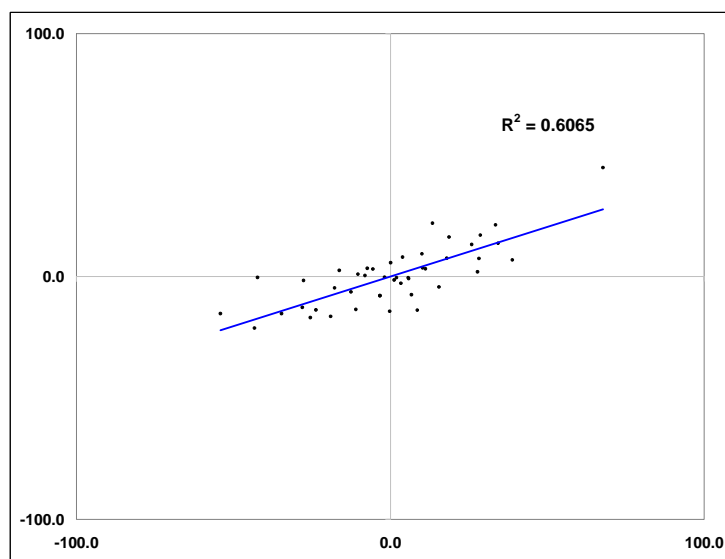


Figura III.12. Correlación lineal entre la media anual de la estación más próxima al *área de estudio* (Palenque, Serial 3502, 24,5 km) y aquella que resulta para la *ventana de trabajo*.

La Figura III.13 muestra las isoyetas que resultan de la interpolación de las medias anuales de las estaciones que conforman la *ventana de trabajo*. En líneas generales, se aprecia nuevamente el gradiente Norte-Sur de precipitaciones, observado inicialmente en la Figura III.5. Para el PNAG, el gradiente de precipitaciones es de cerca de 900 mm al Norte hasta 1.400 mm al Sur. Los efectos contrastantes de la orografía y de la proximidad al mar sobre las precipitaciones medias anuales se evidencian en la sección que corresponde al estado Miranda (Cordillera de la Costa) y al estado Anzoátegui (Depresión de Unare). Para disminuir la variabilidad en los datos de la *ventana de trabajo* se procedió a excluir aquellas estaciones comprendidas en estos espacios geográficos (ver Figura III.10).

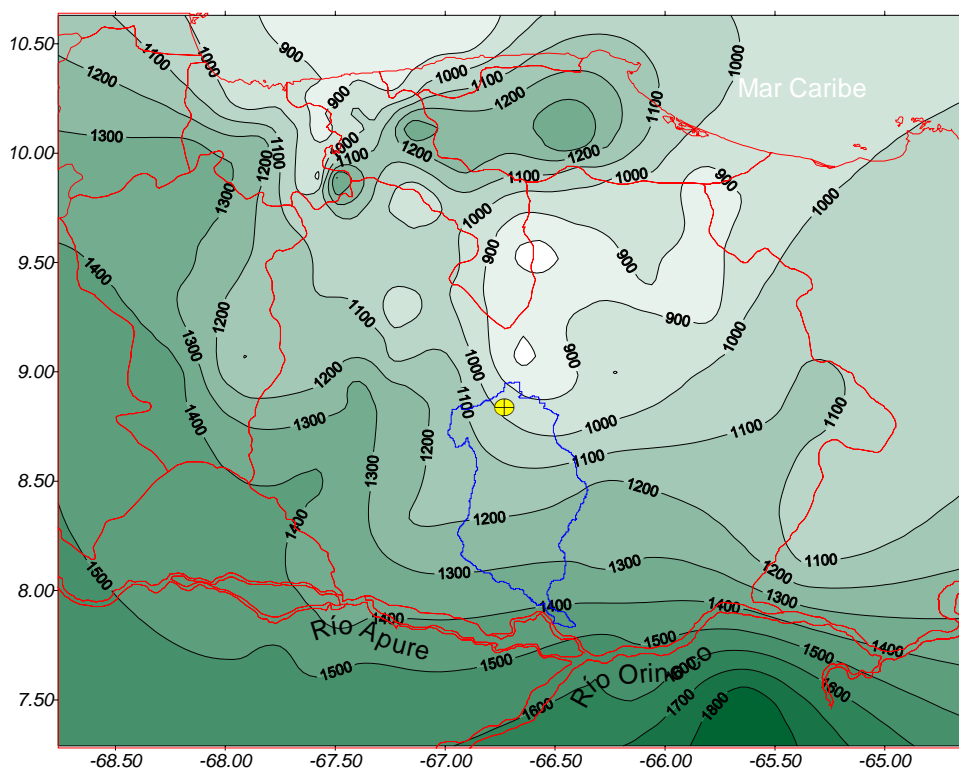


Figura III.13. Isolíneas de precipitación (en mm) para la media anual en la *ventana de trabajo*. Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del *área de estudio*.

III.3.2.1. Análisis en base mensual de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*

El conjunto de representaciones de la Figura III.14 presenta la dinámica en las precipitaciones relativas mensuales (% de la media anual). Se observa que para las proximidades del *área de estudio* el cuatrimestre Diciembre-Enero-Febrero-Marzo es el más seco, con apenas algo más del 4% de las precipitaciones anuales en ese lapso. La región que corresponde al estado Miranda muestra valores superiores al resto del área de la *ventana de trabajo*, especialmente durante Diciembre y Enero, lo que corrobora lo antes expuesto - se trata de una provincia climática diferente a la de Los Llanos.

Con valores próximos al 4% de las precipitaciones anuales, Abril se presenta para el *área de estudio* como un mes definitivamente más húmedo que los cuatro anteriores y representa el inicio de una transición entre el período seco y el húmedo. Esto es especialmente cierto si se toma en cuenta que para el siguiente mes, Mayo, las precipitaciones se han incrementado, en promedio, hasta casi alcanzar el 12% de la media anual. Para el bimestre Abril-Mayo, la sección occidental de la *ventana de trabajo* presenta los valores más elevados en precipitación relativa mensual.

Los meses Junio, Julio, Agosto y Septiembre se presentan como los más húmedos del año; esto último tanto para el *área de estudio* como para la *ventana de trabajo*. Durante este cuatrimestre, y con precipitaciones mensuales que superan el 20% de la media anual, se observa en la *ventana de trabajo* un desplazamiento de las máximas Norte-Sur. Con respecto al *área de estudio*, el pico de las precipitaciones ocurre entre Julio y Agosto con 16,4 y 17,0%, respectivamente; descendiendo hasta 13,1% en Septiembre.

Para Octubre, los valores medios de las precipitaciones en el *área de estudio* son similares a los de Mayo (11,0%), con la diferencia que se evidencia ahora en la *ventana de trabajo* un gradiente Sur-Norte en las precipitaciones relativas mensuales. Siguiendo esta tendencia, en el siguiente mes, Noviembre, ocurre una reducción de las precipitaciones para el *área de estudio* hasta alcanzar valores similares a los de Abril: mes del inicio de la transición entre las estaciones seca y húmeda.

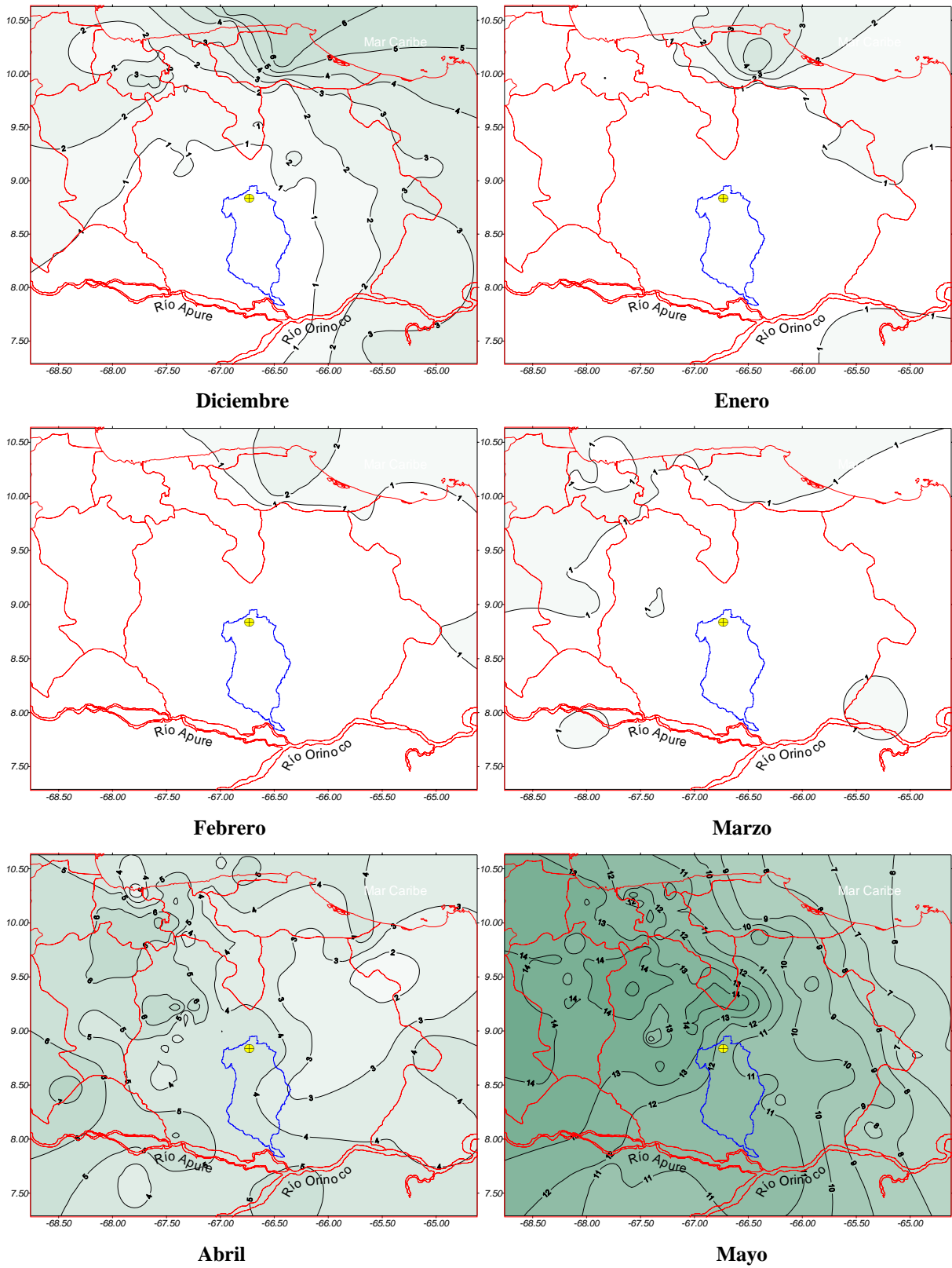


Figura III.14. Isolneas de precipitación relativa mensual (% de la media anual) para la *Ventana de Trabajo*. Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del Área de Estudio.

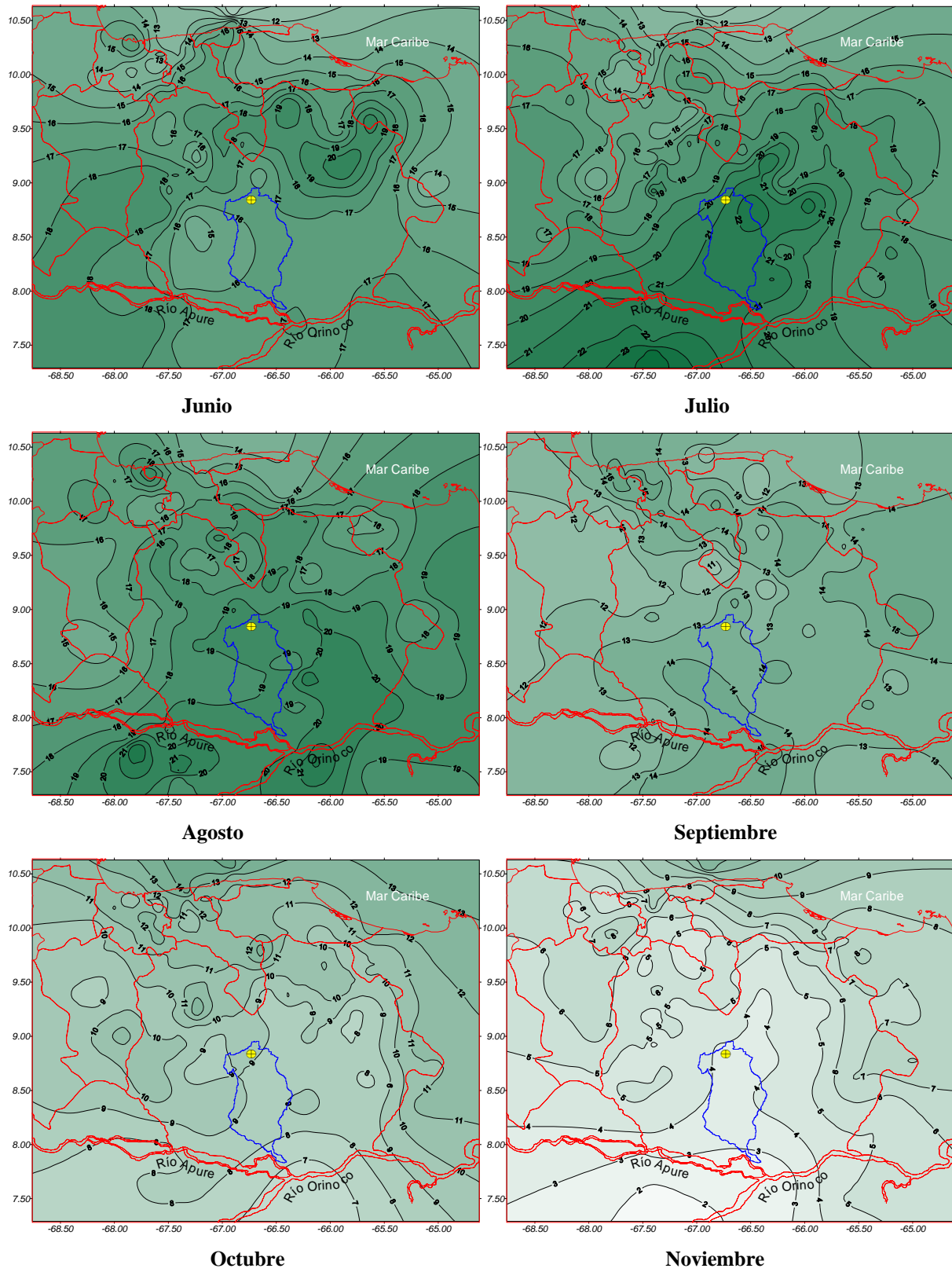


Figura III.14. Continuación...

Lo anterior puede resumirse en las Figuras III.15 y III.16 que resultan de los promedios mensuales y agrupados de los valores de la *ventana de trabajo*. Aquí se observa que efectivamente los cuatro primeros meses considerados, son los más secos: con una sumatoria de 4,5% del total medio anual (47,4 mm), representan un cuatrimestre o estación **SECA**. Los siguientes dos meses, Abril y Mayo, se presentan como un período de “entrada” o transición a las lluvias: **T1**, el 15,8% de las precipitaciones (167,8 mm) ocurre en este bimestre. Seguida de esta transición, se presenta un cuatrimestre o estación definitivamente **HUMEDA** y es cuando precipita el 62,1% del total anual o lo que equivale a 659,9 mm. Por último, se tiene el bimestre Octubre-Noviembre (**T2**) y que es similar en sus valores a la primera transición que se observa en el año: bimestre Abril-Mayo (15,8% vs. 17,7%); aunque esta segunda y nueva transición ocurre de forma temporalmente inversa y representa la “salida” de las lluvias o una transición a la estación **SECA**.

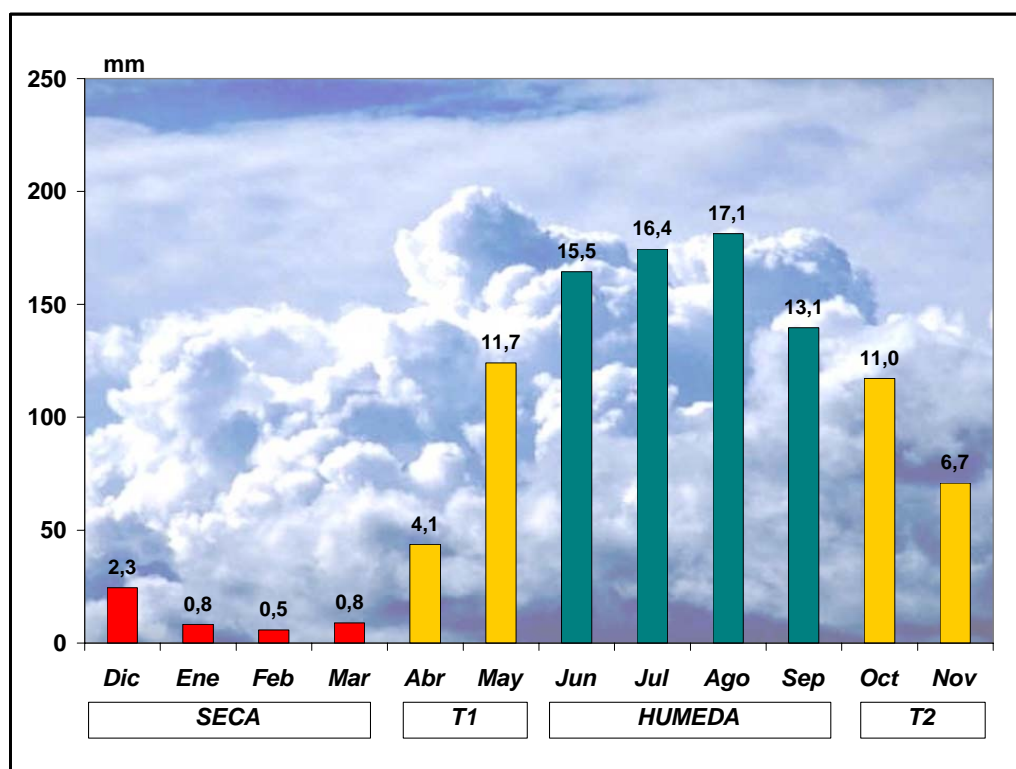


Figura III.15. Distribución anual de las precipitaciones para la *ventana de trabajo*. Los rótulos sobre las barras señalan el % de la media anual aportado por las precipitaciones de cada mes.

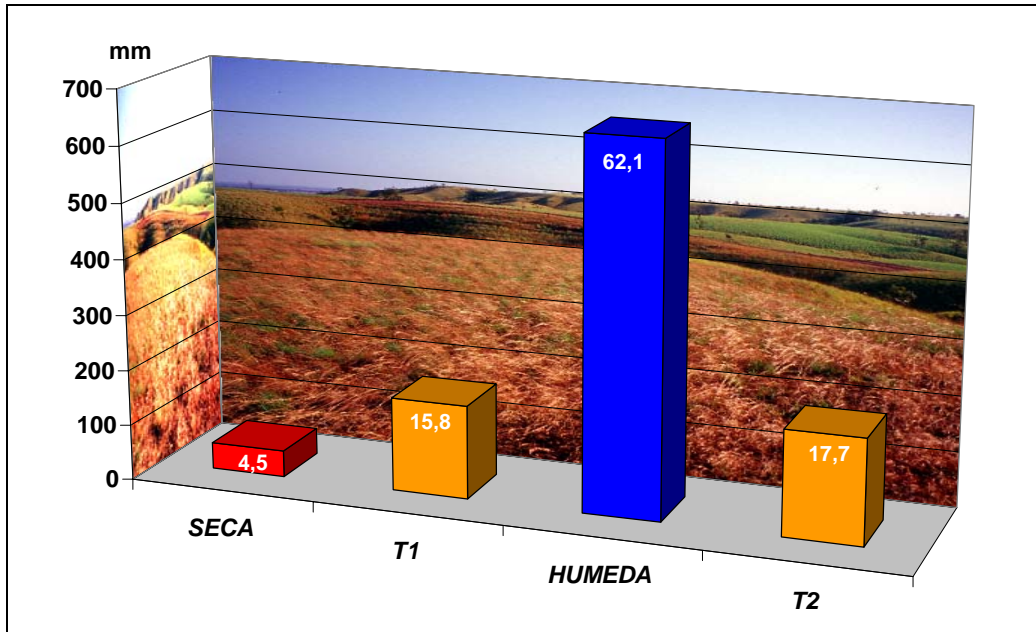


Figura III.16. Distribución estacional relativa de las precipitaciones para la *ventana de trabajo*. Los rótulos expresan el % de la media anual.

Las Figuras III.17 a la III.20 resultan de interpolar los promedios que resultan de agrupar los datos de los meses que componen las estaciones climáticas identificadas en los análisis previos: **SECA** (Diciembre-Enero-Febrero-Marzo), **T1** (*entrada de las lluvias*, Abril-Mayo), **HUMEDA** (Junio-Julio-Agosto-Septiembre) y **T2** (*salida de las lluvias*, Octubre-Noviembre). La Figura III.17 muestra que durante la estación **SECA** la mayor sección de la *ventana de trabajo* presenta precipitaciones con un aporte inferior al 5% del total anual. Para esta estación climática, la región correspondiente al estado Miranda presenta valores distintivos con precipitaciones que pueden acumular hasta el 15% de la media anual. Durante la estación **T1**, primera transición o *entrada de las lluvias* (Figura III.18), las precipitaciones triplican en promedio aquellas de la estación **SECA**. Se evidencia un gradiente Oeste-Este en las precipitaciones. La estación **HUMEDA** (Figura III.19) presenta los valores más elevados en el centro y Sur de la *ventana de trabajo*. Cerca del 70% de las precipitaciones medias anuales ocurren en el *área de estudio* durante el cuatrimestre que comprende la estación. Por último, se tiene la estación **T2**, segunda transición o *salida de las lluvias* (Figura III.20), donde el gradiente espacial es Norte-Sur, presentándose precipitaciones algo por debajo del 15% para el *área de estudio*.

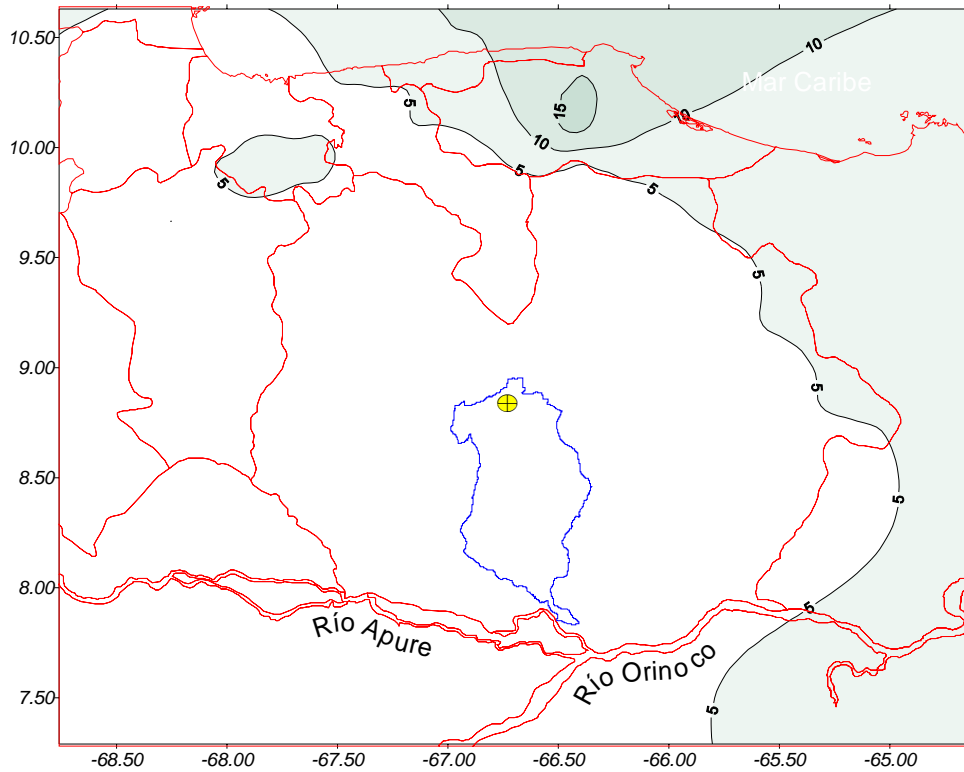


Figura III.17. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para la estación *SECA* (diciembre-enero-febrero-marzo). Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del Área de Estudio.

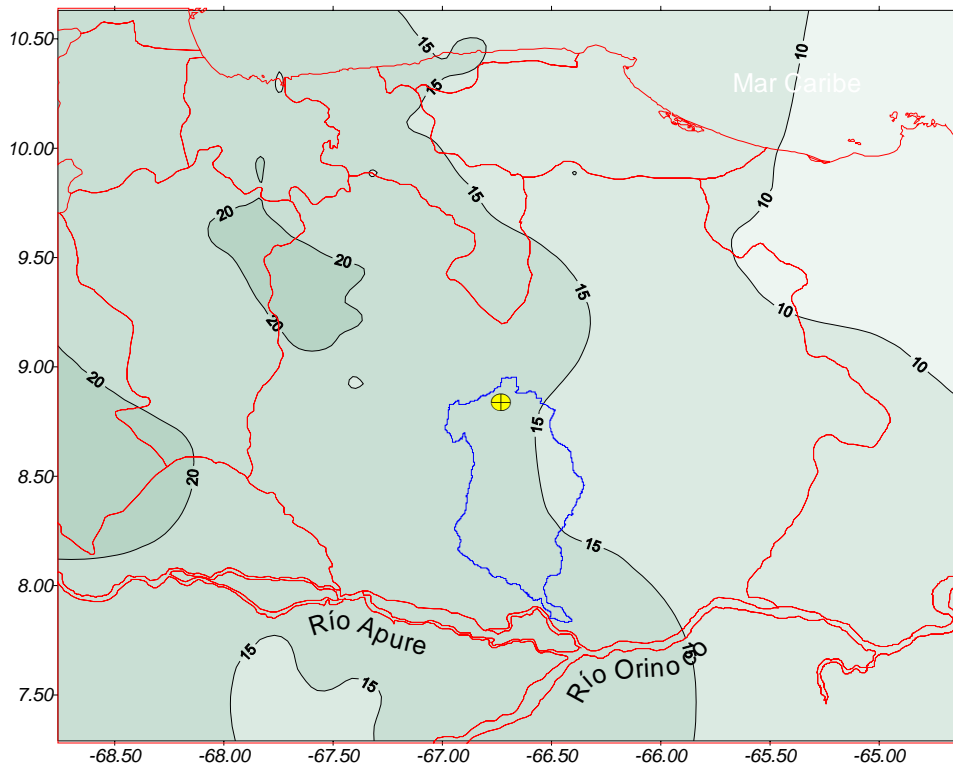


Figura III.18. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para la estación de transición *TI* (abril-mayo). Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del Área de Estudio.

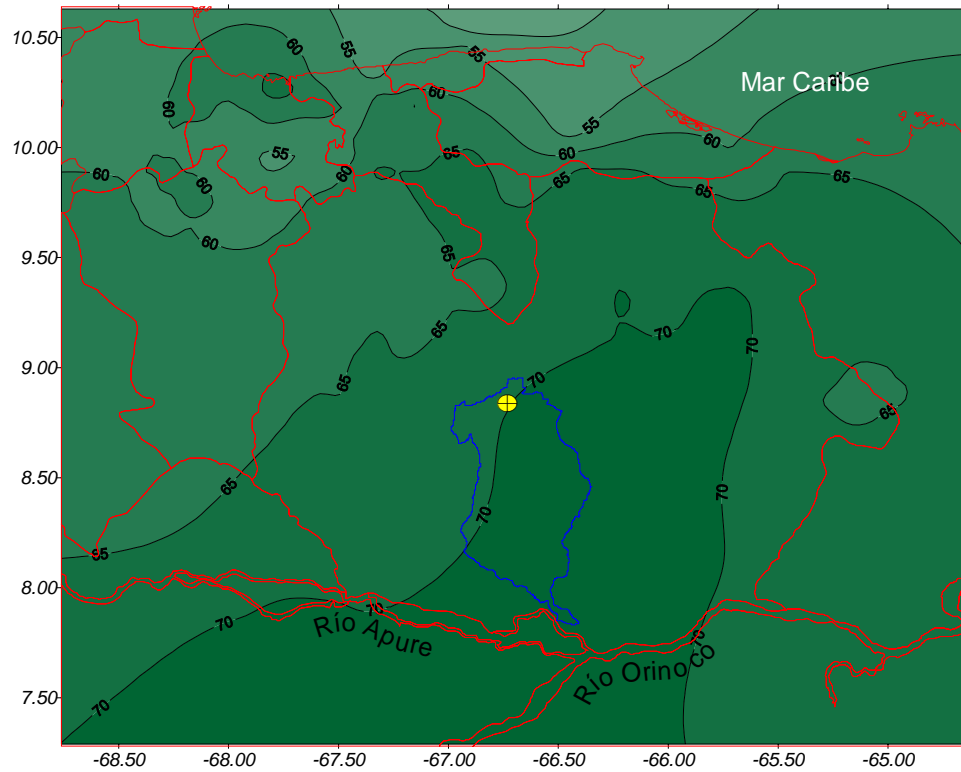


Figura III.19. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para la estación *HUMEDA* (junio-julio-agosto-septiembre). Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del Área de Estudio.

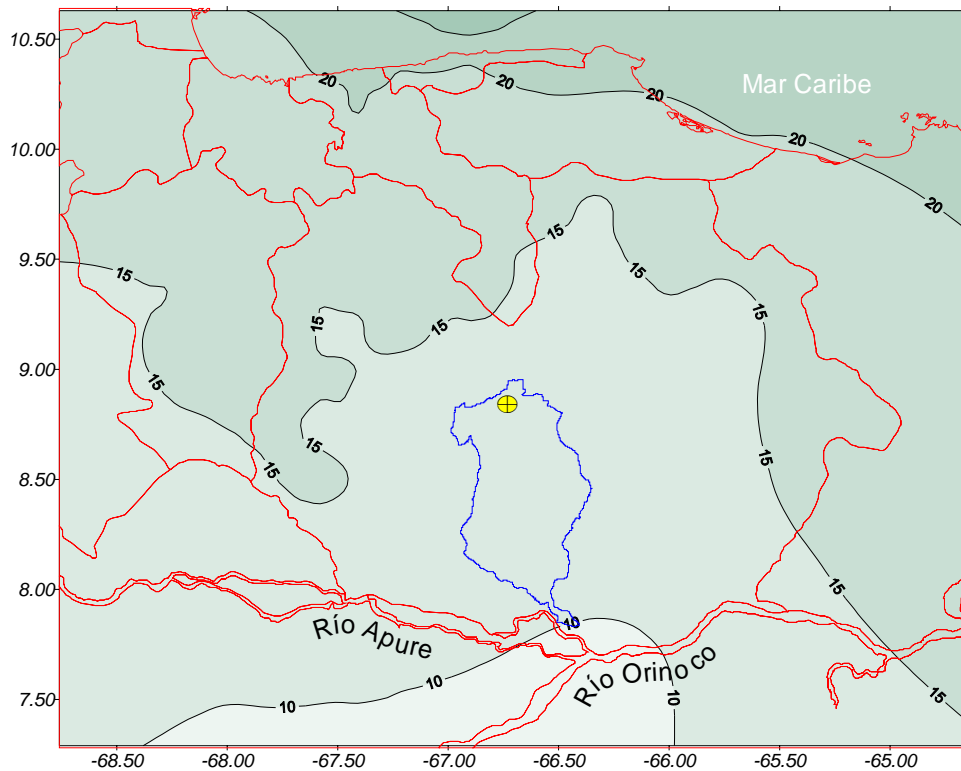


Figura III.20. Isolíneas de precipitación relativa (% de la media anual) para la estación de transición *T2* (octubre-noviembre). Línea en azul representa los límites del PNAG y la marca amarilla el centro geométrico del Área de Estudio.

III.3.2.2. Análisis en base anual de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*

En la Figura III.21 se expresa la dinámica temporal de las precipitaciones anuales en relación con la diferencia que existe con la media anual global (1922-1997; 1.063,2 mm). Los colores de las barras se refieren al porcentaje de estaciones que presentan una misma tendencia o anomalía con respecto a la media global para un año determinado.

Aquí se observa que el 63,2% de los años que conforman la serie se presentan como fenómenos climáticos generalizados al tomar en cuenta que más del 70% de las estaciones pluviométricas que conforman la *ventana de trabajo* presentan igual comportamiento. En líneas generales, no se observó una tendencia lineal significativa (Pearson, $P > 0,05$) hacia un incremento o disminución en las precipitaciones medias anuales durante los 76 años que comprende el lapso 1922-1997. Por otro lado, es evidente la existencia de “pulsos” de precipitación importantes (tanto secos como húmedos) y que involucran más del 71% de los años. La duración más frecuente de estos pulsos es de 2 años ($n=12$; 31,6% de los años): 7 pulsos secos ($-21,6 \pm 12,6$) y 5 pulsos húmedos ($+25,5 \pm 22,0$). La mayor diferencia acumulada por un pulso seco de 2 años es de $-35,2\%$ de la media global (1922-1923), mientras que la menor diferencia es de $-4,9\%$ (1967-1968). Para los pulso bienales húmedos la mayor diferencia acumulada es de $+62,7\%$ (1969-1970) y la menor es de $+8,5\%$ (1995-1996). Los pulsos bienales que presentan las mayores diferencias acumuladas tienden a presentarse como fenómenos generalizados en la *ventana de trabajo*, esto al tomar en cuenta que para uno o los dos años que conforman el bienio, en promedio, el 76,0% de las estaciones presentan igual tendencia o anomalía.

Siguiendo con el análisis de la frecuencia de los pulsos de precipitación, los trienios ocupan el segundo lugar ($n=4$; 15,8% de los años). Dos pulsos son secos: $-80,5\%$ (1939-1941) y $-31,5\%$ (1947-1949); y dos húmedos: $+48,1\%$ (1931-1933) y $+20,4\%$ (1986-1988). Los pulsos trienales se presentan como fenómenos climáticos algo más generalizados en la *ventana de trabajo* que los bienios, esto al tomar en cuenta que el 77,8% de las estaciones presentan igual tendencia. Sobre esto, el trienio 1939-1941 presentó $>90\%$ de homogeneidad espacial (*ie.* $>90\%$ de las estaciones pluviométricas con igual tendencia).

El análisis también evidencia tres pulsaciones cuyas duraciones son muy importantes: un quinquenio seco ($-59,5\%$, 1971-1975), un sextenio húmedo ($+72,1\%$, 1978-1983) y un

septenio también húmedo (+57,5%, 1950-1956). El quinquenio mostró la mayor homogeneidad espacial (>83% de las estaciones), mientras que el sextenio fue algo más heterogéneo que el septenio (68% vs. 72%). En todo caso, los años con una mayor diferencia de la media perteneciente a cualquiera de estos pulsos se presentaron como fenómenos espacialmente homogéneos (>80% de las estaciones).

Para la serie de 76 años (1922-1997) el año más seco fue 1941 (-27,1% de la media), asociado a un trienio; y el más húmedo es 1969 (+45,3%), asociado a un bienio. Con respecto a años no asociados a pulsos de cualquier extensión, se tiene a 1989 como el más seco (-19,2% de la media) y 1924 como el más húmedo (+22,0%). Si bien el trienio 1939-1941 se presenta como el pulso con una mayor diferencia acumulada (-80,5% en 3 años), el bienio 1969-1970 logra acumular la mayor diferencia de la media en un lapso menor de tiempo (+62,7% en 2 años). Los años con mayor variabilidad espacial (*ie.* <60% de las estaciones con igual tendencia; $n=12$), tienen pocas repercusiones en la variabilidad temporal pues su promedio absoluto de diferencia acumulada con respecto a la media es apenas de 4,3%.

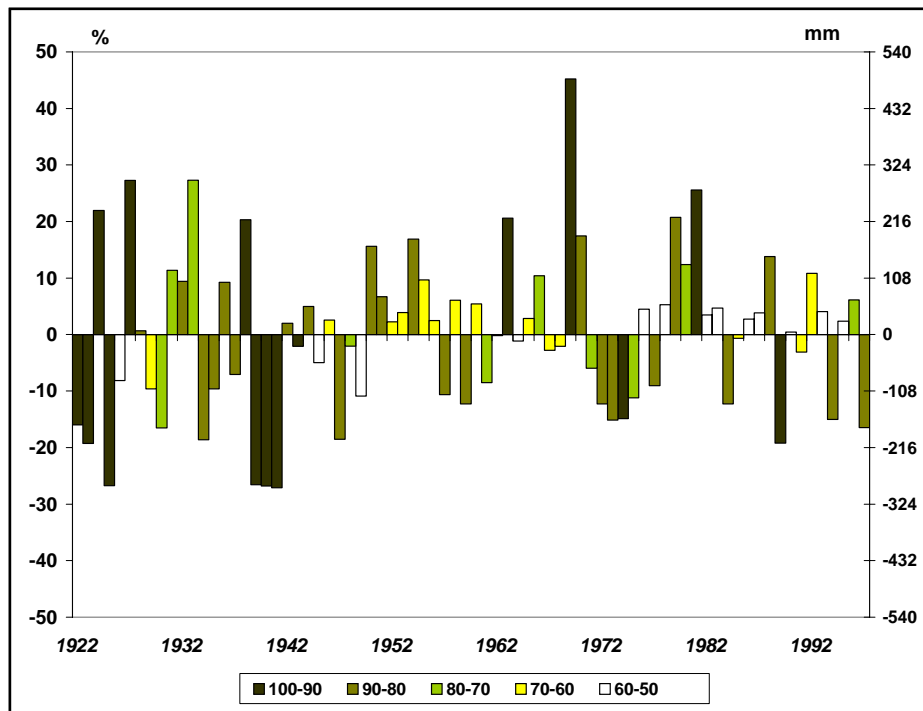


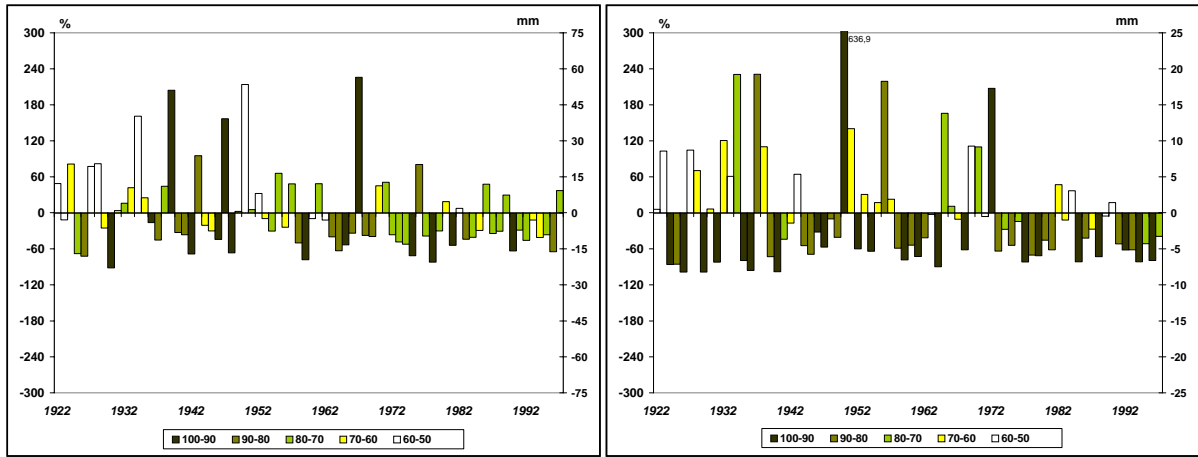
Figura III.21. Diferencia relativa y real con respecto a la media anual. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la ventana de trabajo ($n=146$) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa).

Cronológicamente, la secuencia de pulsos y años no-asociados, secos y húmedos, que se observa en los primeros 17 años (1922-1938) le infiere una gran variabilidad. Luego, y a partir

del trienio 1939-1941, la situación se torna sensiblemente seca hasta finales del trienio seco 1947-1949. El período de cuatro años no-asociados (1942 a 1946) infiere cierta variabilidad, pero carece de valores de diferencias de la media suficiente para generar variaciones de magnitud importante. Producto de la diferencia acumulada de la media aportada por el septenio 1950-1956, es a partir de 1950 cuando ocurre un incremento de las precipitaciones medias anuales hasta 1997. La variabilidad que se observa en este periodo se debe principalmente a la presencia de años secos no-asociados que alternan con pulsaciones y algunos años húmedos. Si bien el quinquenio seco 1971-1975 infringe un importante retroceso en la tendencia al incremento general de las precipitaciones, el sexenio húmedo 1978-1983 compensa esta situación. A pesar que la tendencia se conserva, la presencia de años no-asociados especialmente secos le infiere gran variabilidad interanual en las precipitaciones de los últimos diez años de la serie 1922-1997.

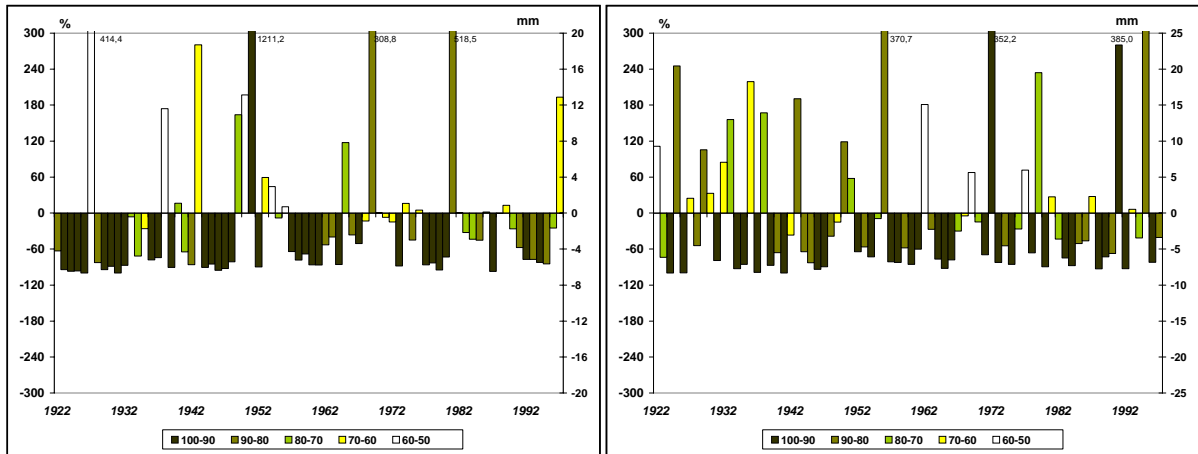
El conjunto de gráficas de la Figura III.22 muestra el comportamiento interanual por mes de las precipitaciones con respecto a su diferencia relativa con la media anual para la serie de 76 años (1922-1997). Se observa que, en líneas generales y para todos meses, los eventos extremos (tanto pulsos como años no-asociados, secos o húmedos) se presentan como fenómenos climáticos espacialmente homogéneos al considerar que, en la mayoría de los casos, involucran más del 80% de las estaciones pluviométricas que conforman la *ventana de trabajo*.

La variabilidad que se observa en los meses Diciembre, Enero, Febrero y Marzo viene dada por la presencia de años atípicos especialmente húmedos. La Figura III.23 presenta la dinámica que resulta al sumar los valores de las diferencias de la media para este cuatrimestre, o lo que es igual: para la estación climática **SECA**. Espacialmente, el 65,8% de los años de esta estación son homogéneos para el 70% de las estaciones; temporalmente, se presenta la mayor variabilidad en la diferencia relativa de la media comparada con otras estaciones climáticas (Figuras III.24 a la III.26). Las pulsaciones trienales ($n=10$) son las más importantes al involucrar el 39,5% de los años. Siete fueron pulsos secos ($-129,8\% \pm 38,4$) y tres húmedos ($+264,4\% \pm 174,9$). El trienio 1949-1951 acumula la mayor diferencia de la media: $+463,8\%$. En segundo término, los años no-asociados a pulsaciones involucran una cantidad importante de años de la serie: $n=20$; 7 secos ($-36,6\% \pm 19,6$) y 13 húmedos ($+36,3 \pm 38,6$).



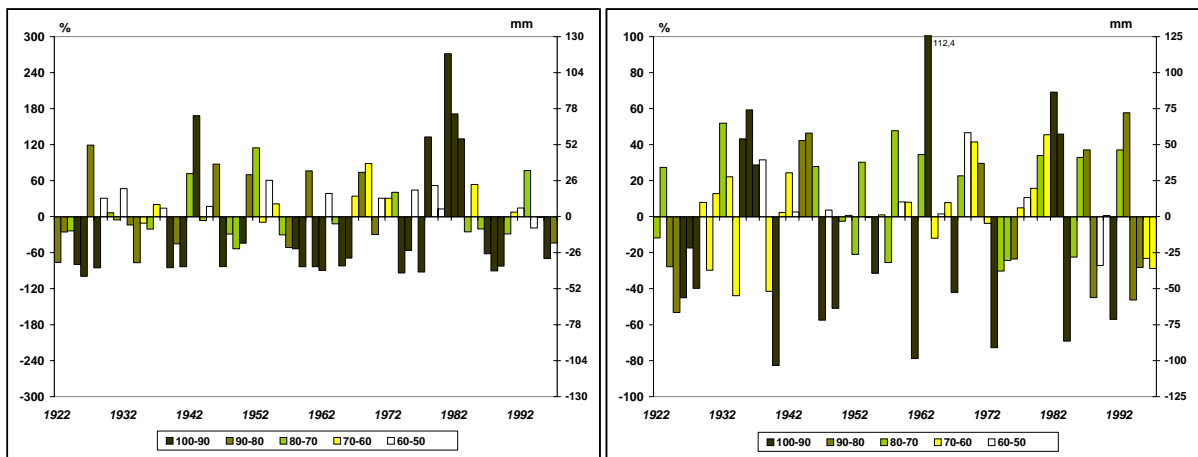
Diciembre

Enero



Febrero

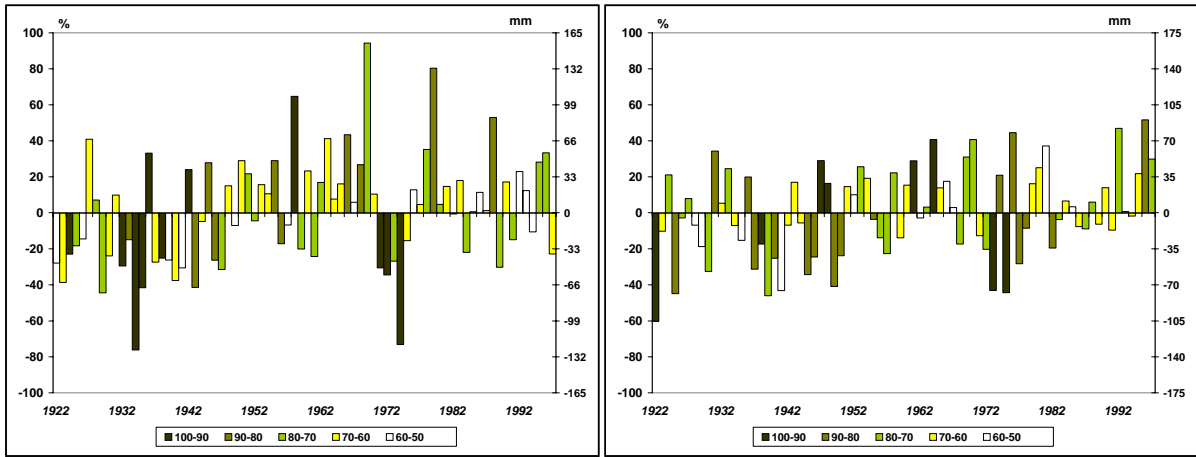
Marzo



Abril

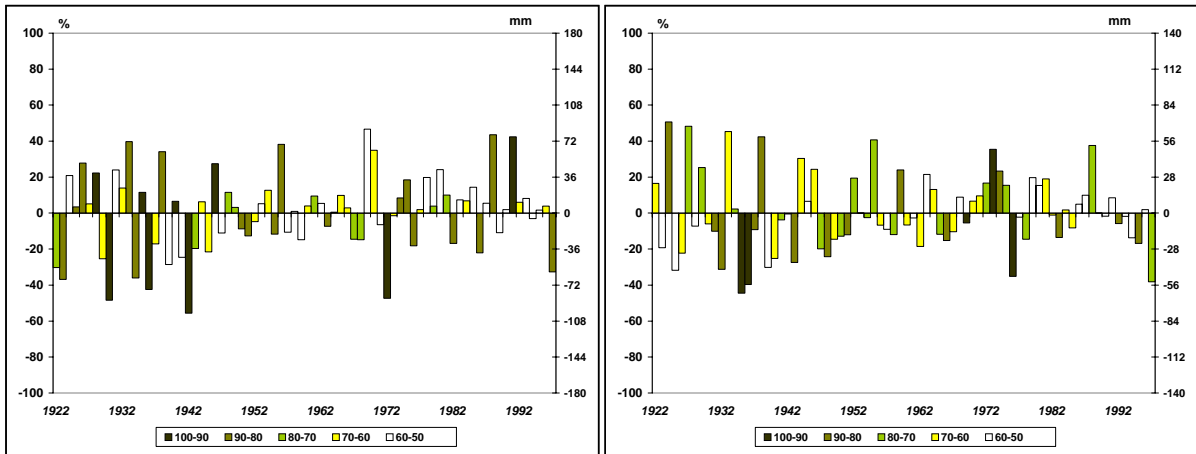
Mayo

Figura III.22. Diferencia relativa con respecto a la media anual para cada mes. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la ventana de trabajo (n=146) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa). Rótulos en porcentaje.



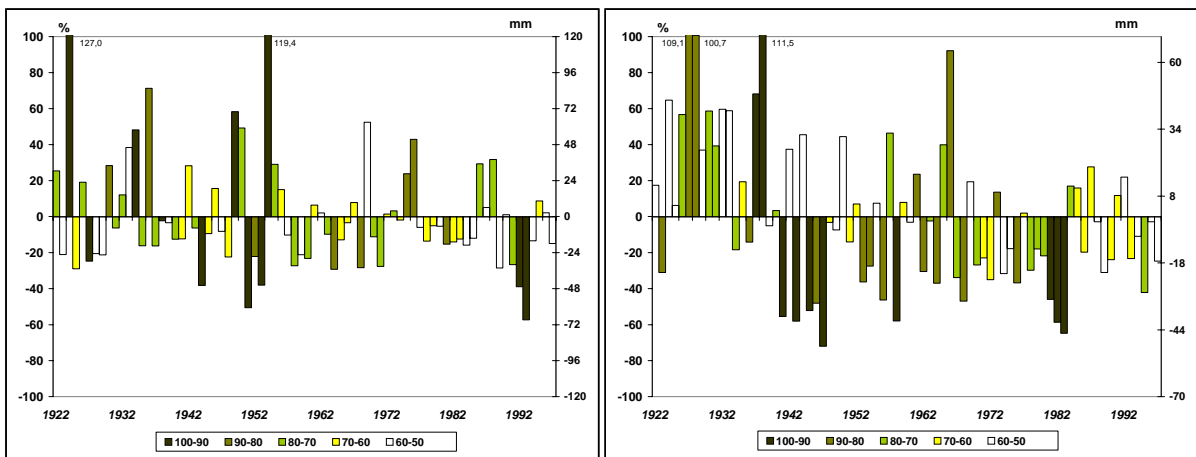
Junio

Julio



Agosto

Septiembre



Octubre

Noviembre

Figura III.22. Continuación...

La mayor diferencia para cualquier año no-asociado seco es $-65,6\%$ y de $+130,2\%$ para uno húmedo. Los cuatrienios, 21% de los años de la serie, son predominantemente secos ($n=3$), logrando acumular una diferencia de $-147,6\% \pm 33,9$. Para el cuatrienio húmedo la diferencia fue de $+181,7\%$. Por último, se tienen los bienios: $n=5$, para el 13,3% de los años. Dos bienios fueron secos ($-91,8\% \pm 23,4$) y tres húmedos ($+113,6\% \pm 69,8$).

Para la serie 1922-1997, la secuencia de años no-asociados y pulsaciones presentes en la estación climática *SECA* le infiere gran variabilidad interanual. Hasta 1957, los eventos húmedos presentan valores de diferencia de la media suficientes para generar una tendencia a un incremento relativo en las precipitaciones de esta estación. A partir de 1958, la combinación de una mayor cantidad de eventos secos y de eventos húmedos de menor diferencia de la media, crea una tendencia generalizada a una disminución de las lluvias. Tendencia interrumpida solo por la variabilidad que genera el año no-asociado húmedo de 1967 y el pulso húmedo de 1969-1972.

Si bien presenta una variabilidad temporal relativa algo menor, espacialmente, las precipitaciones durante la estación climática *TI* (Abril-Mayo) son, para la serie 1922-1997, eventos mucho más homogéneos que aquellas de la estación climática anterior, la *SECA*: $65,8\%$ vs. $79,5\%$ (Figura III.24). En el caso de años o pulsos con registros extremos, la homogeneidad espacial supera, en la mayoría de los casos, el 90% de la *ventana de trabajo*. La variabilidad temporal, expresada como de la diferencia acumulada media, es igual tanto para eventos secos como húmedos ($33,7\%$). El 85,5% de los años que conforman la serie están vinculados a pulsos de precipitación de diferente duración: 6 pulsos de cuatro años ($31,6\%$), 3 de cinco años ($19,7\%$), 4 de tres años ($15,8\%$), 4 de dos años ($10,5\%$) y 1 de seis años ($7,9\%$). Los años no-asociados a pulsos involucran el 14,5% de los años ($n=11$). Con respecto al promedio de la diferencia acumulada de la media el sexenio 1978-1983 presenta los máximos valores ($+363,5\%$), le siguen los quinquenios (húmedos $+172,8\%$, secos $-149,0\%$), seguido por un cuatrienio seco ($-118,7\%$), un trienio también seco ($-116,3\%$), un cuatrienio húmedo ($+94,6\%$); los bienios húmedos ($+73,2\%$), el trienio húmedo ($+71,3\%$) y un bienio seco ($-60,5\%$) culminan esta secuencia. Los años no-asociados a pulsaciones presenta diferencias acumuladas de la media de $-41,4\%$, los secos, y $+18,5\%$ los húmedos. A partir de 1963 todos los años estaban asociados a pulsaciones de diferente duración.

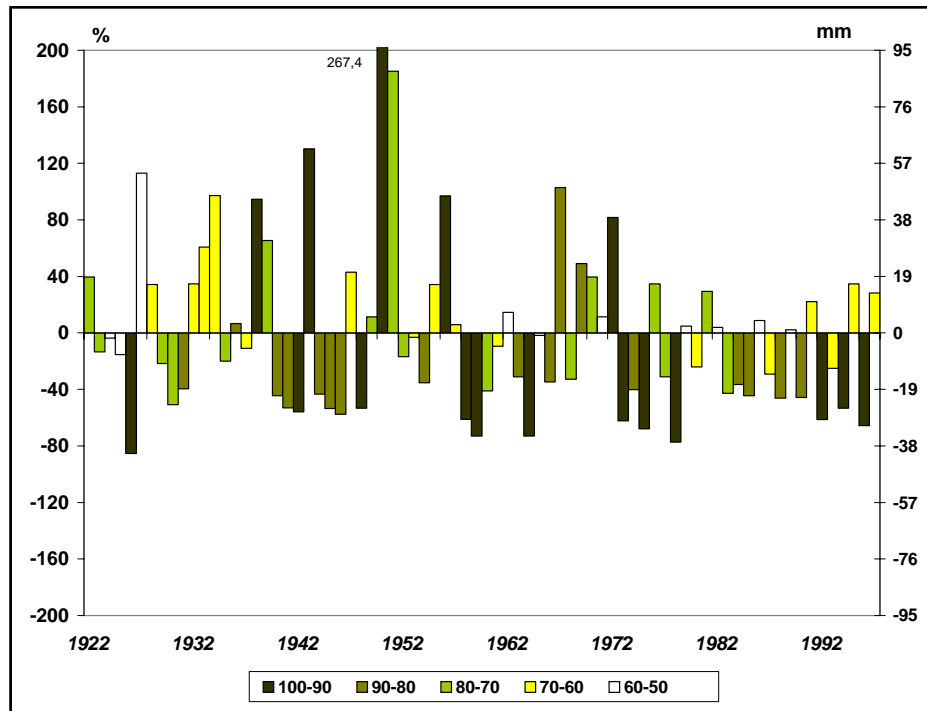


Figura III.23. Diferencia relativa y real con respecto a la media anual para la estación climática *SECA*. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la *ventana de trabajo* (n=146) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa). Rótulo en porcentaje.

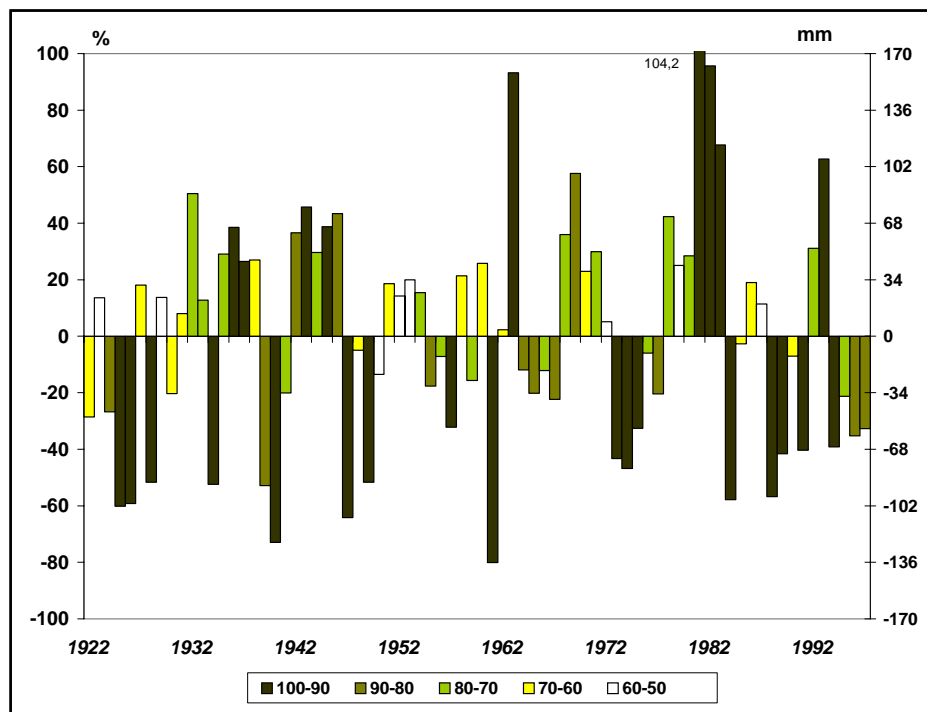


Figura III.24. Diferencia relativa y real con respecto a la media anual para la estación climática *TI*. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la *ventana de trabajo* (n=146) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa). Rótulo en porcentaje.

Para la estación climática *TI* se observa que la alternancia de pulsaciones, secas y húmedas, es la principal fuente de variabilidad en la serie 1922-1997. Si bien los primeros 9 años (1922-1930) y los últimos 10 años (1988-1997) son predominantemente secos, en el resto de la alternancia entre los pulsos lleva, en muchas ocasiones a compensar la diferencia de la media acumulada en el pulso anterior. Esto es cierto hasta el pulso húmedo de 1978-1983 donde se logra acumular una importante diferencia: +363,2 %, o lo que equivale a 609,8 mm.

Con respecto a la estación *HUMEDA*, se puede observar en la Figura III.25 que, si bien la mayoría de los años no-asociados así como las pulsaciones con valores de variación extrema son eventos espacialmente homogéneos, también se obtiene una heterogeneidad espacial global algo mayor que en las estaciones climáticas anteriores: *HUMEDA* 75,2% vs. *SECA* 76,9% y *TI* 79,5%. En la estación *HUMEDA* las pulsaciones más frecuentes son las bienales (n=9), donde 5 son secas (1922-1923, 1925-1926, 1929-1930, 1949-1950 y 1967-1968) con un promedio de diferencia de $-29,5\% \pm 20,6$; y 4 son húmedas (1927-1928, 1969-1970, 1987-1988 y 1995-1996; $+41,4\% \pm 17,8$). El segundo lugar en frecuencia lo ocupan los cuatrienios (n=3): dos húmedos (1978-1981 y 1990-1993; $+57,6\% \pm 26,5$) y uno seco (1934-1937; $-72,2\%$). Los quinquenios (n=2) involucran al 13,2% de los años de la serie (1939-1943 y 1971-1975). Ambos fueron eventos secos y lograron desviaciones de la media importantes de $-57,8\%$ y $-107,3\%$. Dentro de la serie de 76 años que comprende el análisis, sólo se presentó un trienio. Este fue seco acumulando una diferencia de $-14,5\%$. Se presentaron también un sextenio húmedo entre 1951-1956 ($+43,2\%$) y un septenio entre 1960-1966 con $+64,4\%$ (húmedo). Los años no-asociados a pulsaciones (n=20) fueron tanto secos como húmedos. Los secos presentaron una diferencia de menor magnitud y menor variabilidad ($-8,5\% \pm 4,1$) que los húmedos (n=5; $+10,3\% \pm 7,8$).

Cronológicamente, la estación climática *HUMEDA* es sensiblemente más seca los primeros 29 años, hasta 1950. Durante este lapso la variabilidad es originada por la presencia de años no-asociados húmedos así como por un bienio húmedo. A partir de 1951 la situación se invierte: los eventos húmedos – pulsaciones principalmente – se ven interrumpidos por años secos. Esta tendencia sería menos variable de no ser por la presencia de un quinquenio seco (1971-1977) que inflige un retroceso de $-57,7\%$, o lo que equivale 250,0 mm de diferencia acumulada.

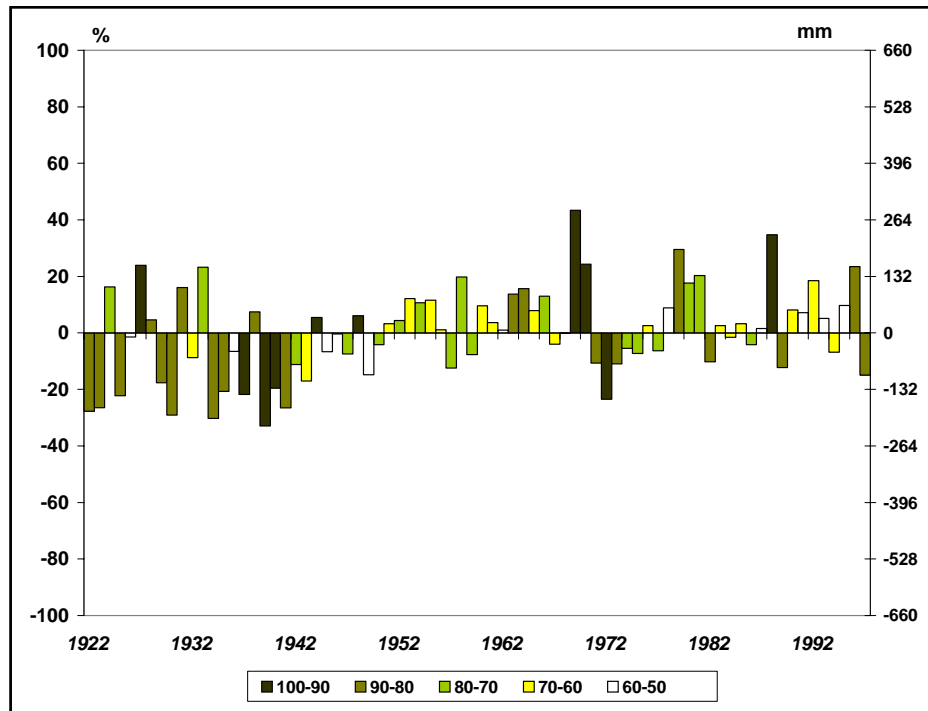


Figura III.25. Diferencia relativa y real con respecto a la media anual para la estación climática *HUMEDA*. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la *ventana de trabajo* (n=146) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa).

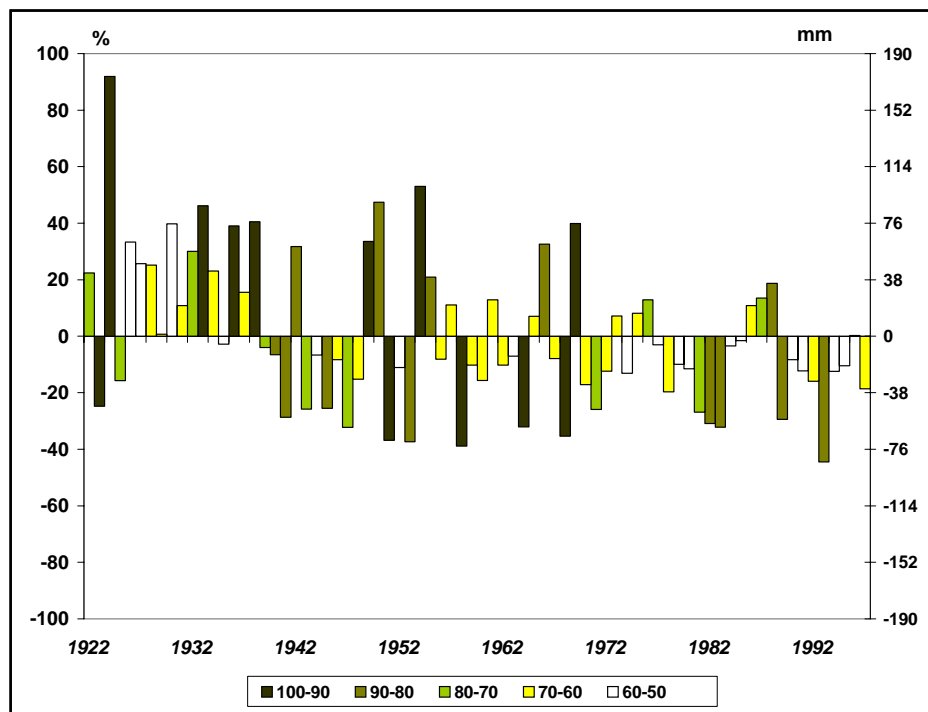


Figura III.26. Diferencia relativa y real con respecto a la media anual para la estación climática *T2*. Valores positivos reflejan años por encima de la media y negativos por debajo. La codificación de colores se refiere al porcentaje de estaciones de la *ventana de trabajo* (n=146) que presentan igual tendencia (diferencia positiva o negativa).

Por último, se tiene la Figura III.26. Aquí se observa que si bien los eventos extremos son espacialmente homogéneos, la estación climática *T2* es la que presenta la mayor variabilidad espacial (71,9%). Con respecto a la variabilidad interanual el 59,2% de los años fueron secos y el resto húmedos. El 81,6% de los 76 años de registro de esta estación climática pertenecen a pulsaciones de diversas magnitudes: 5 bienios (1 seco, -43,2%; y 4 húmedos +53,9%±28,4), 7 trienios (5 secos, -58,8%±17,5; y 2 húmedos, +69,1%±36,9), 1 sextenio seco (-113,7%), 1 septenio seco (-133,3%) y 2 novenios (1 seco, -139%; y 1 húmedo, +234,8%).

La configuración de los eventos en la serie histórica de esta estación climática le confiere una condición más húmeda en los primeros 17 años (1922-1938) cuya variabilidad sólo se ve afectada por unos pocos años secos no-asociados. A partir de 1939 los fenómenos secos comienzan a ser más frecuentes, tornando la situación a una condición cada vez más seca. La gradualidad de esta tendencia se ve interrumpida por la variabilidad que generan algunos eventos húmedos: 5 años no-asociados, 4 bienios y 1 trienio.

III.3.2.3. Análisis en base a series anuales de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*

La Figura III.27 muestra el resultado de agrupar los 76 años de datos sobre las medias anuales en 4 serie temporales de 19 años cada una. Si bien se aprecia una tendencia al incremento a lo largo de las cuatro series, con una ganancia final de 5,4%, éste no es significativo (ANOVA, $P > 0,05$). Esta ausencia de significancia estadística se evidencia no sólo en el conjunto de las cuatro series, sino entre cada una de ellas.

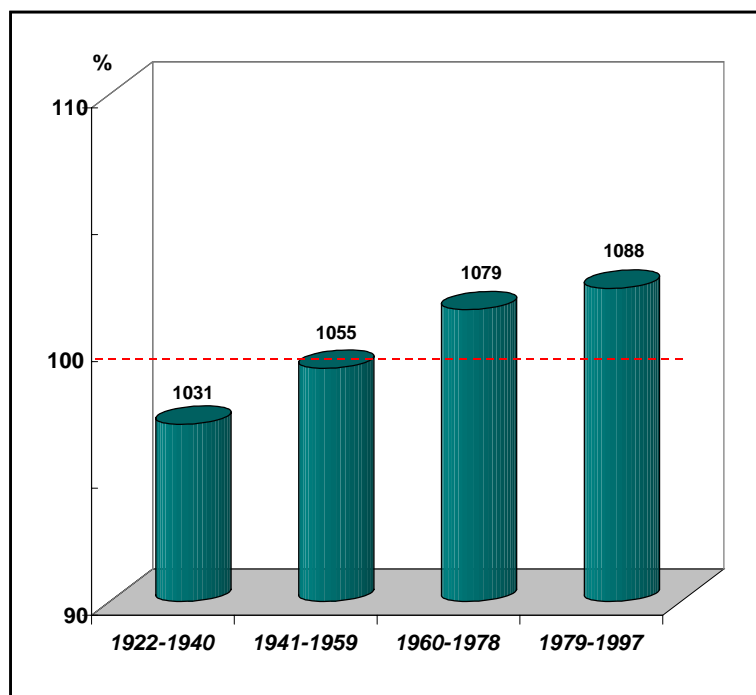


Figura III.27. Variación relativa por serie anual. Los rótulos expresan valores en mm.

Al realizar este análisis, ahora, agrupando los datos por su pertenencia a una estación climática (*SECA*, *T1*, *HUMEDA* o *T2*) y a una serie anual particular (*1922-1940*, *1941-1959*, *1960-1978* o *1979-1997*) se obtienen los resultados de la Figura III.28.

La estación climática *SECA* muestra un incremento muy discreto (1mm, +16,1%) entre la media de la serie *1922-1940* y la de *1941-1959*. Luego, entre las series *1941-1959/1960-1978* ocurre un descenso de -30,1%, para luego continuar esta tendencia descendiendo -5,9% en la última serie, *1979-1997*. Si bien esta dinámica global no es estadísticamente significativa (ANOVA, $P > 0,05$), lo es cuando se considera el cambio ocurrido entre el valor inicial (53 mm en 1922-1940) y el final (39 mm en 1979-1997) (Test *t*, $P = 0,0458$).

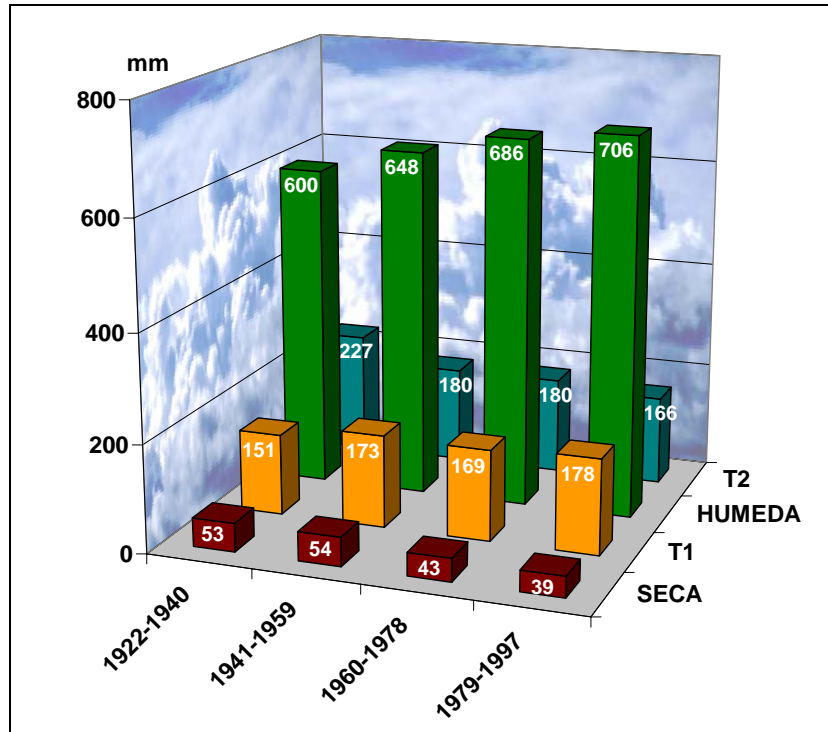


Figura III.28. Distribución estacional de las precipitaciones para las cuatro series anuales. Rótulos en mm.

En la Figura III.28 también se aprecia que la estación climática de transición *T1* presenta una variabilidad en los valores interseriales; pero, esta dinámica no es significativa ($P > 0,05$). Al considerar la siguiente estación, la *HUMEDA*, la dinámica se torna muy significativa (ANOVA, $P < 0,01$), presentándose un incremento lineal significativo ($P < 0,001$) y sostenido entre las cuatro series. Las mayores diferencias se tienen entre las series *1922-1940/1960-1978* (Test *t*, $P = 0,0241$), *1922-1940/1979-1997* (Test *t*, $P = 0,0057$) y *1941-1959/1979-1997* (Test *t*, $P = 0,0457$). De igual forma, la última estación, *T2*, expresa una dinámica temporal significativa (ANOVA, $P < 0,001$) entre sus series anuales. A diferencia de la estación *HUMEDA*, aquí la tendencia es a una disminución lineal significativa en los valores medios interseriales. Las diferencias más importantes se tienen entre las series *1922-1940/1941-1959* (Test *t*, $P = 0,0090$), *1922-1940/1960-1978* (Test *t*, $P = 0,0028$), lográndose una diferencia significativa entre el valor inicial (*1922-1940*: 227 mm) y el final (*1979-1997*: 166 mm) (Test *t*, $P < 0,0001$).

El conjunto de Figuras III.29 a la III.32 refleja la variabilidad mensual en la dinámica de las estaciones para las diferentes series temporales. Para los meses pertenecientes a la estación *SECA*, la variabilidad sólo es significativa para el mes de *diciembre* entre las series *1922-1940/1979-1997* (Test *t*, $P = 0,0286$) (Figura III.29).

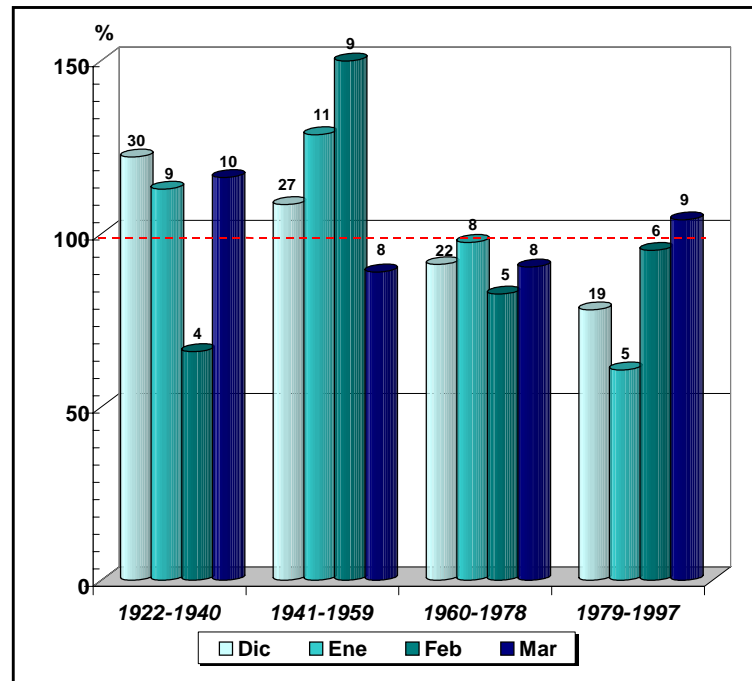


Figura III.29. Variación relativa por serie temporal para los meses que conforman la estación *SECA*. Rótulos en mm.

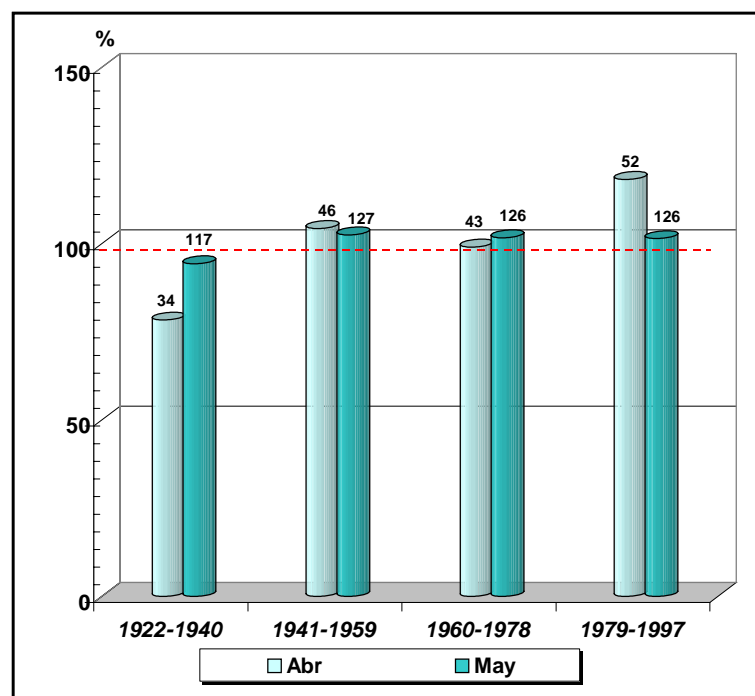


Figura III.30. Variación relativa por serie temporal para los meses que conforman la estación de transición *TI*. Rótulos en mm.

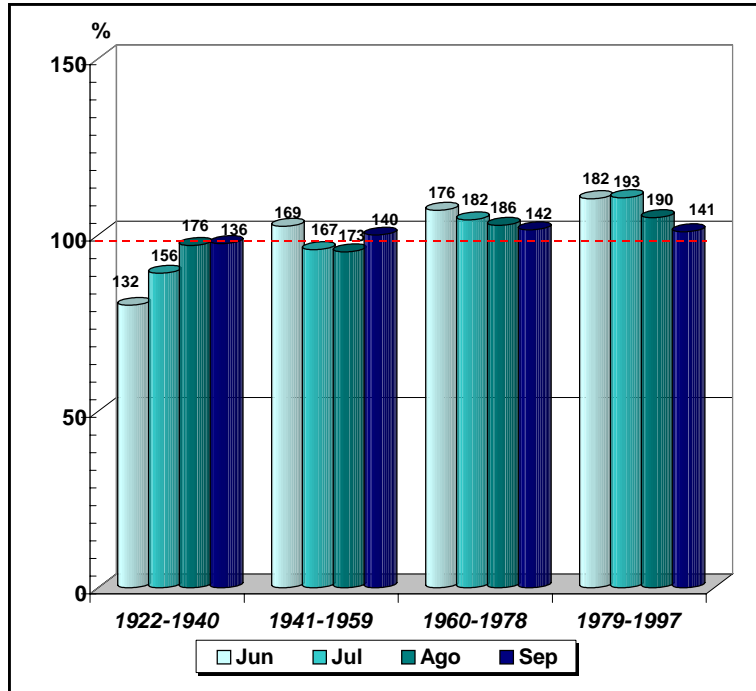


Figura III.31. Variación relativa por serie temporal para los meses que conforman la estación *HUMEDA*. Rótulos en mm.

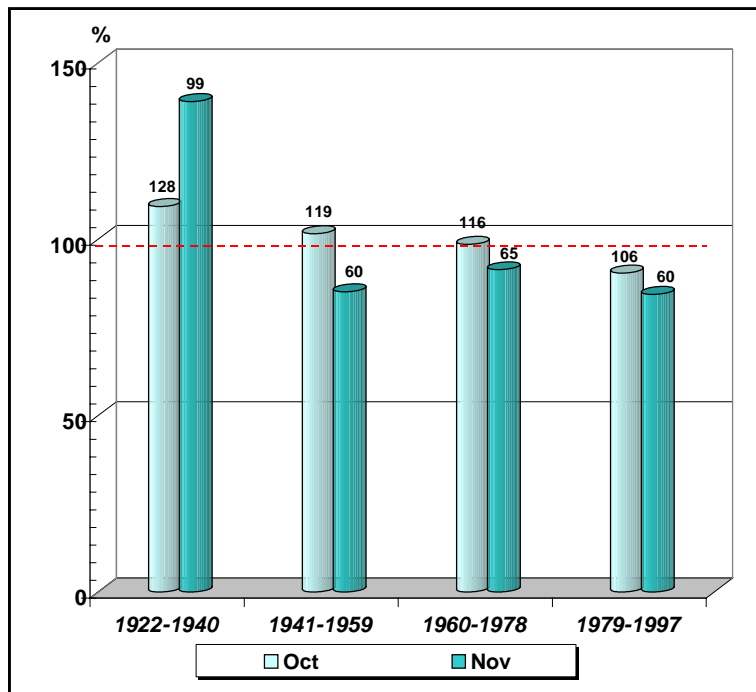


Figura III.32. Variación relativa por serie temporal para los meses que conforman la estación de transición *T2*. Rótulos en mm.

La variabilidad que se observa entre las diferentes series temporales para los meses que conforman la estación de transición **TI** no resulta en ningún caso significativa (Test t , $P > 0,05$). Esto a pesar que para el mes de *abril* se obtiene un incremento del 39,9% entre la primera serie, **1922-1940**, y la última, **1979-1997** (ver Figura III.30).

La dinámica temporal de los dos primeros meses de la estación **HUMEDA** muestran una variabilidad significativa que se manifiesta en un incremento lineal a lo largo de las series anuales (Figura III.31). Para *junio* esta tendencia presenta una significancia de $P = 0,0109$ (ANOVA) y para *julio* se logra una $P = 0,0437$ (ANOVA). La diferencia se tiene un incremento abrupto que ocurre en *junio* entre la primera serie anual y las demás, y por un incremento gradual a lo largo de las series de *julio*. Los otros dos meses que conforma esta estación, *agosto* y *septiembre*, no muestran variabilidad significativa en estos sentidos.

La estación de “salida de las lluvias”, **T2**, muestra una variabilidad temporal significativa con tendencia lineal a disminuir en los valores seriales de los meses que la conforman (Figura III.32). Para *octubre* se observa un descenso gradual de las precipitaciones que resulta en una diferencia significativa entre el valor inicial, **1922-1940**, y el final, **1979-1997**, para una reducción efectiva de 22,2 mm (-19%). La significancia en la variabilidad de *noviembre* se tiene por un descenso abrupto que ocurre en entre la primera serie anual y las demás.

La Figura III.33 resume no solo la distribución relativa mensual y estacional de las precipitaciones para cada una de las cuatro series temporales consideradas, sino confirma lo antes expuesto en esta sección del estudio (III.3.2.3) donde se evidencia un comportamiento diferencial en la dinámica temporal de las precipitaciones. Se tiene que para la estación **SECA**, la variabilidad temporal resultante es consecuencia de una reducción gradual en el aporte de agua de las precipitaciones del mes de diciembre, alcanzando la significación estadística ($P < 0,05$) al considerar la variación que ocurre entre sus valores iniciales y finales. La dinámica temporal del resto de los meses que conforman esta estación (enero, febrero y marzo) no afecta la significación de la variabilidad de esta estación climática ($P > 0,05$). Como pudo evidenciarse en las Figuras III.28 y III.32, la variabilidad de los meses que conforman la estación de “entrada de lluvias”, **TI**, no es significativa ($P > 0,05$). Esta situación cambia sustancialmente para los dos siguientes meses: junio y julio, pertenecientes a la estación **HUMEDA**. Un incremento en las precipitaciones, (junio: abrupto entre **1922-1940** y el resto

de las series; julio: gradual a lo largo de las series) ocasiona una variabilidad temporal significativa ($P < 0,05$). En junio, el incremento resultante es del 3,9% de la media anual o lo que equivale a una incorporación adicional de 49,7 mm durante este mes. En julio, el incremento es del 2,6% de la media anual y equivale a unos 37,1 mm adicionales. Como resultado, la primera mitad de la estación **HUMEDA** experimenta un incremento histórico de 86,8 mm. Para la segunda mitad, agosto y septiembre, la variabilidad temporal pierde significación estadística ($P > 0,05$), muy especialmente durante septiembre. Por último, la “salida de las lluvias”, la estación **T2**, presenta un comportamiento proporcional y temporalmente inverso a la primera mitad de la estación **HUMEDA** (junio-julio). Octubre, por ejemplo, presenta una gradualidad en la dinámica similar a la de julio, pero ocasiona esta vez una disminución: -2,7% de la media anual (-22,2 mm). Para noviembre se presenta, al igual que para junio, un cambio abrupto entre la primera serie y el resto. Pero en este caso, la dinámica temporal resulta en una reducción del 4,1% de la media anual de las precipitaciones o lo que equivale a un déficit de 38,8 mm. En conjunto, y producto de esta variabilidad, la estación **T2** experimenta una disminución histórica de 61,0 mm en sus precipitaciones.

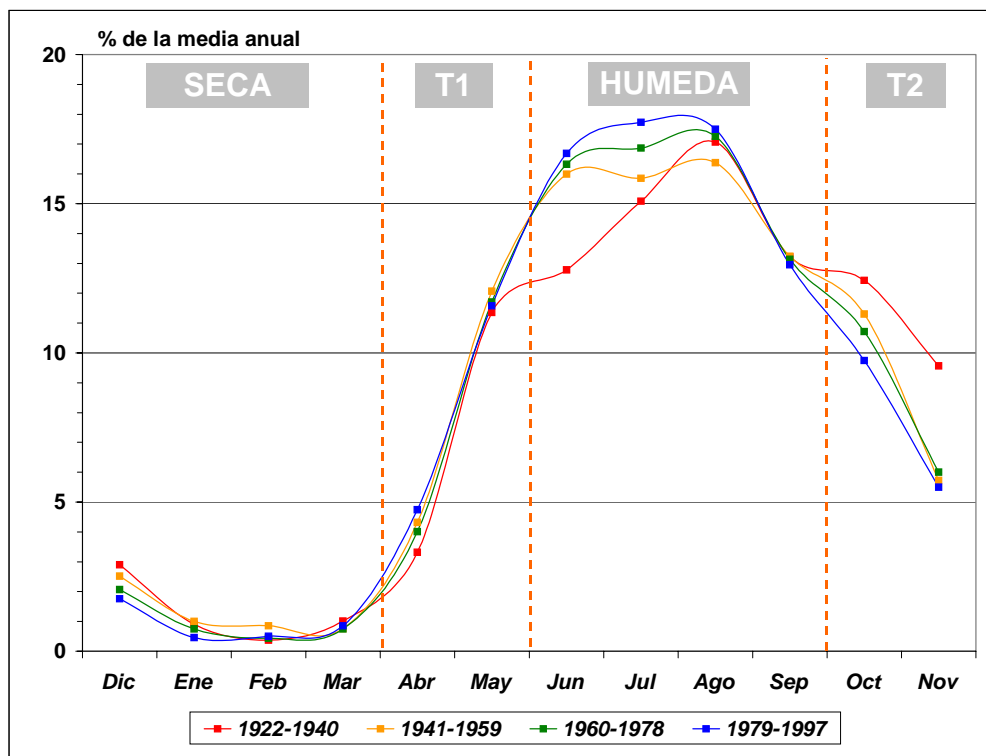


Figura III.33. Distribución relativa mensual y estacional de las precipitaciones para las cuatro series anuales.

El último análisis de esta sección resulta en la Figura III.34, donde se observa que el semestre conformado por la estación de “salida de lluvias” y la consiguiente estación seca ($T2+SECA$) presenta una tendencia lineal a una disminución significativa de las precipitaciones ($P<0,01$) que resulta en $-32,1\%$ de la media anual (-75 mm). En esta dinámica, la principal variación ocurre entre la primera y la segunda serie anual. Para el segundo semestre, el conformado por la estación de “entrada de lluvias” y la húmeda ($T1+HUMEDA$), ocurre de igual forma una tendencia lineal significativa ($P<0,01$) pero esta vez en sentido opuesto: las precipitaciones se incrementan hasta lograr una variación del $16,0\%$ de la media anual ($+132$ mm) al final de los 76 años del estudio.

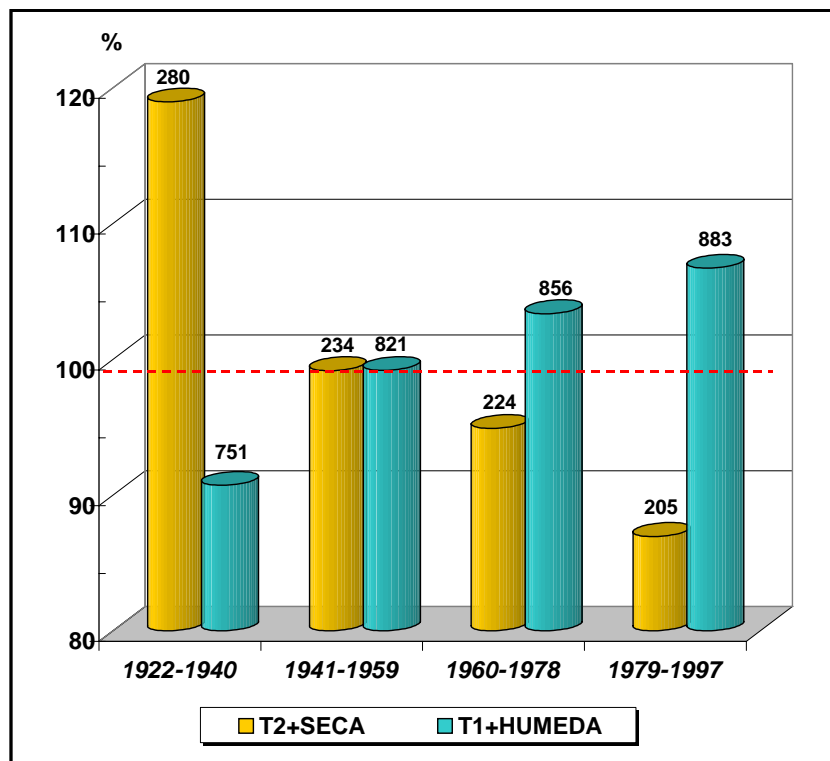


Figura III.34. Variación relativa por serie anual para las estaciones agrupadas en semestres: $T2+SECA$ y $T1+HUMEDA$. Rótulos en mm.

III.3.3. Análisis en base diaria de las precipitaciones en San Fernando de Apure

En los 37 años que comprende el lapso 1961-1997, San Fernando de Apure presentó una media anual de 1.342,0 mm; y es el resultado de 4.492 días de precipitación durante los 13.545 días que conforman el lapso (33,2%). Los eventos de precipitación presentaron intensidades que oscilaban entre una mínima de 0,1 mm/día y una máxima de 134,9 mm/día. Según la Figura III.35, la mayor frecuencia se tiene durante la estación climática **HUMEDA**: 81,3 eventos en los cuatro meses de la estación, ó 20,3 eventos/mes. Esta es seguida por el bimestre de “entrada de lluvias”, **T1**, con un promedio de 9,3 días de precipitación por mes; y luego por la “salida de las lluvias”, **T2**, con 8,5 días/mes. Esto deja la estación **SECA** con la menor frecuencia de eventos de precipitación, promediando 1,1 días/mes. El mes con mayor frecuencia de precipitaciones es julio, cuando el 77,7% de los días que lo conforman presenta precipitaciones 1 mm. Si bien enero se presenta como el mes más seco (0,9 mm), es febrero el que presenta la menor frecuencia de precipitaciones: 0,5 días/mes. La distribución temporal en la frecuencia de los eventos de precipitación explica en un 99,1% la distribución mensual de las lluvias (días de pp/mes vs. mm/mes, $R^2=0,9913$).

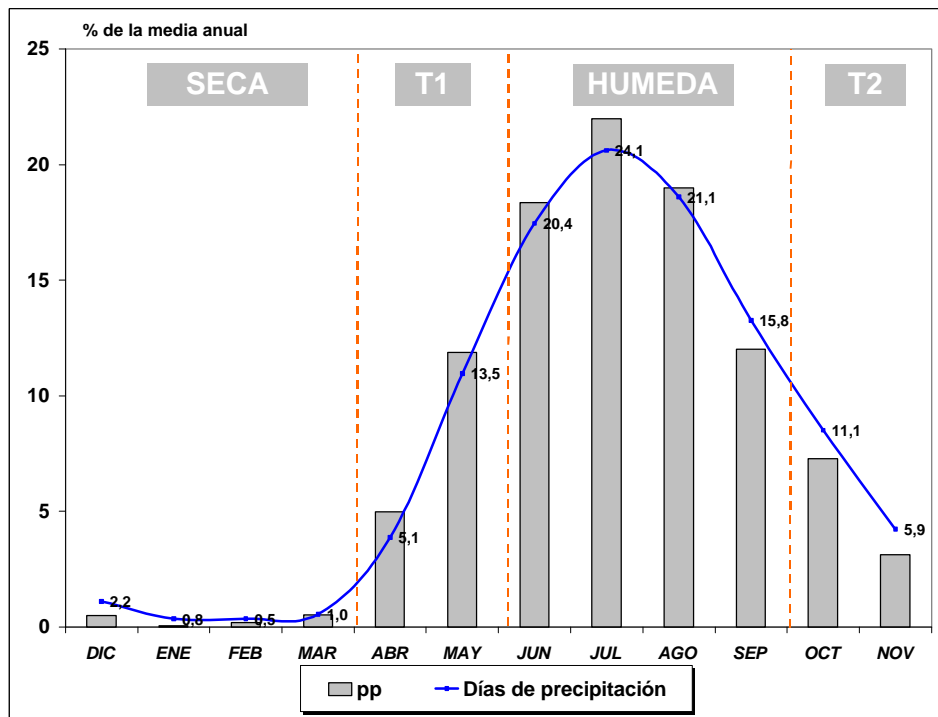


Figura III.35. Días de precipitación para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure (estación pluviométrica MARN serial 4404). Rótulos en días de precipitación. Las barras se refieren al porcentaje de la media anual de las precipitaciones que ocurren en cada mes.

Al desglosar los 4.492 días de precipitación por su pertenencia a una clase de intensidad (mm/día) se tiene la Figura III.36. Aquí se observa que las precipitaciones más frecuentes son las que comprenden una intensidad entre **1-5** mm/día (35,2 eventos/año). Con un promedio de 2,6 mm, los eventos de esta clase aportan 91,5 mm a la media anual (6,8%). A estas precipitaciones le siguen en frecuencia aquellas cuya intensidad se encuentra entre **10-25** mm/día (25,5 eventos/año). Promedian 16,2 mm y su aporte anual es de 413,1 mm (30,8% de la media anual). La siguiente frecuencia se tiene para aquellas precipitaciones cuyo aporte a la media anual apenas alcanza el 0,7%; estas son aquellas cuya intensidad es inferior a 1 mm/día (<1). Con 24,7 eventos/año, y una intensidad promedio de 0,4 mm/día, aportan 9,9 mm a la media anual. Ocupando el cuarto lugar, las precipitaciones con intensidades entre **5-10** mm/día ocurren con una frecuencia de 19,7 eventos/año. Promedian 7,2 mm y contribuyen con 139,7 mm a la media anual (10,6%). Las tres últimas intensidades consideradas: **25-50**, **50-75** y **>75** mm/día, suman una frecuencia de 16,4 eventos/año, pero su contribución a la media anual es muy importante pues aportan algo más de la mitad del total (50,8%). En el caso de intensidades entre **25-50** mm/día, la frecuencia anual es de 12,5 eventos y acumulan 426,3 mm (31,8% de la media anual), más que cualquier otra intensidad.

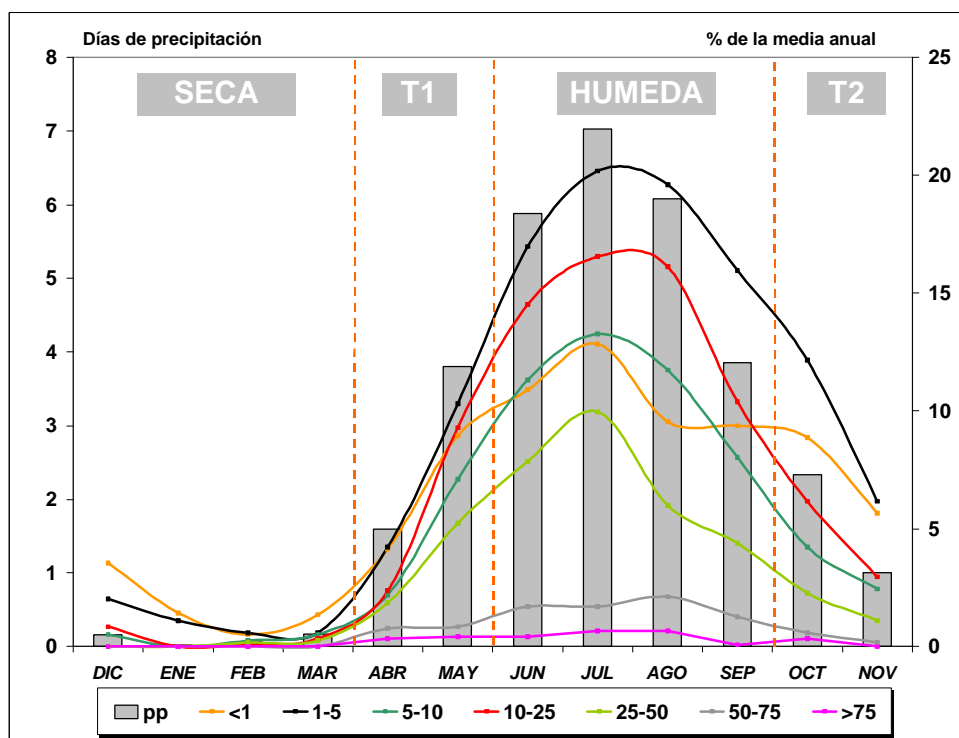


Figura III.36. Frecuencia de días de precipitación de diferente intensidad (mm/día) para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure. Las barras se refieren al porcentaje de la media anual de las precipitaciones que ocurren en cada mes.

Las precipitaciones especialmente intensas de **50-75** mm/día no son eventos atípicos en los registros pluviométricos de San Fernando de Apure, pudiendo presentarse con una frecuencia de hasta 2,9 eventos al año y elevar en 13,0% la media anual (174,9 mm). De igual forma, “vendavales” con una intensidad superior a los 75 mm/día (>75, media=88,8) pueden ocurrir con una frecuencia casi anual (0,9 eventos/año), para un aporte adicional de 79,9 mm a la media anual (6,0%).

La estación climática **SECA** acumula la menor frecuencia de eventos de precipitación de cualquier intensidad: 4,5 eventos en 4 meses, para una media estacional de 17,6 mm (1,3% media anual). Anualmente, 2,2 eventos son <1 mm, 1,4 de 1-5 mm y 0,4 de 5-10 y 10-25 mm. Intensidades hasta 50 mm/día (25-50) sólo ocurren con una frecuencia de 1 evento cada 10 años. Se tiene entonces que el 96,3% de los días con precipitación de cualquier intensidad, y el 98,7% de las precipitaciones medias anuales, ocurren entre los meses de abril y noviembre: estaciones climáticas **T1, HUMEDA** y **T2**. La Figura III.37 presenta los resultados del análisis en la frecuencia de eventos de precipitación de diferente intensidad específicos para los meses que conforman este periodo.

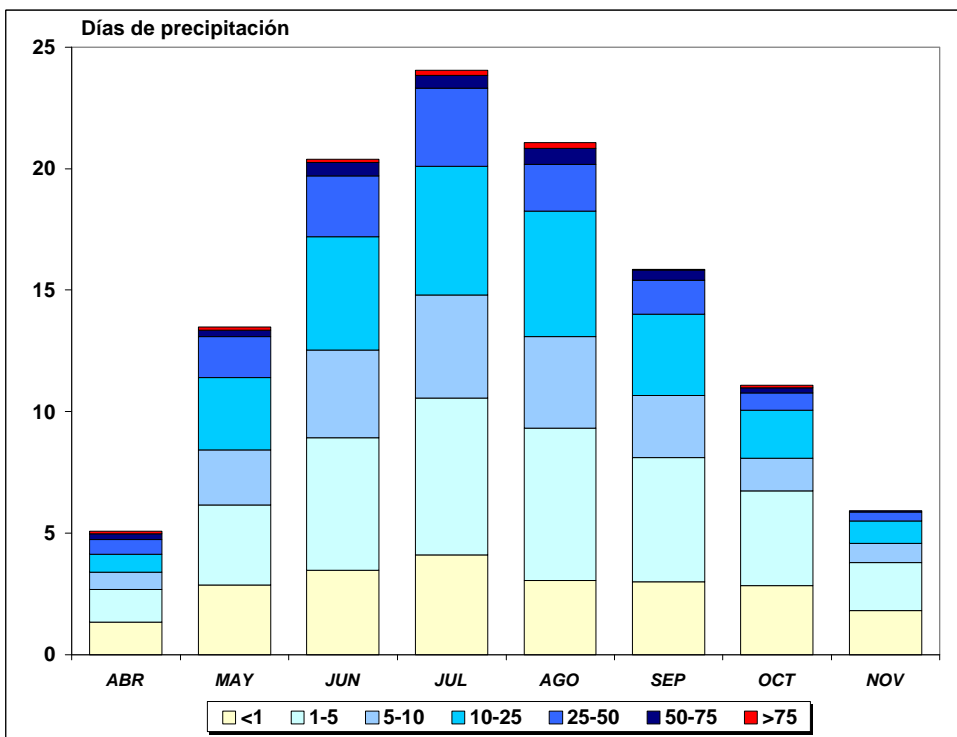


Figura III.37. Frecuencia de precipitaciones de diferente intensidad (mm/día) para los meses de abril a noviembre (T1+HUMEDA+T2) para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure.

El mes de abril presenta una media de 67,1 mm que se obtiene a través de un promedio de 5,1 eventos de precipitación. Para el mes de mayo, por otro lado, el promedio se incrementa a 159,4 mm a raíz de un incremento también de los días de lluvia que se ubica en un promedio de 13,5. A pesar de estas diferencias, la frecuencia relativa de eventos de diferente intensidad así como el aporte relativo a la media mensual que resulta de éstos, no es significativamente distinto (Test t , $P > 0,05$). Estacionalmente, el bimestre abril-mayo, **TI**, presenta una media de 226,6 mm que se obtiene a través precipitaciones que ocurren en el 30,4% de los días que lo conforman. De éstos, el 63,6% de son eventos < 10 mm/día, y su aporte neto a la media estacional es de apenas 15,6%. Con un aporte del 61,1% a la media estacional, son los eventos de **10-25** mm/día (20,1% de los días y 26,7% de aporte) y **25-50** mm/día (12,2% y 34,4%), los acontecimientos pluviométricos más importantes de la estación **TI**. Precipitaciones con intensidades superiores a los 50 mm/día también son factibles durante este lapso. Con una frecuencia de 1 cada 2 años para los de **50-75** mm/día, y de 1 cada 5 años para lluvias > 75 mm/día, los eventos de intensidad extrema logran ocasionar un incremento del 23,3% en la media de esta estación climática.

Al igual que para **TI**, los meses que conforman la estación **HUMEDA** (junio-julio-agosto-septiembre) presentan valores distintivos para el número de días de precipitación y para la cantidad en mm que estos aportan a la media. Pero, de nuevo, la proporción se conserva. Es decir, no existen diferencias significativas (Tukey-Kramer; $P > 0,05$) en la ocurrencia relativa (%) de los eventos de diferente intensidad y el aporte relativo a la media entre los meses que la conforman. La estación **HUMEDA** presenta una media de 957,8 mm que se obtiene a través precipitaciones que ocurren en el 66,6% de los días que la conforman. De éstos, el 51,1% de son eventos < 10 mm/día, y su aporte neto a la media estacional es de apenas 17,6%. Con un aporte del 63,3% a la media estacional, los eventos de **10-25** mm/día (22,7% de los días y 31,1% de aporte) y **25-50** mm/día (11,1% y 32,2%) son, al igual que para **TI**, los acontecimientos pluviométricos más importantes de la estación **HUMEDA**. Eventos especialmente intensos como **50-75** mm/día y > 75 mm/día ocurren con una frecuencia mayor que en **TI**, de 2,2 y 0,6 por año, respectivamente; logrando ocasionar un incremento del 19,1% en la media.

T2, octubre y noviembre, con una media de 140,0 mm en 17,0 días de precipitación, conserva también la proporcionalidad entre los meses que la conforman, establecida para las dos estaciones climáticas anteriores. Los eventos < 10 mm/día involucran el 74,4% de los días

de precipitación y ocasionan el 23,1% de la media estacional. Contrario a la estación *T1*, para *T2* los eventos entre 10-25 mm/día, con 17,2% de los días y un aporte a la media del 33,5%, son más importantes que aquellos entre 25-50 mm/día (6,4% y 26,2%). Con respecto a eventos especialmente intensos, 50-75 mm/día y >75 mm/día, estos son menos frecuentes que en *T1*: 1,4% y 0,6%, respectivamente. Por consiguiente, el aporte a la media mensual por parte de estos eventos es a su vez inferior: *T1*=23,3% vs. *T2*=17,2%.

La Figura III.38 refleja la dinámica temporal en la frecuencia de precipitaciones de diferente intensidad para el lapso que comprende las estaciones *T1+HUMEDA+T2* (abril-noviembre), esto durante los 37 años de los que se disponen datos en base diaria para San Fernando de Apure. Relacionada a esta figura, la Tabla III.2 resume los valores promedio para el número de eventos de diferente intensidad, así como los estadísticos que resultan de la correlación (Pearson) entre su dinámica temporal y la de las precipitaciones medias que ocurren entre abril y noviembre para cada año, tanto para la serie completa (1961-1997) como para 1961-1978 y la subsiguiente, 1979-1997.

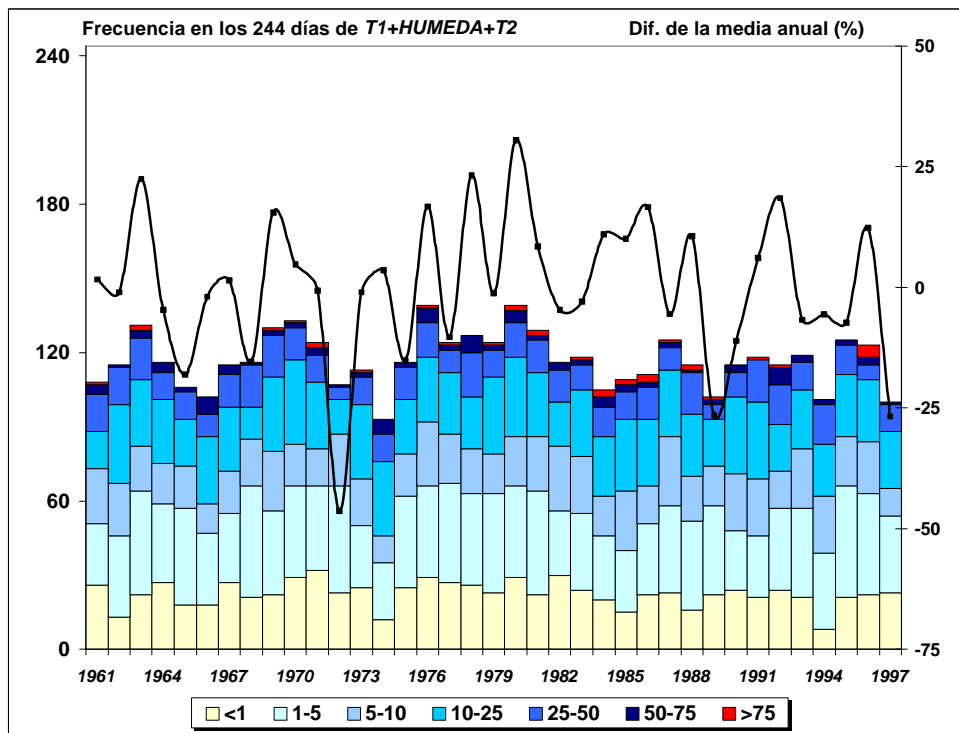


Figura III.38. En barras, frecuencia anual de precipitaciones de diferente intensidad (mm/día) para los meses de abril a noviembre (*T1+HUMEDA+T2*) y para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure. La línea negra se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para el lapso abril-noviembre (*T1+HUMEDA+T2*).

Tabla III.2. Número promedio de eventos de diferente intensidad para el lapso abril-noviembre ($T1+HUMEDA+T2$) y para las series 1961-1978 (18 años), 1979-1997 (19 años) y 1961-1997 (37 años); así como su correlación con la diferencia de la media de las precipitaciones para la serie correspondiente.

Intensidad (mm/día)	Nº de eventos/año por serie			Estadísticos de correlación (Pearson)								
				1961-1978			1979-1997			1961-1997		
	1961-1978	1979-1997	1961-1997	r	R ²	P	r	R ²	P	r	R ²	P
<1	23,4	21,6	22,5	0,12	0,02	0,6277	0,07	0,01	0,7675	0,08	0,01	0,6319
1-5	34,4	33,2	33,8	-0,27	0,07	0,2757	0,04	0,00	0,8800	-0,13	0,02	0,4400
5-10	18,3	20,2	19,3	0,08	0,01	0,7429	0,03	0,00	0,9017	0,07	0,01	0,6637
10-25	24,7	25,5	25,1	0,53	0,28	0,0249	0,34	0,12	0,1534	0,45	0,21	0,0048
25-50	12,8	12,0	12,4	0,71	0,50	0,0009	0,44	0,19	0,0587	0,57	0,32	0,0003
50-75	3,3	2,6	2,9	0,53	0,28	0,0236	0,48	0,23	0,0368	0,48	0,23	0,0027
>75	0,6	1,3	0,9	0,43	0,18	0,0757	0,62	0,39	0,0043	0,52	0,27	0,0011
Total	117,5	116,3	116,9	0,52	0,27	0,0257	0,50	0,25	0,0278	0,51	0,26	0,0014

Según se aprecia, para **1961-1997**, existe una correlación muy significativa ($P<0,01$), más no muy fuerte, entre la dinámica temporal de las medias de precipitación y aquella de los eventos cuya intensidad es 10 mm/día, pudiendo explicar, entre el 21 y 32% de la variabilidad en las precipitaciones interanuales. Durante el lapso de 18 años que comprende la serie **1961-1978**, los eventos con un mayor impacto en la dinámica de las precipitaciones son aquellas cuyas intensidades se ubican entre 10-75 mm/día, siendo las de **25-50** mm/día las que presentan mayor significación estadística y explican el 50% de la variabilidad. Durante la siguiente serie, **1979-1997**, los eventos **>75** mm/día adquieren la mayor significación ($r=0,62$; $P=0,0043$), mientras que las precipitaciones de intensidades entre 10-50 mm/día pierden significación ($P>0,05$). Las de entre **50-75** mm/día mantienen significación ($P<0,05$) pero una discreta reducción en la frecuencia entre las dos series (**1961-1978**=3,3 vs. **1979-1997**=2,6) hace que esta sea algo menor.

Con respecto a la dinámica temporal de los eventos de precipitación durante la estación **T1** y su correlación con la media de las precipitaciones para el lapso abril-noviembre (**T1+HUMEDA+T2**), la Tabla III.3 y la Figura III.39 resumen los resultados de los análisis. Se observa que, en líneas generales, la dinámica temporal en la media de las precipitaciones es independiente de la frecuencia de los eventos; donde sólo los de intensidad **>75** mm/día logran explicar el 16% de la variabilidad. Esto es especialmente cierto durante la serie **1961-1978** cuando estos eventos extremos logran explicar hasta el 25%. Cualquier significación estadística ($P<0,05$) se pierde en la siguiente serie, **1979-1997**, cuando, en el mejor de los casos, cualquier interpretación en la vinculación entre la dinámica temporal de eventos y la de la media de las precipitaciones presenta una $P=0,16$.

Tabla III.3. Número promedio de eventos de diferente intensidad para la estación *TI* (abril-mayo) y para las series 1961-1978 (18 años), 1979-1997 (19 años) y 1961-1997 (37 años); así como su correlación con la diferencia de la media de las precipitaciones (*TI+HUMEDA+T2*) para la serie correspondiente.

Intensidad (mm/día)	Nº de eventos/año por serie			Estadísticos de correlación (Pearson)								
				1961-1978			1979-1997			1961-1997		
	1961-1978	1979-1997	1961-1997	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>
<1	4,3	4,1	4,2	0,12	0,01	0,6489	-0,05	0,00	0,8398	0,02	0,00	0,9087
1-5	4,4	4,9	4,6	0,32	0,10	0,2013	-0,08	0,01	0,7470	0,16	0,03	0,3488
5-10	2,6	3,3	3,0	0,26	0,07	0,3046	-0,02	0,00	0,9240	0,12	0,02	0,4659
10-25	3,5	3,9	3,7	0,17	0,03	0,5022	0,08	0,01	0,7386	0,12	0,01	0,4785
25-50	2,4	2,2	2,3	0,33	0,11	0,1782	0,02	0,00	0,9210	0,18	0,03	0,2796
50-75	0,4	0,6	0,5	0,32	0,10	0,1931	0,23	0,05	0,3353	0,28	0,08	0,0915
>75	0,2	0,3	0,2	0,50	0,25	0,0361	0,33	0,11	0,1617	0,40	0,16	0,0139
Total	17,8	19,3	18,6	0,41	0,16	0,0945	0,03	0,00	0,9123	0,21	0,04	0,2113

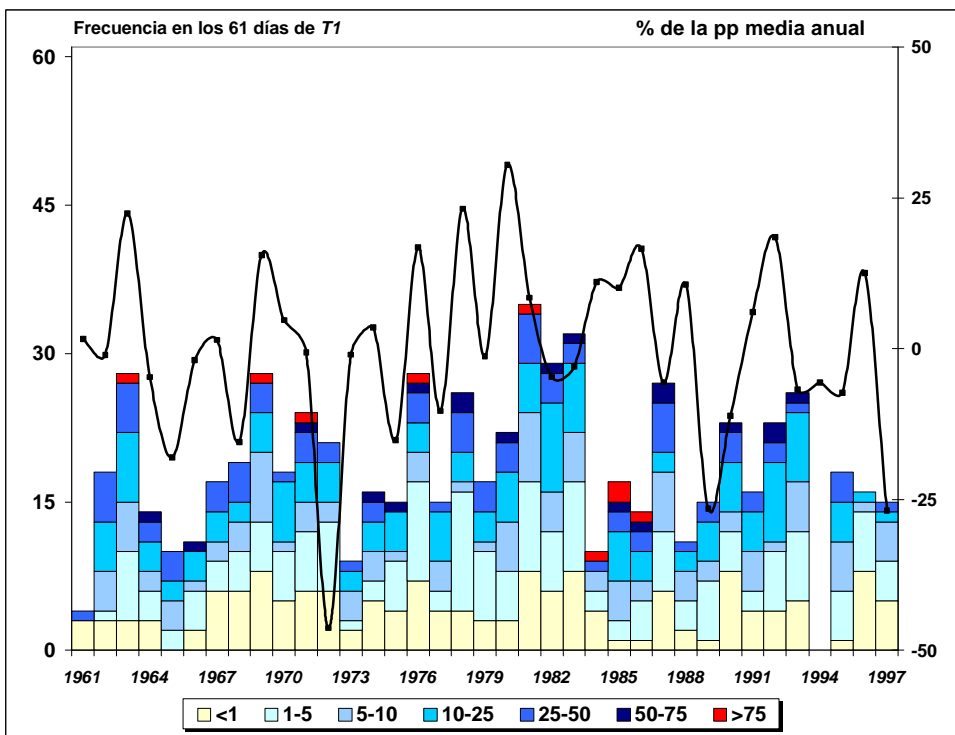


Figura III.39. Frecuencia anual de precipitaciones de diferente intensidad (mm/día) para la estación climática *TI* (abril-mayo) y para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure. La línea negra se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para el lapso abril-noviembre (*TI+HUMEDA+T2*).

Los resultados sobre la dinámica temporal de los eventos de precipitación y su correlación con la media de las precipitaciones para la estación climática *HUMEDA* se presentan en la Tabla III.4 y la Figura III.40. Aquí se tiene que las precipitaciones con intensidades 10 mm/día presentan una correlación significativa ($P < 0,05$) con respecto a la variabilidad temporal en la media de las precipitaciones (abril y noviembre); aunque no es lo suficientemente fuerte para explicar más del 19% de dinámica. Históricamente, las intensidades entre 10 y 75 mm/día presentan mayor correlación para el lapso 1961-1978 que

para el de **1979-1997**, cuando sólo las precipitaciones extremas (>75 mm/día) corresponden significativamente a la variabilidad observada ($P<0,05$).

Tabla III.4. Número promedio de eventos de diferente intensidad para la estación **HUMEDA** (junio-julio-agosto-septiembre) y para las series 1961-1978 (18 años), 1979-1997 (19 años) y 1961-1997 (37 años); así como su correlación con la diferencia de la media de las precipitaciones ($T1+HUMEDA+T2$) para la serie correspondiente.

Intensidad (mm/día)	Nº de eventos/año por serie			Estadísticos de correlación (Pearson)								
				1961-1978			1979-1997			1961-1997		
	1961-1978	1979-1997	1961-1997	r	R ²	P	r	R ²	P	r	R ²	P
<1	13,7	13,6	13,6	0,15	0,02	0,5416	0,01	0,00	0,9585	0,10	0,01	0,5540
1-5	24,2	22,4	23,3	-0,43	0,18	0,0766	0,01	0,00	0,9690	-0,22	0,05	0,1862
5-10	13,6	14,8	14,2	-0,01	0,00	0,9626	0,03	0,00	0,9081	0,03	0,00	0,8800
10-25	18,4	18,4	18,4	0,52	0,27	0,0259	0,33	0,11	0,1628	0,44	0,19	0,0064
25-50	9,3	8,7	9,0	0,59	0,35	0,0096	0,30	0,09	0,2177	0,43	0,19	0,0073
50-75	2,6	1,7	2,2	0,49	0,24	0,0380	0,45	0,20	0,0528	0,42	0,18	0,0096
>75	0,3	0,9	0,6	0,17	0,03	0,4958	0,57	0,32	0,0116	0,40	0,16	0,0130
Total	82,1	80,6	81,3	0,48	0,23	0,0427	0,50	0,25	0,0304	0,48	0,23	0,0029

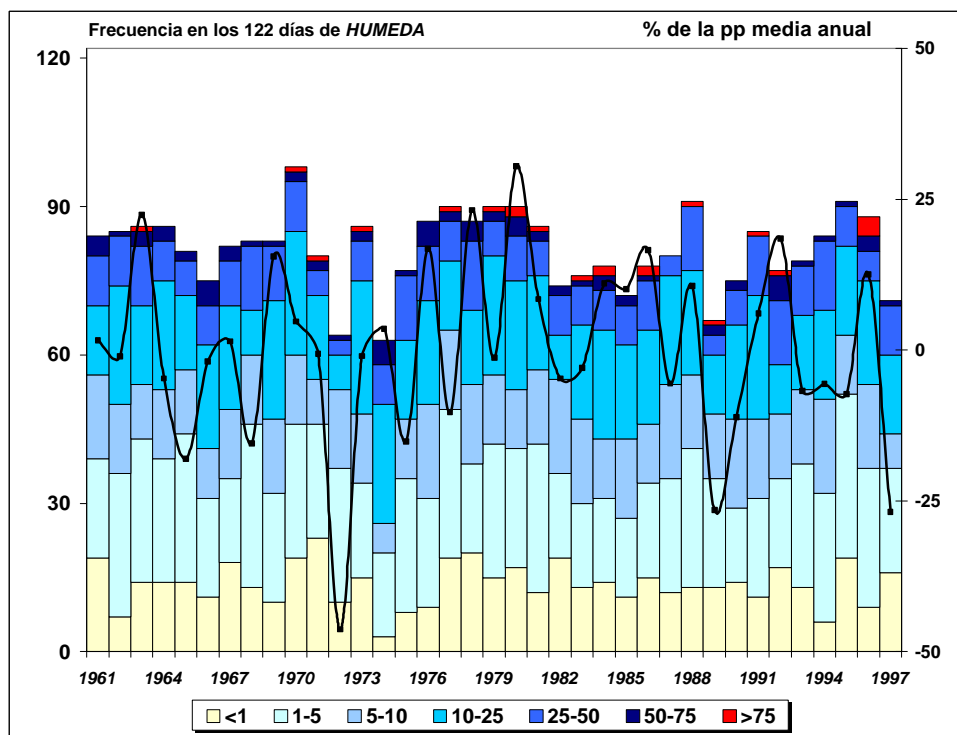


Figura III.40. Frecuencia anual de precipitaciones de diferente intensidad (mm/día) para la estación climática **HUMEDA** (junio-julio-agosto-septiembre) y para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure. La línea negra se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para el lapso abril-noviembre ($T1+HUMEDA+T2$).

Para la estación **T2** (Tabla III.5 y Figura III.41) la frecuencia de eventos de diferentes intensidades tiende a ser independiente de la dinámica histórica de la media de las precipitaciones ($P>0,05$). Es sólo durante el lapso **1979-1997** y para aquellos con una

intensidad 25-50 mm/día que se logra establecer una relación en la evolución histórica de ambas variables ($r=0,45$; $P=0,0363$).

Tabla III.5. Número promedio de eventos de diferente intensidad para la estación T2 (octubre-noviembre) y para las series 1961-1978 (18 años), 1979-1997 (19 años) y 1961-1997 (37 años); así como su correlación con la diferencia de la media de las precipitaciones ($T1+HUMEDA+T2$) para la serie correspondiente.

Intensidad (mm/día)	Nº de eventos/año por serie			Estadísticos de correlación (Pearson)								
				1961-1978			1979-1997			1961-1997		
	1961-1978	1979-1997	1961-1997	r	R ²	P	r	R ²	P	r	R ²	P
<1	5,5	3,8	4,6	-0,11	0,01	0,6536	0,19	0,04	0,4298	-0,02	0,00	0,9012
1-5	5,9	5,8	5,9	-0,36	0,13	0,1444	0,21	0,04	0,3895	-0,07	0,01	0,6640
5-10	2,2	2,1	2,1	-0,06	0,00	0,8225	0,07	0,00	0,7906	0,00	0,00	0,9876
10-25	2,7	3,1	2,9	0,01	0,00	0,9573	-0,13	0,02	0,6057	-0,05	0,00	0,7695
25-50	1,1	1,1	1,1	0,19	0,03	0,4615	0,48	0,23	0,0363	0,32	0,10	0,0537
50-75	0,2	0,3	0,2	0,37	0,13	0,1362	-0,04	0,00	0,8681	0,17	0,03	0,3264
>75	0,1	0,2	0,1	0,05	0,00	0,8571	0,14	0,02	0,5759	0,11	0,01	0,5184
Total	17,6	16,4	17,0	-0,19	0,03	0,4608	0,30	0,09	0,2129	0,06	0,00	0,7455

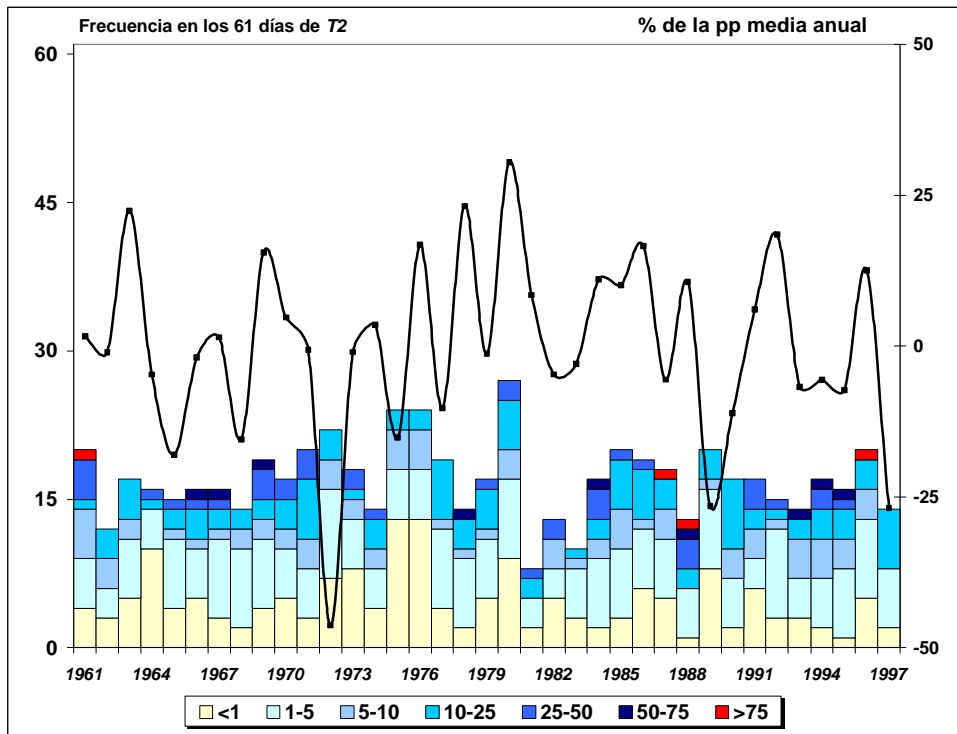


Figura III.41. Frecuencia anual de precipitaciones de diferente intensidad (mm/día) para la estación climática T2 (octubre-noviembre) y para el lapso 1961-1997 en San Fernando de Apure. La línea negra se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para el lapso abril-noviembre ($T1+HUMEDA+T2$).

Ahora bien, otro aspecto importante a considerar para explicar la dinámica histórica en la media de las precipitaciones es la frecuencia, en la escala mensual e interanual, de pequeños episodios secos a los que hemos definido como *veranitos*. En promedio, de los 244 días que conforman el lapso *T1+HUMEDA+T2* (abril-noviembre), 149,6 días son secos (pp <0,1 mm). De estos, el 39,5% (59,1 días) se presentan vinculados a *veranitos* de diferente duración. Anualmente, y con un promedio de 7,14 eventos, se presentan 4,19 *veranitos* de **5 días**, 1,22 de **10 días** y 1,73 de **15 días** (ver Tabla III.6). La Figura III.42 muestra la distribución media mensual de estos episodios secos entre los meses de abril y noviembre para la serie **1961-1997** en San Fernando de Apure. Según la figura, los *veranitos* son más frecuentes y duraderos en las estaciones de “entrada” y de “salida” de las lluvias, *T1* (abril-mayo) y *T2* (octubre-noviembre).

Tabla III.6. Frecuencia mensual y estacional de *veranitos* de diferente duración y días vinculados a estos para la serie 1961-1997 (37 años) en San Fernando de Apure.

	Veranitos (frecuencia)			Días vinculados a veranitos			
	5 días	10 días	15 días	de 5 días	de 10 días	de 15 días	Total
Abril	0,65	0,30	0,86	3,2	3,0	13,0	19,2
Mayo	0,68	0,24	0,19	3,4	2,4	2,8	8,6
Junio	0,22	0,08	0,00	1,1	0,8	0,0	1,9
Julio	0,08	0,03	0,00	0,4	0,3	0,0	0,7
Agosto	0,11	0,00	0,00	0,5	0,0	0,0	0,5
Septiembre	0,27	0,03	0,03	1,4	0,3	0,4	2,1
Octubre	1,16	0,19	0,00	5,8	1,9	0,0	7,7
Noviembre	1,03	0,35	0,65	5,1	3,5	9,7	18,3
T1	1,32	0,54	1,05	6,6	5,4	15,8	27,8
HUMEDA	0,68	0,14	0,03	3,4	1,4	0,4	5,2
T2	2,19	0,54	0,65	10,9	5,4	9,7	26,1
Total	4,19	1,22	1,73	20,9	12,2	25,9	59,1

Con 46,6 días secos, la estación *T1* presenta una elevada frecuencia de *veranitos*; de hecho el 59,7% del total de días secos están vinculados a estos episodios. La mayor frecuencia se tiene para los *veranitos* de **5 días** (1,32 eventos/estación) e involucran a 6,6 de los días secos. Los *veranitos* de **15 días** le siguen en frecuencia (1,05 eventos) pero en su dinámica, comprometen una mayor cantidad de días del total de secos (15,8 días). El 60,9% del total anual de los episodios secos de esta magnitud ocurren en *T1*; y de éste, el 81,9% en el mes de abril, presentándose como un *retardo* en la “entrada de las lluvias”. Para *T1* la duración de *veranito* menos frecuente es la de **10 días** (1 evento cada 2 años). Por su duración, vincula al 19,4% días secos de la estación. El 44,4% del total anual de *veranitos* de **10 días** ocurre en *T1*.

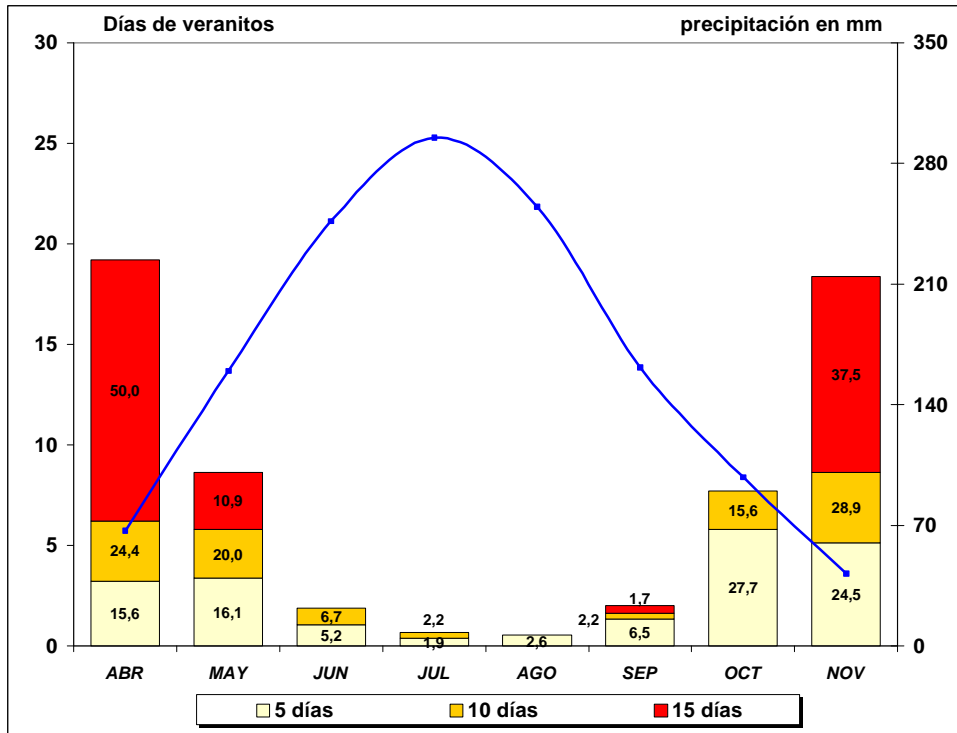


Figura III.42. Frecuencia mensual de *veranitos* de diferente duración entre los meses de abril y noviembre (T1+HUMEDA+T2) en San Fernando de Apure (eje y1). Los rótulos en las barras se refieren al porcentaje de la media anual de *veranitos* de una determinada duración que ocurren mensualmente. La línea azul se refleja la distribución mensual de las precipitaciones (en mm) (eje y2).

Para la estación *HUMEDA*, el 44,5% de los días es secos ($pp < 1$ mm); de estos, apenas el 9,5% se presenta como *veranitos*. Con una frecuencia de 0,68 eventos/año, los *veranitos* de **5 días** son los que ocurren con mayor regularidad. *Veranitos* de mayor duración son muy raros para esta estación climática: 1,4 eventos cada 10 años en el caso de los de **10 días** y 3 cada 100 años para los de **15 días**. Con frecuencias de 0,11 eventos/año, julio y agosto se presentan como los meses con una menor incidencia de *veranitos* de cualquier duración. Para junio y septiembre, por otro lado, la ocurrencia de *veranitos* casi se triplica: 0,30 y 0,32 eventos/año, respectivamente. Aquí, dominan los *veranitos* de **5 días** (0,49 eventos/año), pero no se descarta la ocurrencia de *veranitos* de otras duraciones: 1,1 *veranitos* de **10 días** cada 10 años y uno de **15 días** cada 100 años.

Por último, en lo que respecta a la distribución estacional de *veranitos*, **T2** presenta una frecuencia de *veranitos* algo mayor que **T1** (3,38 vs. 2,92 eventos/año). Como resultado, aunque con una $P > 0,05$, **T2** resulta más seco que **T1**: 48,6 vs. 46,6 días sin lluvia. Durante **T2**, la mayor frecuencia de *veranitos* es aquella para cuya duración es de **5 días** (2,19

eventos/año); seguida por los de **15 días** (0,65 eventos/año) y los de **10 días** (casi 1 cada 2 años). Los de **15 días** comprometen el 37,5% del total anual de *veranitos* de dicha duración.

Para la mejor interpretación de la significación dinámica temporal de los *veranitos*, la Tabla III.7 así como las Figuras III.43 y III.44 resumen los resultados de las relaciones que existen entre las variables: días de precipitación 1 mm (**DD pp**), días secos vinculados a *veranitos* (**DS ver**) y días secos no vinculados a éstos (**DS nv**); con respecto a la media de las precipitaciones de las series **1961-1978**, **1979-1997** y **1961-1997**; esto para las estaciones climáticas: **T1+HUMEDA+T2** (Total), **T1**, **HUMEDA** y **T2**.

Tabla III.7. Relaciones entre la media de las precipitaciones para diferentes series y las variables: días de precipitación (1 mm, DD pp), días secos vinculados a veranitos (DS ver) y días secos no vinculados a éstos, durante las estaciones climáticas T1+HUMEDA+T2 (Total), T1, HUMEDA y T2.

Lapso	Variable	Estadísticos de correlación (Pearson)											
		Nº de eventos/año por serie			1961-1978			1979-1997			1961-1997		
		1961-1978	1979-1997	1961-1997	r	R ²	P	r	R ²	P	r	R ²	P
TOTAL	DD pp	94,1	94,7	94,4	0,58	0,34	0,0109	0,54	0,29	0,0168	0,56	0,32	0,0003
	DS ver	60,8	57,4	59,1	-0,38	0,15	0,1150	-0,40	0,16	0,0873	-0,40	0,16	0,0174
	DS nv	89,1	91,9	90,5	0,05	0,00	0,8336	0,10	0,01	0,6916	0,08	0,01	0,6269
T1	DD pp	13,6	15,2	14,4	0,44	0,20	0,0647	0,05	0,00	0,8283	0,25	0,06	0,1388
	DS ver	29,2	26,6	27,8	-0,29	0,08	0,2478	-0,10	0,01	0,6802	-0,20	0,04	0,2289
	DS nv	18,3	19,3	18,8	0,14	0,02	0,5732	0,13	0,02	0,5824	0,14	0,02	0,3965
HUMEDA	DD pp	68,4	67,0	67,7	0,46	0,22	0,0523	0,44	0,19	0,0598	0,43	0,19	0,0073
	DS ver	4,7	5,5	5,1	-0,70	0,48	0,0013	-0,41	0,16	0,0854	-0,56	0,32	0,0003
	DS nv	48,9	49,5	49,2	0,29	0,08	0,2492	-0,22	0,05	0,3651	0,02	0,00	0,9033
T2	DD pp	12,1	12,6	12,4	-0,09	0,01	0,7123	0,25	0,06	0,2950	0,09	0,01	0,5820
	DS ver	26,9	25,3	26,1	0,28	0,08	0,2563	-0,26	0,07	0,2850	0,00	0,00	0,9879
	DS nv	21,9	23,2	22,6	-0,33	0,11	0,1865	0,21	0,05	0,3769	-0,04	0,00	0,8020

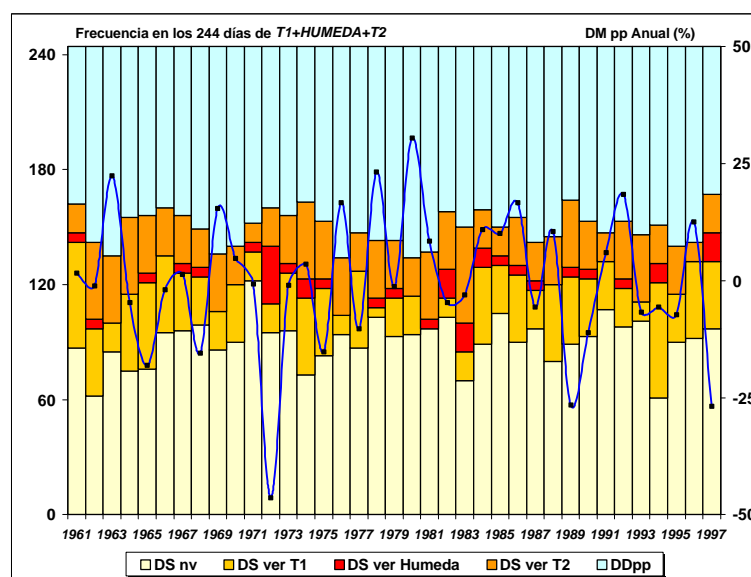


Figura III.43. Frecuencia relativa anual para las variables: días de precipitación (1 mm, DD pp), días secos vinculados a veranitos por estación (DS ver) y días secos no vinculados a éstos, durante el lapso T1+HUMEDA+T2 (Total). La línea azul se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones correspondiente y está expresada sobre el eje y2.

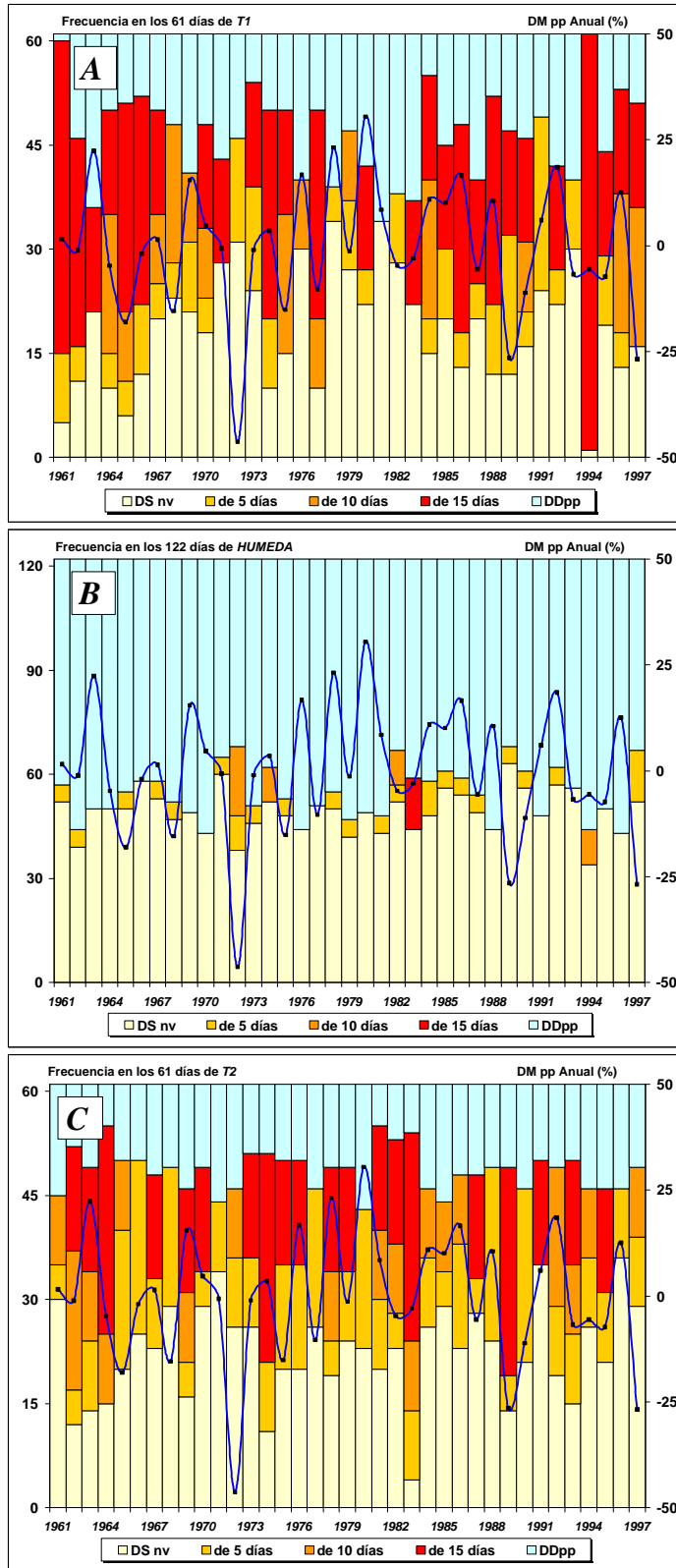


Figura III.44. Frecuencia relativa anual para las variables: días de precipitación (1 mm, DD pp), días secos vinculados a *veranitos* por estación (DS ver) y días secos no vinculados a éstos, durante la estación T1 (A), HUMEDA (B) y T2 (C). La línea azul se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para abril-noviembre y está expresada sobre el eje y2.

Para el lapso ***T1+HUMEDA+T2***, y durante la serie ***1961-1997***, la dinámica de los días de lluvia (***DDpp***) presenta, con respecto a la variabilidad de la media de las precipitaciones, una correlación de elevada significación estadística ($r=0,56$, $P=0,0003$). Los días vinculados a *veranitos* (***DSver***) explican también esta variabilidad de forma significativa ($P=0,0174$), pero ahora, a través de una correlación negativa ($r= -0,40$). La dinámica de los días secos no vinculados a *veranitos* (***DSnv***) tiende a ser, en todo momento, independiente de la variabilidad de las precipitaciones ($r=0,08$, $P>0,05$). Históricamente, la correlación entre ***DDpp*** y la variabilidad de la media de las precipitaciones, entre las series ***1961-1978*** y ***1979-1997***, se mantiene ($P<0,05$). ***DSver***, por otro lado, carece inicialmente de significación estadística ($P>0,05$), pero producto de una reducción en sus valores de esta variable, tiende con el tiempo a establecer una correlación negativa con la media de las precipitaciones.

Ni la estación de “entrada” así como de “salida” de las lluvias, ***T1*** y ***T2***, presentan una dinámica histórica significativa ($P>0,05$) en el número de días de precipitación, de días vinculados a *veranitos* y de días no vinculados a estos. Carecen, por lo tanto, de correlación con la variabilidad interanual de las precipitaciones. La estación ***HUMEDA***, por otro lado, manifiesta una dinámica histórica significativa ($P<0,05$) a través de sus variables ***DDpp*** y ***DSver***. La variabilidad de las precipitaciones se explica a través de correlación positiva con ***DDpp*** y negativa con ***DSver***, siendo la variabilidad más sensible a la frecuencia de *veranitos* que a los días de precipitación de cualquier intensidad ($P=0,0003$ vs. $P=0,0073$). Esto también se evidencia cuando se considera su comportamiento entre las series ***1961-1978*** y ***1979-1997***.

La Tabla III.8 resume los valores que resultan de la correlación *Pearson* entre la media de las precipitaciones entre abril y noviembre (***T1+HUMEDA+T2***) y la frecuencia de días sin precipitación vinculados a *veranitos*, y a los días con precipitaciones de diferentes intensidades: ***10-25***, ***25-50***, ***50-75*** y ***>75*** mm/día. De igual forma, la Figura III.45 ilustra las relaciones que resultan en este sentido. Se observa que la dinámica temporal en las precipitaciones de San Fernando de Apure puede ser explicada, en primer lugar, por la variabilidad histórica en la frecuencia de días con precipitaciones ***>10*** mm/día ($R^2=0,66$), donde la serie ***1961-1978*** muestra mayor sensibilidad para este tipo de precipitaciones, especialmente ante las de ***25-50*** mm/día ($R^2=0,52$); durante ***1979-1997***, en cambio, son las precipitaciones especialmente intensas (***>75*** mm/día) las que mejor explican la variabilidad ($R^2=0,39$). Como segunda causa de la dinámica en las precipitaciones se tiene la variabilidad histórica en la frecuencia de días secos vinculados a *veranitos*. Esto es especialmente cierto si

se trata de *veranitos* que ocurren durante la estación **HUMEDA** de la serie **1961-1978** y explican el 48% de su variabilidad. En el caso de la serie **1979-1997**, la correlación pierde fuerza y la presencia de *veranitos* durante su estación **HUMEDA** explican solo el 16% de la variabilidad.

Tabla III.8. Correlación Pearson entre la media de las precipitaciones abril-noviembre (T1+HUMEDA+T2) y los días con precipitaciones (DDpp) de diferentes intensidades: 10-25, 25-50, 50-75 y >75 mm/día; así como la frecuencia de días sin precipitación vinculados a *veranitos* (DS ver). Para una $P < 0,05$, la significación se alcanza cuando $r > 0,33$.

		Precipitación media T1+HUMEDA+T2		
		1961-1978	1979-1997	1961-1997
TOTAL	DDpp 10-25	0,50	0,29	0,42
	DDpp 25-50	0,72	0,44	0,57
	DDpp 50-75	0,53	0,48	0,48
	DDpp >75	0,43	0,62	0,52
	DDpp TOTAL	0,87	0,76	0,81
	DSver	-0,38	-0,40	-0,40
T1	DDpp 10-25	0,17	0,08	0,12
	DDpp 25-50	0,33	0,02	0,18
	DDpp 50-75	0,32	0,23	0,28
	DDpp >75	0,50	0,33	0,40
	DDpp TOTAL	0,44	0,16	0,27
	DSver	-0,29	-0,10	-0,20
HUMEDA	DDpp 10-25	0,52	0,33	0,44
	DDpp 25-50	0,59	0,30	0,43
	DDpp 50-75	0,49	0,45	0,42
	DDpp >75	0,17	0,57	0,40
	DDpp TOTAL	0,78	0,66	0,71
	DSver	-0,70	-0,41	-0,56
T2	DDpp 10-25	0,01	-0,13	-0,05
	DDpp 25-50	0,19	0,48	0,32
	DDpp 50-75	0,37	-0,04	0,17
	DDpp >75	0,05	0,14	0,11
	DDpp TOTAL	0,23	0,18	0,21
	DSver	0,28	-0,26	0,00

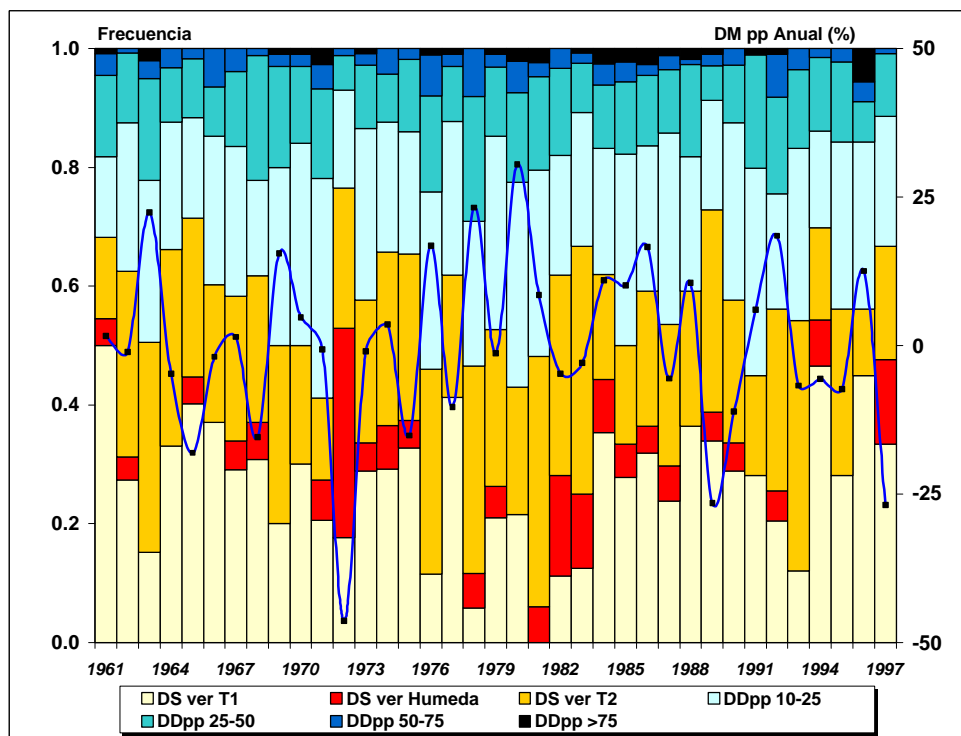


Figura III.45. Frecuencia relativa anual para las variables: días de precipitación de diferente intensidad (DD pp, en mm/día), días secos vinculados a *veranitos* por estación (DS ver) durante la estación climáticas *T1*, *HUMEDA* y *T2*. La línea azul se refiere a la diferencia relativa de la media de las precipitaciones para abril-noviembre y está expresada sobre el eje y_2 .

III.3.4. Relación entre las precipitaciones y la dinámica temporal de las variables macroclimáticas (VM)

III.3.4.1. Relación con las precipitaciones mensuales de la *ventana de trabajo*

La Figura III.46 es una representación de la dinámica anual de las *variables macroclimáticas* según las bases de datos aportadas por las diferentes fuentes (ver Tabla III.1). Al correlacionar esta información con aquella de las precipitaciones anuales por mes para la *ventana de trabajo* (Figura III.22) se obtiene la serie de Tablas de la III.9 a la III. 18 así como las Figuras de la III.47 a la III.51; donde se aprecia que, dependiendo del mes y la serie anual, el lag y VM considerada, ocurre una gran variabilidad de situaciones en lo que respecta al signo, magnitud y significación en las correlaciones. Por lo general, y si bien no siempre de forma significativa, las VM oceánicas (tipo SST; **NATL**, **SATL**, **N34**, **PDO** y **NAN**) tienden a formar “seguidillas” que expresan la dinámica temporal de las correlaciones con respecto a los *lags*. Las VM atmosféricas (tipo SSP; **NAO**, **SOI** y **NPI**), por otro lado, son mucho más variables en el signo que resulta de la correlación entre un lag y el siguiente.

La Tabla III.8 presenta las correlaciones *Pearson* que resultan entre la media estacional y anual de las precipitaciones, y dinámica temporal en las anomalías de las VM. Se tiene que, en líneas generales, las VM oceánicas **NATL** y **N34** y la VM atmosférica **SOI** explican mejor la variabilidad estacional y anual de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*.

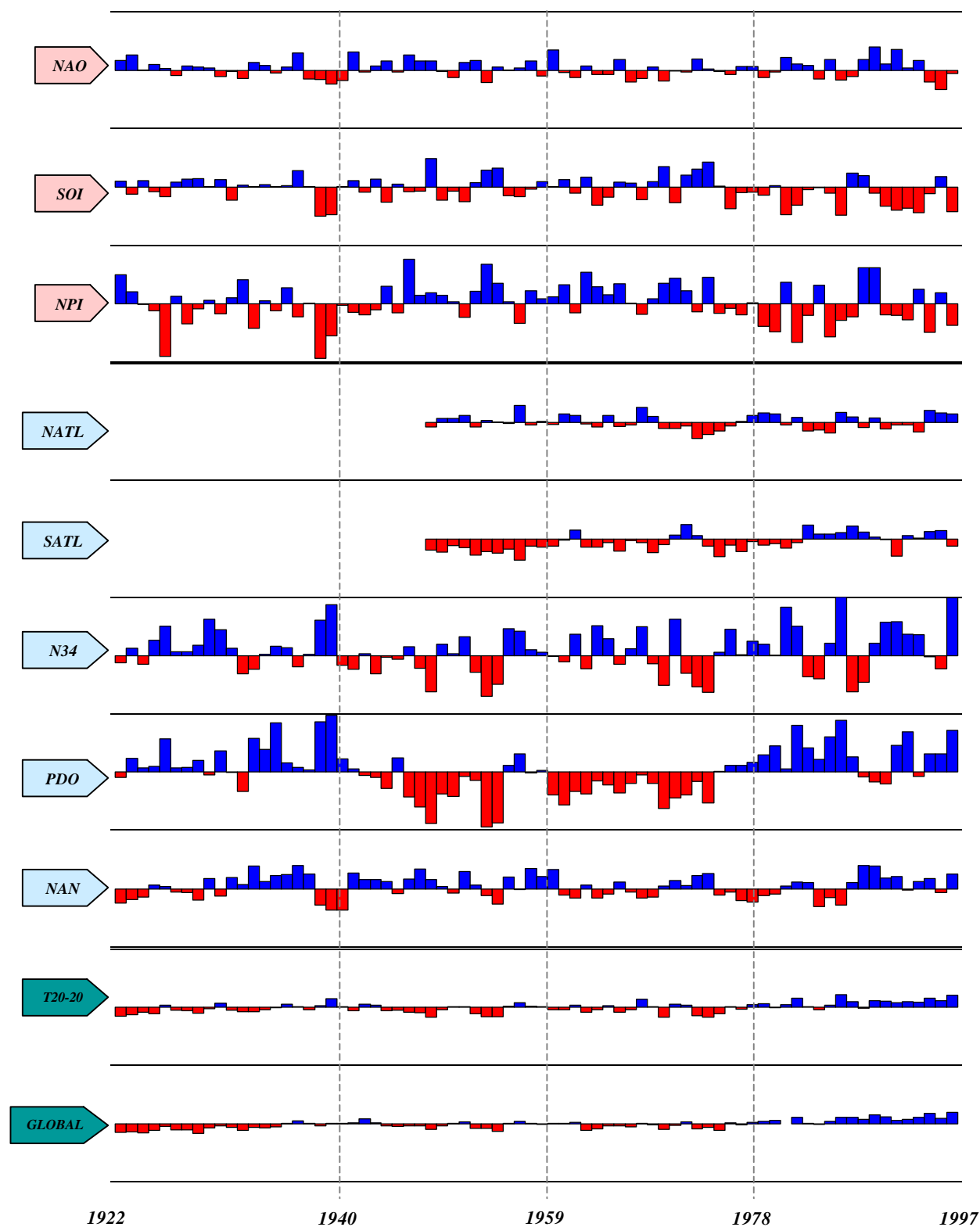


Figura III.46. Distribución anual de las anomalías para las *variables macroclimáticas* seleccionadas (ver Tabla III.1 y Figura III.6). Para las variables NAO, SOI y NPI la escala de las anomalías van de +3 a -3 mb; para el resto, de +2 a -2 °C.

Tabla III.9. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías de la *Oscilación del Atlántico Norte (NAO)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,08	-0,03	0,03	-0,14	-0,28	0,24	-0,17	0,44	-0,00	0,15	0,24	-0,14
	Lag -1	-0,14	-0,05	-0,00	-0,09	0,05	0,05	0,09	-0,21	0,21	-0,06	0,23	-0,24
	Lag -2	0,14	-0,22	-0,22	-0,06	-0,18	0,03	0,16	0,13	-0,05	0,08	-0,25	0,03
	Lag -3	0,04	0,11	-0,10	0,00	-0,00	-0,30	-0,07	0,11	0,01	-0,03	0,09	-0,00
	Lag -4	-0,00	0,18	0,08	-0,03	0,17	-0,26	-0,36	-0,13	0,02	0,02	0,13	-0,18
	Lag -5	-0,10	-0,20	0,25	-0,08	0,11	-0,15	-0,33	0,44	-0,29	-0,04	0,08	0,17
	Lag -6	0,15	-0,04	-0,08	0,03	-0,01	0,02	-0,14	-0,17	-0,27	-0,23	-0,07	-0,20
1922-1940	Lag 0	-0,12	0,63	-0,01	0,15	-0,24	-0,18	-0,03	0,06	-0,22	0,01	0,11	0,26
	Lag -1	0,06	-0,10	0,10	-0,35	0,25	-0,31	-0,50	-0,24	0,27	-0,03	0,17	-0,04
	Lag -2	0,01	-0,23	-0,24	0,15	-0,39	0,06	0,30	-0,52	-0,30	0,18	0,42	-0,30
	Lag -3	-0,14	-0,43	-0,10	0,17	0,00	-0,26	0,06	-0,18	-0,45	-0,14	-0,04	-0,19
	Lag -4	-0,14	-0,21	-0,59	0,26	0,21	-0,02	-0,07	0,01	0,36	0,16	-0,17	0,09
	Lag -5	0,05	0,37	0,16	0,07	0,30	0,13	-0,05	0,06	0,20	-0,24	0,03	-0,10
	Lag -6	-0,28	0,09	0,25	0,07	-0,19	0,16	-0,14	-0,03	-0,09	0,47	-0,30	-0,21
1941-1959	Lag 0	-0,54	0,08	0,17	0,02	0,14	0,12	-0,45	0,39	-0,53	-0,24	0,12	-0,54
	Lag -1	-0,20	-0,12	0,16	-0,41	-0,58	-0,21	-0,04	-0,77	0,33	-0,01	0,66	-0,26
	Lag -2	-0,38	-0,31	-0,55	-0,29	-0,23	0,29	0,32	-0,06	0,04	-0,45	-0,41	-0,19
	Lag -3	0,26	-0,63	0,15	-0,10	0,14	0,15	-0,48	-0,07	0,82	0,23	-0,07	0,00
	Lag -4	-0,02	0,30	0,02	-0,41	0,22	-0,17	0,03	-0,32	-0,59	-0,10	0,29	-0,51
	Lag -5	-0,60	-0,31	0,34	-0,80	0,24	-0,59	0,05	0,39	0,12	0,55	0,11	0,40
	Lag -6	0,24	-0,63	-0,07	0,35	-0,12	-0,50	-0,13	-0,06	-0,60	-0,24	0,04	-0,55
1960-1978	Lag 0	-0,14	-0,32	-0,53	-0,23	-0,37	0,28	-0,21	0,43	-0,02	0,11	0,05	-0,26
	Lag -1	-0,26	0,02	-0,17	-0,04	0,27	0,22	0,17	-0,04	0,32	0,02	-0,21	-0,32
	Lag -2	0,26	-0,33	-0,25	-0,12	-0,39	-0,22	0,39	0,56	-0,30	0,14	0,20	0,09
	Lag -3	-0,15	0,22	-0,28	-0,17	-0,26	-0,61	0,05	0,41	-0,13	-0,40	0,36	0,00
	Lag -4	0,13	0,15	0,11	-0,46	0,19	-0,62	-0,63	-0,06	0,25	0,01	0,29	-0,23
	Lag -5	0,11	-0,26	0,25	0,30	-0,18	-0,34	-0,55	0,43	-0,33	-0,25	-0,14	0,04
	Lag -6	0,44	0,13	-0,25	0,07	0,27	-0,64	-0,12	-0,09	-0,21	-0,11	-0,03	0,05
1979-1997	Lag 0	0,33	0,36	0,18	-0,15	-0,37	0,30	-0,01	0,44	0,18	0,45	0,46	0,15
	Lag -1	-0,00	-0,08	-0,01	-0,02	-0,00	-0,06	0,16	-0,13	-0,05	-0,14	0,19	-0,30
	Lag -2	0,13	-0,14	-0,16	0,02	-0,12	0,25	-0,32	-0,17	0,14	0,23	-0,50	0,07
	Lag -3	0,11	0,28	-0,37	0,13	0,10	-0,19	-0,08	-0,21	-0,34	0,11	0,03	0,05
	Lag -4	-0,12	0,08	0,02	0,27	0,13	-0,02	-0,30	-0,31	0,07	0,12	-0,20	0,15
	Lag -5	-0,16	0,13	0,25	-0,11	0,19	0,08	-0,25	0,44	-0,51	-0,18	0,17	0,14
	Lag -6	-0,38	0,21	-0,06	-0,17	-0,14	0,49	-0,19	-0,32	-0,26	-0,36	-0,34	-0,27

Tabla III.10. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías del *Indice de Oscilación Sur (SOI)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	0,09	0,16	0,14	0,07	-0,21	-0,05	0,14	-0,11	0,32	0,43	0,36	0,11
	Lag -1	0,06	0,34	0,23	0,23	-0,20	-0,17	-0,01	-0,06	0,21	0,37	0,19	-0,09
	Lag -2	0,22	0,25	0,39	0,21	-0,22	-0,11	-0,24	-0,05	0,13	0,34	0,30	-0,06
	Lag -3	0,03	0,52	0,17	0,10	-0,11	-0,31	-0,17	-0,09	0,20	0,26	0,27	0,03
	Lag -4	0,03	0,41	0,31	0,12	-0,13	-0,19	-0,27	-0,17	-0,06	0,26	0,30	-0,03
	Lag -5	0,15	0,44	0,16	0,12	-0,26	-0,13	-0,35	-0,11	-0,13	0,14	0,19	-0,06
	Lag -6	0,28	0,38	0,26	0,06	-0,26	-0,22	-0,24	-0,12	-0,26	0,17	0,18	-0,15
1922-1940	Lag 0	0,08	0,03	-0,03	0,03	-0,14	0,36	0,08	0,25	0,40	0,41	0,33	0,23
	Lag -1	0,21	0,39	0,01	0,49	0,15	0,10	0,51	0,29	0,18	0,42	0,27	0,44
	Lag -2	0,03	-0,15	0,02	-0,01	-0,05	0,05	0,38	0,58	0,08	0,51	0,08	0,54
	Lag -3	0,12	-0,07	-0,03	0,12	0,23	-0,13	0,28	0,02	0,39	0,48	0,32	0,70
	Lag -4	0,14	0,24	-0,08	0,27	0,14	0,06	-0,14	-0,20	-0,26	0,38	0,14	0,31
	Lag -5	0,48	-0,08	-0,03	0,16	0,04	0,07	-0,34	0,25	-0,22	-0,18	0,28	0,24
	Lag -6	0,34	0,07	-0,10	0,41	0,10	0,15	-0,23	-0,57	-0,37	0,01	-0,25	0,49
1941-1959	Lag 0	0,43	0,50	0,30	0,54	-0,58	-0,55	0,16	-0,46	0,30	0,54	0,54	0,19
	Lag -1	0,26	0,67	0,56	0,68	-0,41	0,18	-0,35	-0,48	0,21	0,09	0,65	0,22
	Lag -2	0,44	0,93	0,65	0,58	0,04	-0,18	-0,13	-0,52	0,09	0,19	0,69	0,20
	Lag -3	0,35	0,76	0,49	0,43	0,17	-0,38	-0,20	-0,53	0,25	0,06	0,60	-0,08
	Lag -4	0,29	0,92	0,47	0,80	0,12	-0,28	0,19	-0,74	0,41	0,39	0,40	0,27
	Lag -5	0,66	0,67	0,38	0,48	0,01	-0,44	-0,36	-0,46	0,09	-0,42	0,54	0,36
	Lag -6	0,83	0,83	0,31	0,80	-0,27	-0,31	0,06	-0,23	0,17	0,06	0,51	0,21
1960-1978	Lag 0	-0,05	-0,19	-0,01	-0,12	-0,09	0,00	-0,07	-0,24	0,20	0,44	-0,14	-0,10
	Lag -1	0,10	0,10	-0,21	0,10	0,15	-0,13	-0,18	-0,07	0,21	0,46	-0,27	-0,34
	Lag -2	0,09	0,01	0,16	0,21	-0,32	0,13	-0,49	-0,02	0,25	0,39	-0,26	-0,24
	Lag -3	0,03	0,37	0,02	0,13	-0,07	-0,14	-0,33	0,06	0,18	0,18	-0,14	-0,15
	Lag -4	-0,03	0,27	0,22	0,15	-0,23	-0,05	-0,47	0,02	-0,12	-0,01	0,01	-0,24
	Lag -5	-0,11	0,38	0,21	0,25	-0,26	0,09	-0,42	-0,24	-0,14	0,31	-0,25	-0,28
	Lag -6	0,10	0,18	0,30	0,16	-0,06	-0,07	-0,27	-0,04	-0,52	0,26	-0,20	-0,40
1979-1997	Lag 0	-0,43	0,13	0,12	0,11	-0,14	0,06	0,40	0,36	0,59	0,41	0,65	0,29
	Lag -1	-0,43	0,15	0,24	0,14	-0,36	-0,29	0,39	0,28	0,31	0,48	0,29	-0,11
	Lag -2	-0,00	0,02	0,31	0,05	-0,20	-0,38	-0,05	0,20	0,15	0,36	0,33	-0,03
	Lag -3	-0,31	0,39	0,12	-0,09	-0,20	-0,48	0,06	-0,01	0,21	0,45	0,33	0,23
	Lag -4	-0,41	0,39	0,21	-0,13	-0,09	-0,29	-0,24	-0,10	-0,08	0,42	0,38	-0,03
	Lag -5	-0,11	0,16	0,10	-0,16	-0,32	-0,31	-0,29	0,36	-0,12	0,19	0,09	-0,21
	Lag -6	-0,16	0,26	0,27	-0,31	-0,39	-0,40	-0,39	-0,13	-0,14	0,13	0,21	-0,26

Tabla III.11. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías del *Indice del Pacífico Norte (NPI)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	0,00	0,43	0,11	0,04	-0,00	0,03	-0,01	0,01	0,12	0,28	-0,16	0,32
	Lag -1	0,13	0,21	0,03	0,09	-0,06	-0,12	-0,10	-0,00	0,08	0,10	-0,05	-0,13
	Lag -2	-0,17	0,06	0,01	0,16	-0,17	-0,04	-0,21	0,02	0,08	0,14	-0,04	-0,22
	Lag -3	-0,24	0,14	0,11	0,24	-0,11	-0,32	0,08	-0,35	-0,09	0,11	0,02	-0,03
	Lag -4	-0,32	0,25	-0,19	0,36	0,25	-0,13	-0,13	-0,02	-0,26	0,02	-0,13	0,14
	Lag -5	-0,04	-0,01	0,01	0,13	-0,23	-0,01	-0,17	0,01	-0,07	0,15	-0,10	-0,16
	Lag -6	-0,09	-0,12	-0,18	0,13	-0,23	-0,23	0,16	-0,39	-0,21	-0,06	0,27	-0,04
1922-1940	Lag 0	-0,22	0,64	-0,32	0,22	0,22	0,02	-0,25	-0,15	-0,01	-0,42	0,21	0,08
	Lag -1	-0,11	0,55	0,10	0,16	0,35	0,08	0,13	-0,18	-0,12	-0,19	0,03	-0,01
	Lag -2	0,58	0,27	0,03	0,22	0,05	0,26	0,19	0,15	-0,03	0,50	-0,03	-0,13
	Lag -3	-0,20	-0,24	-0,39	-0,15	0,32	0,52	0,23	-0,07	0,08	0,11	0,19	0,13
	Lag -4	-0,08	0,19	-0,41	0,02	0,20	0,40	-0,14	-0,15	-0,15	0,39	0,50	0,06
	Lag -5	0,32	-0,30	0,11	0,42	-0,29	0,01	-0,12	-0,15	-0,53	0,33	-0,10	-0,25
	Lag -6	0,51	0,23	-0,21	-0,05	-0,26	0,31	-0,13	-0,27	-0,08	0,15	0,10	0,10
1941-1959	Lag 0	-0,02	0,50	0,13	-0,07	-0,07	-0,14	0,15	-0,04	-0,22	0,45	-0,06	0,37
	Lag -1	0,69	0,02	0,04	0,40	0,55	-0,55	0,02	0,16	0,33	0,66	0,26	-0,56
	Lag -2	-0,21	0,63	-0,19	0,28	-0,13	0,20	-0,26	-0,12	0,16	0,10	-0,22	-0,48
	Lag -3	-0,12	0,07	0,67	0,23	0,07	-0,65	0,18	-0,50	-0,17	0,24	-0,19	-0,25
	Lag -4	-0,61	0,35	-0,31	0,47	0,35	-0,71	-0,54	0,75	-0,07	0,55	-0,19	-0,07
	Lag -5	-0,51	-0,08	-0,24	0,04	-0,06	-0,25	-0,50	-0,04	0,27	0,39	0,22	-0,26
	Lag -6	0,14	-0,40	-0,79	0,49	-0,63	0,06	0,26	-0,73	-0,14	0,34	0,78	0,19
1960-1978	Lag 0	0,10	0,39	0,23	-0,01	-0,28	0,02	-0,20	-0,06	0,47	0,24	-0,18	0,64
	Lag -1	-0,00	0,39	0,42	0,02	0,03	-0,25	0,03	-0,32	0,07	0,16	-0,35	0,23
	Lag -2	-0,08	-0,07	0,37	0,35	-0,26	0,26	-0,32	0,22	-0,12	0,00	0,17	-0,27
	Lag -3	-0,39	0,19	-0,27	0,32	0,21	-0,40	0,39	-0,23	-0,08	-0,04	0,17	0,29
	Lag -4	-0,33	0,23	-0,07	-0,14	0,37	0,10	-0,23	-0,14	-0,50	-0,13	-0,13	0,34
	Lag -5	0,11	0,06	0,25	0,34	-0,18	0,13	-0,08	-0,06	-0,19	0,21	-0,49	-0,36
	Lag -6	-0,20	-0,26	-0,02	0,14	-0,29	-0,35	0,27	-0,24	-0,20	-0,16	-0,16	-0,27
1979-1997	Lag 0	-0,46	0,28	-0,09	0,11	0,30	0,08	0,16	0,23	-0,06	0,25	-0,22	0,07
	Lag -1	-0,10	-0,13	-0,46	0,01	-0,24	0,06	-0,32	0,22	0,06	-0,32	0,03	-0,23
	Lag -2	-0,17	-0,25	-0,08	-0,05	-0,12	-0,36	-0,05	-0,26	0,20	0,33	0,06	-0,01
	Lag -3	-0,02	0,37	-0,26	0,22	-0,36	-0,22	-0,27	-0,49	-0,16	0,21	-0,00	-0,18
	Lag -4	-0,01	0,40	-0,13	0,62	0,20	-0,21	0,04	-0,07	-0,19	-0,01	-0,08	-0,09
	Lag -5	-0,11	0,07	0,14	-0,01	-0,32	-0,09	-0,17	0,23	-0,03	0,04	0,03	0,10
	Lag -6	-0,01	0,51	0,54	-0,04	-0,08	-0,26	0,02	-0,38	-0,21	-0,23	0,22	0,17

Tabla III.12. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías del Atlántico Norte Tropical (NATL), para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	0,02	0,04	0,03	0,11	0,26	0,47	0,60	0,34	0,08	-0,13	-0,07	0,15
	Lag -1	0,03	0,20	0,15	0,01	0,25	0,46	0,65	0,31	0,18	-0,13	0,00	0,12
	Lag -2	0,03	0,06	0,17	0,07	0,13	0,51	0,69	0,40	0,18	-0,02	-0,09	0,14
	Lag -3	0,04	-0,10	-0,00	-0,06	0,01	0,46	0,62	0,31	0,27	-0,05	-0,08	-0,03
	Lag -4	-0,09	-0,08	-0,03	0,09	-0,08	0,31	0,58	0,36	0,24	-0,07	-0,09	-0,03
	Lag -5	-0,23	-0,12	0,09	0,11	-0,12	0,14	0,31	0,34	0,39	-0,09	-0,05	-0,07
	Lag -6	-0,16	-0,06	-0,01	-0,06	-0,15	0,13	0,21	0,44	0,35	0,03	-0,05	-0,15
1922-1940	Lag 0												
	Lag -1												
	Lag -2												
	Lag -3												
	Lag -4												
	Lag -5												
	Lag -6												
1941-1959	Lag 0	0,39	-0,05	-0,27	0,05	0,00	0,55	0,72	0,79	-0,20	0,25	-0,59	0,19
	Lag -1	0,18	0,18	-0,07	0,03	-0,09	0,81	0,63	0,70	-0,10	-0,15	-0,53	0,29
	Lag -2	0,18	0,12	0,11	0,30	-0,32	0,72	0,63	0,83	-0,09	-0,02	-0,63	0,15
	Lag -3	0,09	-0,01	-0,10	0,15	-0,43	0,91	0,50	0,67	0,10	-0,28	-0,52	-0,31
	Lag -4	-0,17	-0,10	-0,23	0,42	-0,37	0,85	0,34	0,55	0,15	-0,25	-0,39	-0,54
	Lag -5	-0,36	-0,49	-0,27	0,26	-0,22	0,78	0,16	0,79	0,36	-0,32	-0,31	-0,50
	Lag -6	-0,30	-0,47	-0,52	0,15	-0,28	0,54	-0,02	0,33	0,42	-0,25	-0,49	-0,67
1960-1978	Lag 0	-0,09	0,12	0,29	0,19	0,45	0,51	0,68	0,17	0,40	-0,47	0,28	0,40
	Lag -1	-0,07	0,26	0,13	-0,05	0,25	0,52	0,76	0,21	0,45	-0,33	0,34	0,30
	Lag -2	0,01	0,08	0,12	0,04	0,40	0,59	0,83	0,23	0,34	-0,13	0,24	0,45
	Lag -3	0,14	-0,02	-0,14	0,04	0,09	0,65	0,72	0,14	0,45	-0,20	0,16	0,36
	Lag -4	-0,10	-0,02	-0,24	-0,00	0,13	0,57	0,74	0,31	0,35	-0,20	-0,02	0,52
	Lag -5	-0,25	0,02	-0,06	0,09	0,08	0,49	0,37	0,17	0,55	-0,23	-0,01	0,37
	Lag -6	-0,13	0,06	-0,07	-0,02	-0,03	0,35	0,34	0,37	0,50	-0,13	0,05	0,27
1979-1997	Lag 0	-0,21	-0,18	0,24	0,07	0,22	0,43	0,50	0,34	-0,06	-0,01	0,18	-0,10
	Lag -1	0,02	0,04	0,38	0,04	0,41	0,32	0,52	0,25	0,04	0,01	0,32	-0,03
	Lag -2	0,00	-0,07	0,25	-0,02	0,13	0,38	0,57	0,46	0,17	0,10	0,27	-0,08
	Lag -3	-0,11	-0,32	0,11	-0,19	0,11	0,12	0,56	0,42	0,14	0,21	0,27	-0,16
	Lag -4	-0,01	-0,10	0,22	-0,01	-0,13	-0,02	0,51	0,41	0,19	0,15	0,24	-0,27
	Lag -5	-0,07	0,10	0,47	0,06	-0,23	-0,26	0,34	0,34	0,25	0,17	0,19	-0,25
	Lag -6	-0,15	0,30	0,40	-0,22	-0,22	-0,17	0,16	0,69	0,20	0,38	0,29	-0,37

Tabla III.13. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías del Atlántico Sur Tropical (SATL), para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,29	-0,18	-0,34	-0,04	-0,27	-0,27	-0,14	-0,18	0,03	0,25	-0,15	0,01
	Lag -1	-0,29	-0,43	-0,32	-0,05	-0,27	-0,22	-0,18	-0,26	0,04	0,39	-0,16	-0,07
	Lag -2	-0,35	-0,24	-0,34	-0,07	-0,18	-0,28	-0,08	-0,25	0,11	0,44	-0,11	0,00
	Lag -3	-0,22	-0,27	-0,15	-0,17	-0,05	-0,29	-0,08	-0,19	0,19	0,43	-0,13	0,09
	Lag -4	-0,30	-0,28	-0,21	-0,09	-0,11	-0,27	-0,08	-0,17	0,12	0,41	0,02	0,15
	Lag -5	-0,28	-0,20	-0,09	-0,14	-0,06	-0,35	-0,14	-0,18	0,08	0,36	0,03	0,28
	Lag -6	-0,30	-0,15	-0,04	-0,18	0,03	-0,27	-0,11	-0,15	0,04	0,26	0,02	0,24
1922-1940	Lag 0												
	Lag -1												
	Lag -2												
	Lag -3												
	Lag -4												
	Lag -5												
	Lag -6												
1941-1959	Lag 0	-0,66	0,19	-0,59	-0,30	-0,18	-0,65	-0,71	-0,15	-0,06	0,03	-0,21	0,06
	Lag -1	-0,18	-0,66	-0,55	-0,30	-0,36	-0,31	-0,71	-0,44	-0,39	0,07	-0,34	-0,34
	Lag -2	-0,56	0,35	-0,74	-0,12	-0,50	-0,27	-0,41	-0,52	-0,20	0,16	-0,39	-0,09
	Lag -3	-0,09	-0,25	-0,37	-0,41	-0,14	0,05	-0,28	-0,48	-0,03	0,38	-0,41	0,22
	Lag -4	0,11	-0,10	-0,52	0,35	-0,24	-0,01	-0,06	-0,55	-0,65	0,48	-0,13	0,47
	Lag -5	0,53	-0,06	-0,08	-0,08	0,14	0,13	-0,21	-0,15	-0,49	0,19	-0,02	0,60
	Lag -6	0,24	0,20	-0,02	-0,22	0,51	-0,17	-0,09	-0,25	-0,31	0,32	-0,05	0,49
1960-1978	Lag 0	-0,21	-0,27	0,25	-0,03	-0,13	0,11	-0,23	-0,48	-0,26	0,47	-0,12	0,12
	Lag -1	-0,41	-0,43	-0,03	0,12	0,01	0,08	-0,28	-0,48	-0,18	0,76	-0,06	0,06
	Lag -2	-0,40	-0,36	-0,04	0,03	0,08	0,02	-0,15	-0,45	-0,09	0,72	-0,23	0,07
	Lag -3	-0,23	-0,26	-0,03	-0,28	0,09	-0,28	-0,04	-0,33	-0,04	0,61	-0,31	-0,09
	Lag -4	-0,56	-0,30	-0,00	-0,27	0,11	-0,23	-0,18	-0,12	0,00	0,65	-0,12	0,08
	Lag -5	-0,55	-0,15	-0,01	-0,14	0,04	-0,34	-0,19	-0,48	0,09	0,71	-0,15	0,36
	Lag -6	-0,55	-0,08	0,04	-0,08	0,09	-0,13	-0,05	-0,21	-0,12	0,57	-0,05	0,28
1979-1997	Lag 0	0,04	0,03	-0,41	0,08	-0,53	-0,58	0,16	-0,07	0,21	0,27	0,07	-0,01
	Lag -1	0,07	0,01	-0,23	-0,07	-0,54	-0,54	0,09	-0,20	0,29	0,33	0,13	0,05
	Lag -2	0,16	-0,01	-0,45	-0,12	-0,43	-0,58	0,08	-0,22	0,31	0,48	0,36	0,17
	Lag -3	0,05	0,06	-0,04	-0,04	-0,26	-0,47	-0,05	-0,22	0,39	0,44	0,47	0,38
	Lag -4	-0,03	-0,03	0,01	-0,09	-0,45	-0,46	0,03	-0,32	0,34	0,38	0,52	0,30
	Lag -5	-0,16	-0,07	0,09	-0,23	-0,27	-0,58	-0,05	-0,07	0,21	0,26	0,45	0,25
	Lag -6	-0,18	-0,10	0,10	-0,32	-0,24	-0,49	-0,27	-0,34	0,19	0,12	0,41	0,31

Tabla III.14. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías de la *Región Niño 3.4 (N34)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,02	-0,31	-0,22	-0,06	0,15	0,40	0,08	0,10	-0,39	-0,39	-0,25	-0,02
	Lag -1	-0,03	-0,30	-0,24	-0,08	0,15	0,38	0,17	0,13	-0,33	-0,40	-0,28	0,00
	Lag -2	-0,03	-0,34	-0,22	-0,09	0,16	0,33	0,26	0,16	-0,26	-0,40	-0,30	0,03
	Lag -3	-0,04	-0,35	-0,23	-0,08	0,16	0,27	0,33	0,17	-0,12	-0,39	-0,34	0,03
	Lag -4	-0,04	-0,37	-0,22	-0,11	0,16	0,23	0,37	0,14	0,06	-0,32	-0,37	0,02
	Lag -5	-0,08	-0,39	-0,23	-0,13	0,16	0,20	0,39	0,10	0,19	-0,21	-0,35	0,05
	Lag -6	-0,13	-0,42	-0,22	-0,15	0,15	0,16	0,40	0,09	0,24	-0,08	-0,28	0,06
1922-1940	Lag 0	-0,43	-0,40	-0,04	-0,20	-0,01	-0,26	0,09	-0,30	-0,41	-0,60	-0,44	-0,36
	Lag -1	-0,47	-0,40	-0,04	-0,24	0,01	-0,18	0,19	-0,06	-0,27	-0,61	-0,47	-0,36
	Lag -2	-0,52	-0,40	-0,08	-0,26	0,06	-0,13	0,26	0,10	-0,05	-0,63	-0,47	-0,32
	Lag -3	-0,53	-0,36	-0,10	-0,23	0,08	-0,10	0,35	0,26	0,14	-0,55	-0,46	-0,29
	Lag -4	-0,55	-0,32	-0,09	-0,25	0,04	-0,06	0,37	0,36	0,30	-0,37	-0,31	-0,24
	Lag -5	-0,53	-0,25	0,02	-0,22	0,04	-0,01	0,39	-0,30	0,36	-0,20	-0,13	-0,13
	Lag -6	-0,53	-0,10	0,14	-0,19	0,10	0,01	0,43	0,46	0,40	-0,10	0,00	0,05
1941-1959	Lag 0	-0,32	-0,71	-0,40	-0,69	-0,18	0,48	0,04	0,26	-0,30	-0,44	-0,74	0,01
	Lag -1	-0,33	-0,86	-0,43	-0,73	-0,12	0,56	0,04	0,29	-0,26	-0,45	-0,76	0,01
	Lag -2	-0,28	-0,86	-0,41	-0,72	-0,05	0,58	0,10	0,38	-0,26	-0,44	-0,76	0,02
	Lag -3	-0,27	-0,84	-0,41	-0,70	-0,00	0,53	0,15	0,48	-0,20	-0,39	-0,75	-0,01
	Lag -4	-0,26	-0,83	-0,37	-0,70	-0,02	0,51	0,21	0,55	-0,13	-0,30	-0,74	-0,07
	Lag -5	-0,33	-0,83	-0,36	-0,67	0,08	0,50	0,26	0,26	-0,11	-0,17	-0,66	-0,09
	Lag -6	-0,39	-0,86	-0,35	-0,64	0,14	0,44	0,39	0,56	-0,14	-0,03	-0,54	-0,19
1960-1978	Lag 0	-0,08	-0,11	-0,04	0,10	0,07	0,29	0,44	0,18	-0,36	-0,33	0,11	0,07
	Lag -1	-0,07	-0,16	-0,08	-0,01	0,09	0,17	0,56	0,19	-0,32	-0,33	0,10	0,10
	Lag -2	-0,06	-0,20	-0,13	-0,05	0,12	0,09	0,60	0,18	-0,25	-0,32	0,10	0,14
	Lag -3	-0,05	-0,22	-0,18	-0,10	0,14	0,02	0,56	0,13	-0,06	-0,31	0,10	0,19
	Lag -4	-0,04	-0,22	-0,20	-0,13	0,15	0,01	0,51	0,01	0,21	-0,30	0,12	0,25
	Lag -5	-0,02	-0,24	-0,20	-0,15	0,14	-0,01	0,48	0,18	0,35	-0,19	0,16	0,35
	Lag -6	-0,02	-0,26	-0,21	-0,16	0,13	-0,04	0,44	-0,09	0,36	-0,04	0,18	0,53
1979-1997	Lag 0	0,46	-0,07	-0,21	0,11	0,25	0,53	-0,25	-0,15	-0,54	-0,43	-0,18	-0,09
	Lag -1	0,45	-0,09	-0,19	0,13	0,23	0,53	-0,09	-0,09	-0,48	-0,45	-0,19	-0,06
	Lag -2	0,44	-0,13	-0,19	0,15	0,21	0,47	0,09	-0,03	-0,38	-0,47	-0,22	-0,03
	Lag -3	0,40	-0,16	-0,16	0,16	0,20	0,43	0,22	0,01	-0,21	-0,47	-0,29	-0,04
	Lag -4	0,36	-0,19	-0,13	0,14	0,20	0,38	0,32	0,03	-0,01	-0,38	-0,35	-0,05
	Lag -5	0,27	-0,19	-0,13	0,12	0,19	0,34	0,36	-0,15	0,15	-0,25	-0,36	-0,05
	Lag -6	0,15	-0,20	-0,11	0,07	0,16	0,31	0,37	0,06	0,25	-0,13	-0,29	-0,06

Tabla III.15. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías de la *Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,09	-0,47	-0,16	-0,31	0,02	0,12	0,22	0,26	-0,13	-0,19	-0,11	-0,22
	Lag -1	-0,15	-0,33	-0,22	-0,39	0,09	0,19	0,20	0,35	-0,01	-0,33	-0,31	-0,08
	Lag -2	-0,15	-0,40	-0,09	-0,39	0,12	0,11	0,24	0,32	0,07	-0,28	-0,20	-0,09
	Lag -3	-0,23	-0,34	-0,25	-0,52	-0,05	0,14	0,18	0,33	0,11	-0,30	-0,22	-0,11
	Lag -4	-0,15	-0,39	-0,13	-0,43	-0,07	0,02	0,16	0,16	0,13	-0,15	-0,14	-0,22
	Lag -5	-0,33	-0,36	-0,29	-0,36	0,08	0,02	0,08	0,26	0,21	-0,17	-0,22	-0,09
	Lag -6	-0,30	-0,42	-0,10	-0,34	0,05	0,07	0,00	0,15	0,13	-0,03	-0,25	-0,09
1922-1940	Lag 0	0,05	-0,48	0,31	-0,07	-0,45	-0,27	0,09	0,19	-0,22	-0,40	0,10	-0,36
	Lag -1	-0,21	-0,39	0,15	-0,21	0,01	-0,19	0,05	0,17	-0,19	-0,54	-0,15	-0,53
	Lag -2	-0,31	0,24	0,11	-0,07	0,07	-0,05	-0,20	0,14	-0,18	-0,62	0,14	-0,30
	Lag -3	-0,37	0,25	0,02	-0,01	-0,07	-0,14	-0,03	0,10	-0,06	-0,42	-0,08	-0,50
	Lag -4	-0,17	-0,19	0,36	-0,31	0,24	-0,23	0,44	0,40	0,10	-0,56	0,09	-0,45
	Lag -5	-0,27	0,08	0,40	-0,28	0,21	0,34	0,20	0,19	-0,02	-0,59	-0,03	-0,20
	Lag -6	-0,17	0,11	0,41	0,16	0,44	0,11	0,35	-0,11	0,26	-0,01	-0,10	-0,38
1941-1959	Lag 0	-0,35	-0,53	-0,14	-0,82	-0,31	0,54	0,04	0,56	0,08	-0,45	-0,14	-0,23
	Lag -1	-0,68	-0,64	-0,22	-0,76	-0,14	0,73	0,19	0,23	0,09	-0,54	-0,47	0,20
	Lag -2	-0,31	-0,82	0,00	-0,54	-0,02	0,15	0,41	0,50	-0,06	-0,43	-0,09	-0,08
	Lag -3	-0,41	-0,67	-0,45	-0,69	-0,34	0,45	0,35	0,43	-0,13	-0,37	-0,39	-0,19
	Lag -4	-0,27	-0,82	-0,22	-0,68	-0,21	0,37	0,25	0,18	-0,37	-0,18	-0,10	-0,47
	Lag -5	-0,69	-0,70	-0,57	-0,59	0,13	0,31	0,32	0,56	-0,41	-0,29	-0,41	-0,14
	Lag -6	-0,49	-0,92	-0,10	-0,62	-0,05	0,01	0,21	0,28	-0,36	-0,04	-0,60	-0,38
1960-1978	Lag 0	0,01	-0,47	-0,42	-0,36	-0,07	0,03	0,53	0,18	-0,45	0,04	0,28	-0,38
	Lag -1	0,20	-0,26	-0,46	-0,30	0,06	0,05	0,29	0,39	0,03	-0,35	-0,04	-0,24
	Lag -2	-0,07	-0,16	-0,30	-0,29	0,10	0,07	0,33	0,06	0,60	-0,17	0,07	-0,05
	Lag -3	-0,13	0,09	-0,15	-0,40	-0,13	0,04	0,25	0,27	0,42	-0,22	0,32	-0,09
	Lag -4	-0,11	0,03	-0,07	-0,20	-0,14	-0,17	0,33	0,09	0,54	-0,27	0,05	0,17
	Lag -5	-0,18	-0,11	0,01	-0,10	0,07	-0,15	0,10	0,18	0,60	-0,35	0,01	0,32
	Lag -6	-0,24	-0,22	-0,10	0,02	-0,11	0,03	-0,05	0,10	0,36	-0,09	-0,13	0,24
1979-1997	Lag 0	0,31	0,01	0,21	-0,27	0,02	0,17	0,11	0,05	-0,17	-0,29	-0,18	0,08
	Lag -1	0,31	0,16	0,06	-0,41	0,03	0,30	0,25	0,39	-0,31	-0,31	-0,21	0,03
	Lag -2	0,44	0,03	-0,05	-0,53	0,10	0,23	0,23	0,53	-0,37	-0,43	-0,34	0,04
	Lag -3	0,12	-0,19	0,01	-0,68	-0,02	0,21	0,16	0,27	-0,14	-0,42	-0,15	0,07
	Lag -4	0,20	-0,21	0,17	-0,62	-0,09	0,10	-0,05	0,02	-0,14	-0,10	-0,11	-0,28
	Lag -5	0,11	-0,10	-0,09	-0,62	-0,00	0,11	-0,03	0,05	-0,04	0,05	0,02	-0,29
	Lag -6	-0,01	0,26	-0,05	-0,64	0,15	0,17	-0,07	-0,05	0,02	0,09	0,29	0,00

Tabla III.16. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías del Norte del Atlántico Norte (NAN), para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,08	-0,18	-0,02	-0,05	-0,14	0,08	0,04	-0,14	-0,23	0,04	0,03	-0,13
	Lag -1	0,14	-0,09	-0,10	-0,11	-0,17	-0,24	-0,16	0,33	-0,26	-0,08	0,01	0,06
	Lag -2	0,09	-0,22	-0,06	-0,13	-0,25	-0,37	-0,37	-0,01	0,04	0,07	-0,01	-0,13
	Lag -3	0,14	-0,03	-0,12	-0,10	-0,18	-0,33	-0,40	-0,16	0,01	0,05	0,04	0,02
	Lag -4	0,13	0,14	-0,01	0,11	0,09	-0,37	-0,38	-0,20	-0,24	0,04	0,01	0,07
	Lag -5	0,09	0,06	0,18	0,00	0,05	-0,38	-0,33	-0,14	-0,14	-0,07	0,00	0,14
	Lag -6	0,01	-0,07	0,18	0,12	-0,10	0,11	-0,19	-0,06	-0,29	-0,04	-0,18	-0,05
1922-1940	Lag 0	0,09	0,35	0,18	0,25	-0,22	-0,11	-0,05	0,24	0,03	0,23	0,09	0,15
	Lag -1	0,14	0,02	-0,17	0,06	0,16	-0,12	-0,18	-0,13	0,03	0,04	0,29	0,25
	Lag -2	0,12	-0,11	-0,15	0,29	-0,19	0,30	-0,01	-0,14	-0,09	-0,13	0,07	0,12
	Lag -3	0,47	-0,22	0,24	0,37	-0,01	-0,05	0,11	-0,28	-0,27	-0,19	0,20	0,24
	Lag -4	0,32	-0,01	-0,17	0,23	0,29	0,26	0,04	-0,09	-0,06	-0,37	0,33	-0,06
	Lag -5	-0,01	0,07	0,20	0,23	0,39	0,44	-0,02	0,24	-0,17	-0,40	0,11	-0,10
	Lag -6	-0,02	0,42	0,24	-0,05	-0,19	0,18	-0,05	-0,06	0,10	0,19	-0,13	-0,31
1941-1959	Lag 0	-0,36	-0,59	0,04	-0,02	-0,01	0,26	-0,26	-0,19	-0,85	0,12	-0,38	-0,06
	Lag -1	-0,17	-0,67	-0,44	-0,55	-0,47	-0,16	-0,41	0,13	-0,53	0,41	0,04	-0,28
	Lag -2	-0,29	-0,45	-0,19	-0,45	-0,21	0,12	-0,35	-0,15	0,17	0,47	-0,17	-0,19
	Lag -3	0,05	-0,36	-0,05	-0,68	0,03	-0,16	-0,45	-0,25	0,27	-0,23	-0,17	0,44
	Lag -4	0,28	0,26	-0,08	-0,09	0,49	-0,37	-0,03	-0,30	-0,50	-0,24	0,07	0,39
	Lag -5	-0,06	0,35	0,06	-0,01	0,05	-0,48	-0,48	-0,19	-0,01	-0,07	0,39	-0,07
	Lag -6	-0,08	0,09	0,30	0,59	0,06	0,25	0,22	-0,14	-0,86	-0,04	-0,17	0,05
1960-1978	Lag 0	-0,09	-0,29	-0,28	-0,19	-0,13	0,03	0,06	-0,10	0,01	0,19	0,05	-0,27
	Lag -1	0,30	0,08	-0,19	0,05	-0,14	-0,36	-0,14	0,37	-0,36	0,22	0,05	0,32
	Lag -2	0,35	-0,39	-0,02	-0,16	-0,43	-0,79	-0,37	-0,01	0,10	0,31	0,36	-0,10
	Lag -3	0,30	0,02	-0,26	0,06	-0,38	-0,76	-0,57	-0,05	-0,19	0,24	0,30	-0,15
	Lag -4	0,16	-0,07	-0,22	-0,01	0,07	-0,53	-0,79	-0,31	-0,39	0,22	-0,25	0,11
	Lag -5	0,08	-0,05	0,19	0,21	0,25	-0,58	-0,55	-0,10	-0,16	0,11	-0,13	0,37
	Lag -6	-0,07	-0,31	0,03	0,07	0,13	0,09	-0,28	-0,21	-0,27	0,27	-0,11	-0,02
1979-1997	Lag 0	0,09	0,08	0,06	0,04	-0,24	0,07	0,19	-0,20	-0,18	-0,18	0,37	-0,09
	Lag -1	0,13	-0,08	0,05	0,02	-0,10	-0,24	-0,04	0,45	-0,06	-0,60	-0,11	-0,09
	Lag -2	-0,10	0,07	-0,13	-0,05	-0,17	-0,12	-0,49	-0,01	-0,07	-0,38	-0,07	-0,16
	Lag -3	-0,11	0,03	-0,29	0,08	-0,11	-0,05	-0,17	-0,24	0,03	0,04	0,01	-0,05
	Lag -4	-0,04	0,27	0,12	0,31	-0,00	-0,25	-0,13	-0,07	0,03	0,07	0,15	-0,13
	Lag -5	0,24	-0,10	0,31	-0,15	-0,05	-0,20	-0,11	-0,20	-0,26	-0,23	-0,32	0,01
	Lag -6	0,27	0,27	0,08	-0,11	-0,30	0,09	-0,28	0,12	-0,08	-0,40	-0,30	-0,11

Tabla III.17. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías en la Temperatura entre 20°N-20°S (TROPICO 20-20), para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,20	-0,34	-0,29	-0,06	0,01	0,14	0,21	0,11	-0,14	-0,20	-0,26	-0,03
	Lag -1	-0,21	-0,47	-0,29	-0,08	0,04	0,12	0,22	0,18	-0,11	-0,18	-0,28	-0,01
	Lag -2	-0,23	-0,48	-0,25	-0,12	0,03	0,09	0,30	0,18	0,02	-0,18	-0,26	0,04
	Lag -3	-0,26	-0,47	-0,26	-0,20	0,03	0,10	0,39	0,22	0,19	-0,14	-0,29	0,01
	Lag -4	-0,31	-0,46	-0,27	-0,19	0,01	0,04	0,37	0,24	0,27	-0,03	-0,24	0,08
	Lag -5	-0,31	-0,46	-0,25	-0,19	-0,01	-0,04	0,34	0,11	0,39	0,03	-0,21	0,07
	Lag -6	-0,24	-0,45	-0,26	-0,27	-0,02	-0,07	0,24	0,18	0,39	0,06	-0,16	0,09
1922-1940	Lag 0	-0,41	-0,09	0,16	-0,21	0,13	0,08	0,11	0,16	0,12	-0,39	-0,22	-0,10
	Lag -1	-0,39	-0,10	0,12	-0,20	0,18	0,12	0,31	0,30	0,29	-0,33	-0,24	0,12
	Lag -2	-0,46	-0,18	0,19	-0,27	0,26	0,23	0,32	0,46	0,36	-0,25	-0,04	0,15
	Lag -3	-0,21	0,04	0,09	-0,20	0,10	0,26	0,43	0,55	0,56	-0,26	-0,05	0,13
	Lag -4	-0,13	-0,01	0,34	-0,19	0,20	0,21	0,45	0,53	0,52	-0,16	-0,12	0,11
	Lag -5	-0,07	0,18	0,47	-0,03	0,14	0,20	0,37	0,16	0,54	0,05	0,09	0,14
	Lag -6	-0,00	0,16	0,53	0,07	0,35	0,22	0,41	0,53	0,48	0,04	0,18	0,24
1941-1959	Lag 0	-0,45	-0,57	-0,55	-0,62	-0,21	0,39	0,05	0,17	-0,41	-0,19	-0,84	-0,08
	Lag -1	-0,47	-0,83	-0,51	-0,58	-0,17	0,53	0,00	0,22	-0,54	-0,23	-0,81	-0,03
	Lag -2	-0,42	-0,86	-0,50	-0,68	-0,09	0,59	0,09	0,25	-0,53	-0,12	-0,76	-0,09
	Lag -3	-0,41	-0,77	-0,55	-0,66	-0,08	0,58	0,19	0,35	-0,37	-0,15	-0,81	-0,04
	Lag -4	-0,36	-0,77	-0,50	-0,59	-0,28	0,54	0,16	0,47	-0,21	-0,08	-0,68	0,09
	Lag -5	-0,32	-0,75	-0,47	-0,50	-0,08	0,59	0,33	0,17	-0,06	-0,04	-0,63	0,10
	Lag -6	-0,32	-0,71	-0,50	-0,47	0,06	0,46	0,24	0,52	0,04	0,02	-0,49	-0,03
1960-1978	Lag 0	-0,12	-0,07	0,11	0,02	0,16	0,13	0,49	-0,09	-0,18	-0,06	0,22	0,20
	Lag -1	-0,17	-0,28	-0,07	0,01	0,21	0,09	0,44	0,10	-0,10	0,08	0,16	0,22
	Lag -2	-0,17	-0,27	-0,11	-0,08	0,20	0,15	0,46	0,08	0,17	0,05	0,12	0,36
	Lag -3	-0,20	-0,28	-0,16	-0,24	0,16	0,11	0,55	0,14	0,41	0,09	0,15	0,29
	Lag -4	-0,33	-0,25	-0,13	-0,27	0,13	0,05	0,48	0,13	0,45	0,13	0,25	0,42
	Lag -5	-0,34	-0,27	-0,15	-0,31	0,15	-0,10	0,38	-0,09	0,54	0,14	0,26	0,46
	Lag -6	-0,14	-0,24	-0,09	-0,33	0,09	0,05	0,29	0,02	0,48	0,09	0,25	0,47
1979-1997	Lag 0	0,22	-0,23	-0,36	0,11	-0,20	0,15	0,08	0,05	-0,25	-0,45	0,04	-0,09
	Lag -1	0,27	-0,11	-0,36	0,09	-0,22	0,08	0,17	0,07	-0,17	-0,46	0,07	-0,06
	Lag -2	0,22	-0,21	-0,13	0,14	-0,21	-0,11	0,35	0,08	-0,03	-0,45	0,13	0,02
	Lag -3	0,14	-0,18	-0,04	0,03	-0,21	-0,05	0,39	0,07	0,19	-0,35	0,07	-0,00
	Lag -4	0,01	-0,13	-0,06	-0,00	-0,16	-0,17	0,40	0,15	0,31	-0,14	0,02	0,03
	Lag -5	-0,03	-0,12	-0,01	-0,01	-0,31	-0,22	0,38	0,05	0,46	0,01	0,10	-0,07
	Lag -6	-0,05	-0,22	-0,03	-0,31	-0,33	-0,43	0,21	0,10	0,45	0,12	0,15	0,05

Tabla III.18. Correlación *Pearson* entre la media mensual de las precipitaciones y las anomalías en la *Temperatura Global (GLOBAL)*, para diferentes series anuales y 7 lags. Los números resaltados en gris presentan una correlación significativa para $P < 0,05$.

		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
1922-1997	Lag 0	-0,14	-0,50	-0,33	-0,02	-0,01	-0,12	0,06	0,09	-0,09	-0,16	-0,20	-0,18
	Lag -1	-0,28	-0,43	-0,28	-0,07	-0,09	-0,04	0,04	0,14	-0,00	-0,10	-0,18	-0,09
	Lag -2	-0,08	-0,38	-0,18	-0,15	-0,02	-0,06	0,03	0,09	0,02	-0,10	-0,20	0,02
	Lag -3	-0,15	-0,38	-0,28	-0,12	0,05	0,08	0,08	0,10	0,10	-0,05	-0,23	-0,03
	Lag -4	-0,16	-0,41	-0,17	0,10	0,00	-0,01	0,10	0,04	0,17	-0,02	-0,19	-0,00
	Lag -5	-0,23	-0,41	-0,17	0,01	0,04	-0,01	0,10	0,09	0,13	-0,03	-0,24	0,09
	Lag -6	-0,20	-0,41	-0,21	-0,08	-0,01	-0,09	0,03	0,19	0,17	-0,04	-0,20	0,03
1922-1940	Lag 0	0,03	0,25	0,25	0,09	0,09	0,07	-0,00	0,07	0,10	-0,22	-0,22	-0,06
	Lag -1	-0,12	-0,25	-0,01	-0,39	-0,05	0,02	-0,03	0,08	0,08	-0,18	-0,25	0,35
	Lag -2	-0,07	-0,21	0,10	-0,19	-0,11	0,04	0,01	0,01	0,02	-0,20	-0,03	0,25
	Lag -3	-0,08	0,17	0,08	-0,28	0,01	-0,10	0,05	-0,10	0,09	-0,22	0,01	0,19
	Lag -4	0,03	0,16	0,24	-0,44	0,19	0,30	-0,02	-0,07	0,31	-0,09	0,02	0,08
	Lag -5	0,14	0,23	0,29	0,13	0,14	0,11	0,20	0,07	0,33	-0,05	0,08	-0,04
	Lag -6	0,22	0,24	0,34	0,06	0,19	-0,06	-0,00	0,29	0,32	-0,05	-0,11	0,08
1941-1959	Lag 0	-0,20	-0,66	-0,66	-0,50	-0,11	0,32	0,00	0,24	-0,62	0,06	-0,67	-0,25
	Lag -1	-0,51	-0,80	-0,56	-0,70	-0,45	0,52	0,24	0,22	-0,53	0,08	-0,64	-0,19
	Lag -2	-0,29	-0,73	-0,28	-0,51	-0,17	0,69	0,04	0,28	-0,62	-0,03	-0,74	0,20
	Lag -3	-0,18	-0,63	-0,62	-0,58	-0,15	0,44	0,07	0,43	-0,62	0,05	-0,87	0,04
	Lag -4	-0,29	-0,49	-0,43	-0,37	0,11	0,32	0,17	0,25	-0,33	-0,06	-0,64	0,04
	Lag -5	-0,30	-0,54	-0,22	-0,25	-0,13	0,48	0,22	0,24	-0,20	-0,00	-0,74	0,21
	Lag -6	-0,21	-0,64	-0,46	-0,24	0,31	0,15	0,27	0,34	-0,15	-0,17	-0,66	0,13
1960-1978	Lag 0	-0,03	-0,46	-0,42	0,14	0,02	-0,19	0,15	-0,24	-0,10	-0,05	-0,07	0,11
	Lag -1	-0,07	-0,33	-0,46	-0,12	-0,07	-0,10	0,10	-0,18	0,13	0,19	0,12	0,15
	Lag -2	0,09	-0,14	-0,35	-0,44	-0,01	-0,14	0,13	-0,30	0,10	0,23	0,15	0,37
	Lag -3	-0,10	-0,30	-0,17	-0,13	0,03	0,09	0,11	-0,22	0,29	0,19	0,16	0,26
	Lag -4	0,06	-0,49	-0,13	-0,00	0,03	-0,08	0,17	-0,49	0,32	0,27	0,13	0,33
	Lag -5	-0,22	-0,49	-0,36	-0,19	0,32	-0,05	0,08	-0,24	0,24	0,12	0,30	0,46
	Lag -6	-0,16	-0,36	-0,32	-0,22	0,32	0,25	-0,06	-0,05	0,30	0,24	0,42	0,27
1979-1997	Lag 0	0,10	-0,21	0,04	0,08	-0,23	-0,37	-0,03	0,06	-0,12	-0,43	0,16	-0,30
	Lag -1	-0,08	0,21	0,14	0,27	-0,26	-0,24	-0,20	0,23	-0,08	-0,43	0,23	-0,16
	Lag -2	0,11	0,05	-0,04	0,16	-0,20	-0,28	-0,13	0,16	0,02	-0,37	0,19	-0,12
	Lag -3	0,07	-0,07	0,09	-0,01	-0,03	-0,01	0,08	0,02	0,14	-0,30	0,18	-0,09
	Lag -4	-0,09	0,05	-0,16	0,42	-0,26	-0,10	0,01	0,28	0,24	-0,29	0,15	-0,02
	Lag -5	-0,03	0,01	-0,13	0,20	-0,20	-0,14	0,09	0,06	0,04	-0,14	0,10	0,00
	Lag -6	-0,03	-0,09	-0,04	-0,02	-0,54	-0,51	-0,07	0,22	0,09	-0,24	0,08	0,10

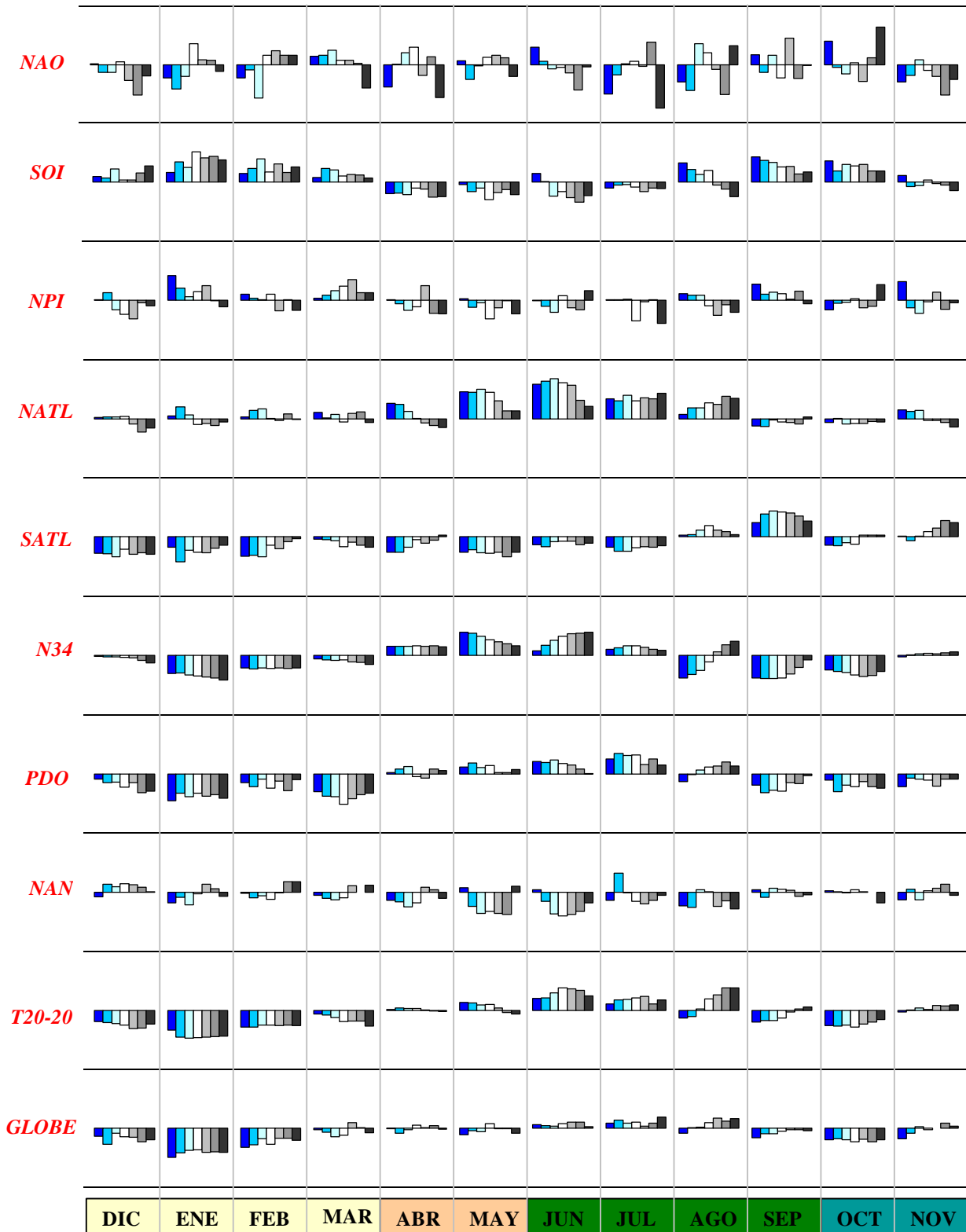


Figura III.47. Coeficientes de correlación (Pearson) por mes entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas para 7 lags y para la serie anual de 76 años: 1922-1997. En cada caso, la escala para las correlaciones es de +1 a -1 y los lags se ordenan cronológicamente de izquierda a derecha: columna azul oscuro= lag 0, columna negra= lag -6.



Figura III.48. Coeficientes de correlación (Pearson) por mes entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas para 7 lags y para la serie anual de 19 años: 1922-1940. En cada caso, la escala para las correlaciones es de +1 a -1 y los lags se ordenan cronológicamente de izquierda a derecha: columna azul oscuro= lag 0, columna negra= lag -6.

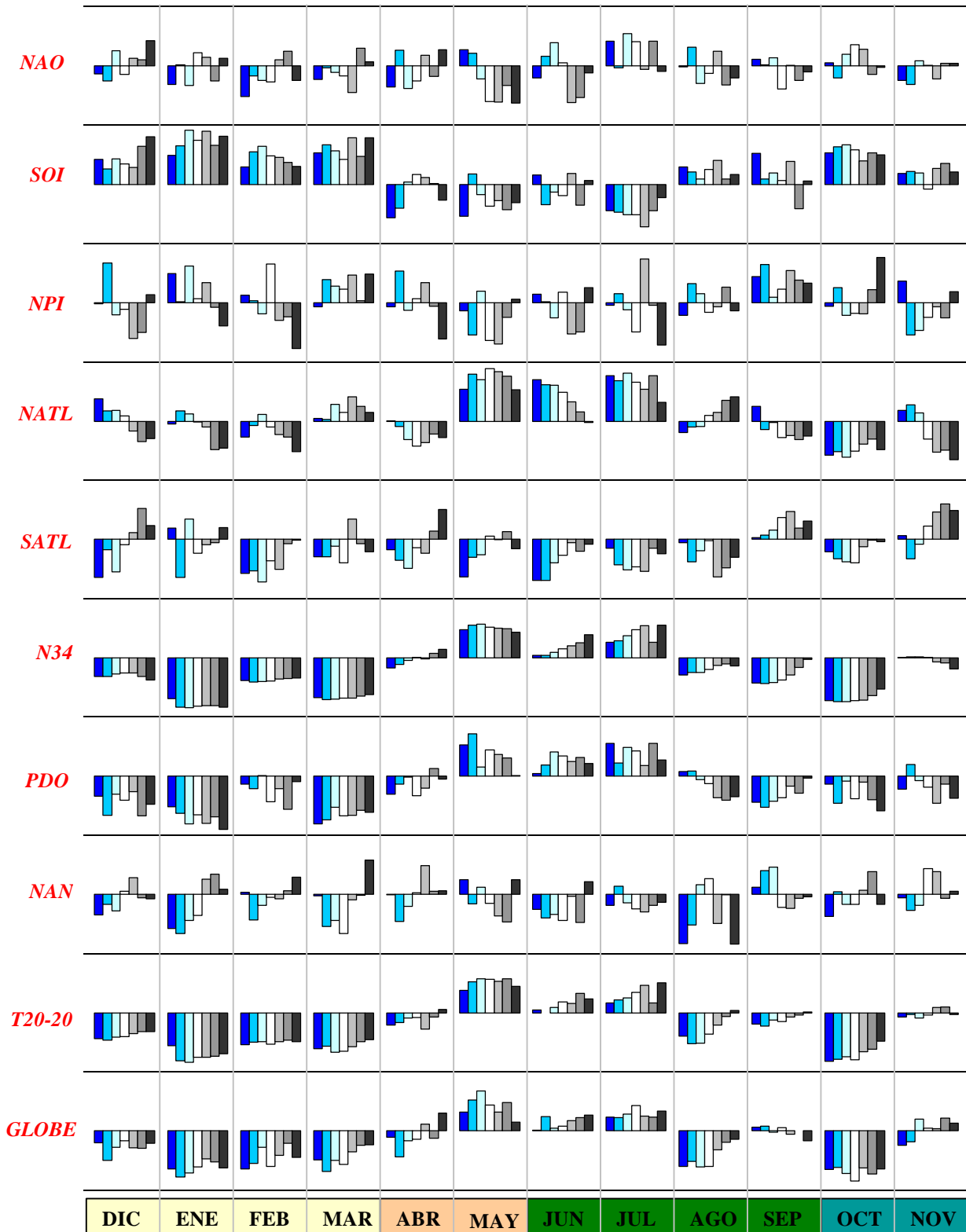


Figura III.49. Coeficientes de correlación (Pearson) por mes entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas para 7 lags y para la serie anual de 19 años: 1941-1959. En cada caso, la escala para las correlaciones es de +1 a -1 y los lags se ordenan cronológicamente de izquierda a derecha: columna azul oscuro= lag 0, columna negra= lag -6.

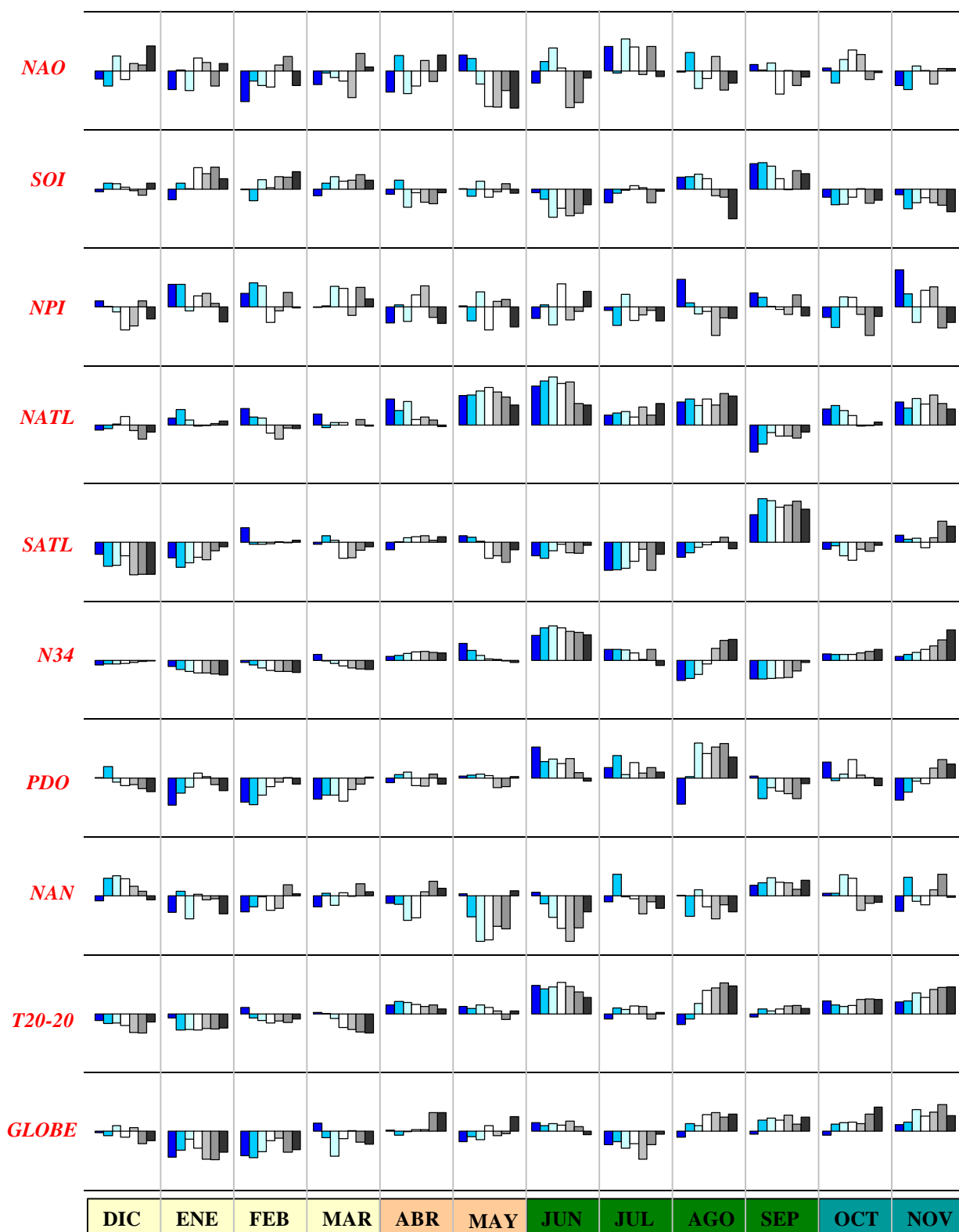


Figura III.50. Coeficientes de correlación (Pearson) por mes entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas para 7 lags y para la serie anual de 19 años: 1960-1978. En cada caso, la escala para las correlaciones es de +1 a -1 y los lags se ordenan cronológicamente de izquierda a derecha: columna azul oscuro= lag 0, columna negra= lag -6.

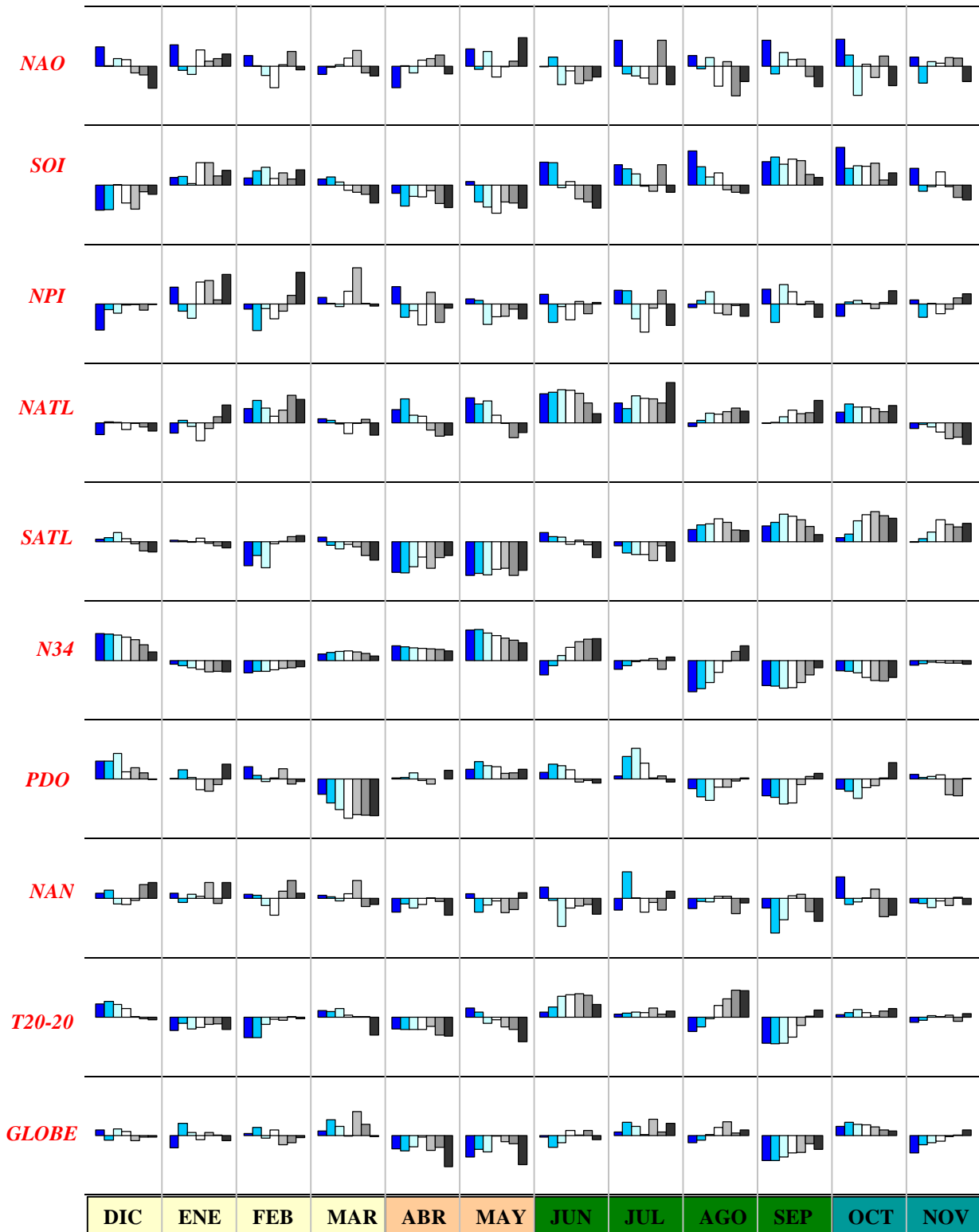


Figura III.51. Coeficientes de correlación (Pearson) por mes entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas para 7 lags y para la serie anual de 19 años: 1979-1997. En cada caso, la escala para las correlaciones es de +1 a -1 y los lags se ordenan cronológicamente de izquierda a derecha: columna azul oscuro= lag 0, columna negra= lag -6.

Tabla III.19. Correlaciones *Pearson* entre la media estacional y anual de las precipitaciones y las anomalías de las variables macroclimáticas. Los números resaltados en gris presentan correlación significativa para $P < 0,05$. El significado de las abreviaciones de las variables macroclimáticas se presenta en la **Tabla III.1.**

		NAO	SOI	NPI	NATL	SATL	N34	PDO	NAN	T20-20	GLOBAL
SECA	1922-1940	-0,07	0,17	0,16			-0,29	-0,11	0,06	-0,02	0,04
	1941-1959	0,21	0,38	0,17	-0,18	-0,23	-0,52	-0,41	-0,05	-0,54	-0,58
	1960-1978	-0,00	0,16	0,07	0,10	-0,17	-0,24	-0,25	-0,08	-0,19	-0,31
	1979-1997	0,04	0,15	0,12	0,04	-0,03	-0,10	0,01	0,01	-0,13	0,04
	1922-1997	0,01	0,19	0,13	0,07	-0,13	-0,23	-0,23	-0,06	-0,22	-0,25
T1	1922-1940	-0,19	0,12	0,10			-0,16	-0,31	-0,12	0,09	0,07
	1941-1959	0,12	-0,55	-0,09	0,26	-0,44	0,16	0,15	0,11	0,08	0,09
	1960-1978	0,04	-0,16	-0,08	0,41	-0,07	0,17	0,03	0,04	0,10	-0,05
	1979-1997	0,01	-0,05	0,18	0,34	-0,55	0,40	0,09	-0,06	-0,00	-0,29
	1922-1997	0,02	-0,12	0,01	0,38	-0,27	0,29	0,08	-0,01	0,08	-0,07
HUMEDA	1922-1940	-0,00	0,22	-0,11			-0,31	-0,14	0,14	-0,02	0,01
	1941-1959	-0,29	0,12	-0,03	0,49	-0,33	-0,08	0,12	-0,36	-0,04	-0,06
	1960-1978	-0,03	0,05	0,02	0,37	-0,22	-0,03	0,10	-0,09	0,03	-0,05
	1979-1997	0,19	0,41	0,19	0,26	0,12	-0,31	-0,01	-0,07	-0,08	-0,08
	1922-1997	0,06	0,15	0,09	0,34	-0,06	-0,11	0,10	-0,08	0,04	-0,00
T2	1922-1940	0,21	0,28	0,11			-0,38	-0,03	0,17	-0,14	-0,18
	1941-1959	-0,09	0,44	0,14	-0,30	-0,15	-0,47	-0,17	-0,23	-0,56	-0,33
	1960-1978	-0,12	0,05	0,17	0,04	0,02	-0,09	-0,05	-0,17	-0,06	-0,09
	1979-1997	0,30	0,49	-0,04	0,06	0,03	-0,14	-0,05	0,14	-0,02	-0,05
	1922-1997	0,07	0,25	0,10	0,02	-0,08	-0,15	-0,14	-0,04	-0,16	-0,18
ANUAL	1922-1940	0,00	0,19	-0,15			-0,22	-0,12	0,05	0,02	-0,01
	1941-1959	-0,07	0,12	0,08	0,13	-0,27	-0,23	-0,04	-0,13	-0,24	-0,20
	1960-1978	-0,02	0,02	0,08	0,25	-0,13	-0,04	0,01	-0,06	-0,01	-0,08
	1979-1997	0,10	0,21	0,19	0,22	-0,13	-0,06	0,07	0,01	-0,05	-0,10
	1922-1997	0,03	0,10	0,12	0,24	-0,12	-0,05	0,02	-0,03	-0,02	-0,07

III.3.4.2. Relación con las precipitaciones diarias de San Fernando de Apure

La Tabla III.20 muestra los resultados de las correlaciones que resultan entre las variaciones estacionales y por serie de las variables de precipitación diaria de San Fernando de Apure, como son: el número de días con precipitación (*DDpp*), días secos no vinculados a veranitos (*DSnv*), días secos vinculados a veranitos (*DSver*) y días con precipitaciones mayores a 10mm/día (>10); y las variables macroclimáticas (*VM*): **NAO**, **SOI**, **NPI**, **NATL**, **SATL**, **N34**, **PDO**, **NAN**, **T20-20** y **GLOBAL**. Se puede observar que, en esta escala de análisis, son de nuevo las *VM* oceánicas **NATL** y **N34** las que mejor la variabilidad estacional y por serie.

Tabla III.20. Correlaciones *Pearson* entre la media estacional y por series de las precipitaciones y las anomalías de las *variables macroclimáticas*. Los números resaltados en gris presentan correlación significativa para $P < 0,05$. Las abreviaciones corresponden a: *ppVT* = precipitaciones en la ventana de trabajo, *ppSF* = precipitaciones en San Fernando, *DDpp* = días con precipitación, *DSnv* = días secos no vinculados a veranitos, *DDver* = días secos en veranito y >10 = días con precipitaciones mayores a 10mm. El resto de las abreviaciones corresponden a las *variables macroclimáticas* y se describen en la Tabla III.1.

		1961-1978					1979-1997					1961-1997				
		<i>ppVT</i>	<i>DD pp</i>	<i>DS nv</i>	<i>DS ver</i>	>10	<i>ppVT</i>	<i>DD pp</i>	<i>DS nv</i>	<i>DS ver</i>	>10	<i>ppVT</i>	<i>DD pp</i>	<i>DS nv</i>	<i>DS ver</i>	>10
T1	<i>ppSF</i>	0,81					0,76					0,78				
	<i>DD pp</i>	0,86	1,00				0,85	1,00				0,86	1,00			
	<i>DS nv</i>	0,53	0,66	1,00			0,77	0,82	1,00			0,65	0,74	1,00		
	<i>DS ver</i>	-0,73	-0,87	-0,94	1,00		-0,84	-0,95	-0,96	1,00		-0,79	-0,91	-0,95	1,00	
	>10	0,82	0,97	0,71	-0,89	1,00	0,83	0,96	0,82	-0,92	1,00	0,83	0,96	0,76	-0,91	1,00
	NAO	0,14	-0,04	-0,34	0,24	-0,11	0,03	0,02	-0,07	0,03	-0,01	0,07	-0,03	-0,24	0,16	-0,07
	SOI	-0,08	0,06	0,01	-0,03	0,06	-0,11	-0,03	-0,10	0,07	-0,02	-0,11	-0,04	-0,06	0,06	-0,02
	NPI	-0,21	-0,29	-0,26	0,30	-0,33	0,12	0,14	-0,07	-0,03	0,06	-0,06	-0,11	-0,18	0,16	-0,15
	NATL	0,57	0,27	0,10	-0,18	0,23	0,37	0,45	0,41	-0,45	0,55	0,46	0,37	0,25	-0,33	0,41
	SATL	0,02	-0,13	-0,18	0,17	-0,19	-0,62	-0,49	-0,49	0,52	-0,51	-0,35	-0,32	-0,32	0,34	-0,36
	N34	0,21	-0,01	-0,08	0,06	-0,06	0,46	0,45	0,36	-0,42	0,50	0,37	0,31	0,18	-0,25	0,32
	PDO	0,02	-0,02	-0,15	0,10	-0,09	0,14	0,07	-0,05	-0,00	0,14	0,11	0,11	-0,02	-0,04	0,10
	NAN	-0,26	-0,16	-0,11	0,14	-0,15	-0,10	-0,04	-0,17	0,11	0,02	-0,15	-0,07	-0,13	0,11	-0,03
T20-20	0,15	-0,10	-0,07	0,09	-0,10	-0,02	0,06	-0,05	-0,00	0,15	0,09	0,06	-0,01	-0,02	0,08	
Globe	-0,12	-0,24	-0,10	0,17	-0,20	-0,37	-0,21	-0,29	0,26	-0,13	-0,12	-0,06	-0,08	0,08	-0,04	
HUMEDA	<i>ppSF</i>	0,42					0,51					0,45				
	<i>DD pp</i>	0,55	1,00				0,69	1,00				0,60	1,00			
	<i>DS nv</i>	0,37	0,02	1,00			-0,28	-0,49	1,00			0,13	-0,21	1,00		
	<i>DS ver</i>	-0,63	-0,65	-0,77	1,00		-0,56	-0,75	-0,21	1,00		-0,59	-0,66	-0,59	1,00	
	>10	0,46	0,78	0,35	-0,75	1,00	0,76	0,92	-0,48	-0,66	1,00	0,58	0,84	0,01	-0,71	1,00
	NAO	0,05	0,02	-0,09	0,05	0,02	0,34	-0,10	0,02	0,10	-0,17	0,19	-0,04	-0,05	0,07	-0,07
	SOI	-0,08	0,03	0,15	-0,13	0,01	0,62	0,36	0,10	-0,48	0,36	0,22	0,23	0,08	-0,25	0,19
	NPI	-0,23	0,11	-0,35	0,20	0,06	0,22	0,24	-0,07	-0,21	0,09	0,00	0,16	-0,21	0,03	0,06
	NATL	0,68	0,50	0,14	-0,43	0,42	0,35	0,11	-0,14	-0,01	0,27	0,51	0,21	0,07	-0,23	0,27
	SATL	-0,36	-0,22	-0,35	0,41	-0,38	0,18	0,34	0,04	-0,42	0,25	-0,04	0,07	-0,13	0,04	-0,09
	N34	0,10	-0,11	-0,17	0,20	-0,16	-0,53	-0,35	-0,10	0,47	-0,32	-0,21	-0,27	-0,10	0,30	-0,26
	PDO	0,12	0,05	0,10	-0,10	-0,16	-0,16	-0,35	0,15	0,28	-0,28	0,04	-0,22	0,18	0,04	-0,23
	NAN	0,00	-0,32	-0,18	0,33	-0,36	-0,15	-0,12	-0,02	0,15	-0,06	-0,06	-0,21	-0,06	0,22	-0,21
T20-20	0,26	0,07	-0,30	0,18	-0,05	-0,19	-0,06	-0,10	0,14	-0,01	0,09	-0,06	-0,08	0,11	-0,08	
Globe	0,09	0,09	-0,21	0,10	0,07	-0,16	0,10	-0,09	-0,04	0,07	0,04	0,00	0,01	-0,01	-0,02	
T2	<i>ppSF</i>	0,43					0,66					0,50				
	<i>DD pp</i>	0,18	1,00				0,51	1,00				0,31	1,00			
	<i>DS nv</i>	-0,10	0,61	1,00			0,56	0,45	1,00			0,19	0,52	1,00		
	<i>DS ver</i>	0,02	-0,79	-0,97	1,00		-0,62	-0,70	-0,95	1,00		-0,25	-0,74	-0,96	1,00	
	>10	0,35	0,41	0,33	-0,39	1,00	0,36	0,84	0,38	-0,59	1,00	0,37	0,64	0,34	-0,48	1,00
	NAO	-0,33	-0,03	-0,20	0,17	0,19	0,10	-0,28	0,01	0,09	-0,12	-0,07	-0,19	-0,09	0,13	0,02
	SOI	-0,14	-0,28	0,18	-0,05	0,21	0,45	0,17	-0,15	0,07	0,06	0,17	-0,07	-0,02	0,04	0,17
	NPI	0,21	0,06	0,42	-0,35	0,23	-0,11	0,24	0,09	-0,15	0,08	0,07	0,16	0,23	-0,23	0,15
	NATL	0,41	0,18	-0,08	0,00	-0,09	0,14	0,19	0,12	-0,16	0,06	0,20	0,20	0,06	-0,11	-0,02
	SATL	0,02	0,07	-0,04	0,01	-0,10	0,03	0,04	0,05	-0,06	-0,13	-0,05	0,08	0,03	-0,05	-0,16
	N34	0,12	0,33	-0,06	-0,06	0,06	-0,19	-0,18	0,29	-0,17	0,00	-0,06	0,05	0,15	-0,13	0,01
	PDO	0,00	0,02	-0,28	0,21	0,07	-0,05	-0,29	-0,14	0,21	-0,10	-0,14	-0,09	-0,13	0,13	-0,10
	NAN	0,10	0,26	-0,08	-0,02	-0,02	0,20	0,05	0,40	-0,33	0,08	0,17	0,13	0,17	-0,18	0,06
T20-20	0,30	0,25	-0,07	-0,02	-0,03	-0,06	-0,03	0,17	-0,12	-0,05	-0,00	0,13	0,09	-0,11	-0,12	
Globe	0,10	0,45	0,00	-0,14	-0,27	-0,00	0,13	0,05	-0,08	-0,03	-0,10	0,25	0,08	-0,14	-0,20	

III.4. Discusión y Conclusiones

Los resultados del análisis de la dinámica temporal de las precipitaciones confirman la observación general sobre la variabilidad como el principal rasgo que define al fenómeno climático de las precipitaciones. Para la *ventana de trabajo*, la variabilidad histórica es mayor al incrementarse la escala temporal del análisis; es decir, cuando se pasa de un análisis anual a uno interestacional, o de éste a uno mensual. Se tiene el caso donde la dinámica en la alternancia de años y/o pulsos secos y húmedos de un análisis en base anual contrasta con la significación estadística que adquiere la dinámica de estos fenómenos climáticos en un análisis interestacional.

En líneas generales, la dinámica de las precipitaciones se expresa principalmente a través de importantes pulsaciones o secuencias de años tanto secos como húmedos, lográndose acumular en cada evento una gran diferencia de la media. También es responsable de la variabilidad histórica la elevada frecuencia de años no-asociados a pulsaciones que manifiesta grandes valores de anomalía (positiva o negativa) con respecto a la media. Estos fenómenos climáticos adquieren mayor trascendencia al tomar en cuenta la elevada homogeneidad espacial que manifiestan.

Esta homogeneidad espacial por parte de las estaciones pluviométricas seleccionadas con respecto a sus signos y hasta, en muchos casos, de magnitud de las anomalías en la dinámica histórica de las precipitaciones no sólo valida el criterio empleado en la selección de las estaciones pluviométricas, sino que avala además el uso de la *ventana de trabajo* como una importante herramienta de análisis de las precipitaciones para una provincia climática determinada; esto al menos, donde la orografía no represente un factor adicional de variabilidad. El método es capaz de sobrellevar las graves limitaciones que pudieran presentarse en futuros estudios de las sabanas estacionales, específicamente en lo que respecta a la disponibilidad de datos para series temporales y localidades geográficas particulares.

En líneas generales, es difícil analizar el efecto de las *VM* sobre las precipitaciones, puesto que hay que considerar no sólo la influencia de cada variable por separado, sino también las relaciones entre ellas (Martelo 2002). Según esta autora, para las *VM* oceánicas (eg. **NATL** y **N34**) es más fácil comprender el sentido físico de las anomalías, ya que los datos

originalmente medidos son temperaturas: anomalías negativas señalan océanos más fríos que lo normal y anomalías positivas indican océanos más calientes que lo normal. Estas manifiestan su efecto durante mayores períodos a causa de la enorme inercia del océano y a una variación estacional de la energía que reciben del Sol. Los meses en los que se puede asegurar que la correlación refleja una causalidad física, tienden a ser consecutivos donde ocurren “seguidillas” de meses con condiciones similares tanto de signo como del valor de r . Los resultados de las correlaciones entre las *VM* oceánicas y la dinámica temporal de las precipitaciones de nuestra área de estudio se ajustan a este comportamiento.

En el caso de las *VM* atmosféricas (**NAO**, **SOI** y **NPI**) esto no es tan evidente, y la interpretación de las correlaciones que resultan del presente estudio entre la variabilidad de estos índices y el de las precipitaciones resultó muy complejo. Según Martelo (2002), el tiempo de respuesta de las *VM* atmosféricas puede estar en el orden del mes, por lo que no es necesariamente esperable que se presenten “seguidillas” de meses con condiciones similares de valor r y signo de la correlación en todos los *lags*. Si en un mes determinado todos los *lags* presentan correlaciones del mismo signo, y especialmente con valores similares, se está probablemente en presencia de una influencia real de la *VM* sobre la lluvia, y no de una correlación espúrea. En contraste, si para un mes se presenta correlación en un *lag*, o en varios *lags* con valores de r muy disímiles o, finalmente, si cambia el signo de la correlación con el *lag*, es mucho más difícil aceptar que se trata de una correlación que refleja una causalidad física. Los resultados del presente estudio, no escapan de esta situación, y si bien se lograron establecer, ante diversas situaciones, correlaciones significativas entre las precipitaciones y las *VM* atmosféricas, la interpretación de su significado real resultó ser muy compleja. En este sentido, las correlaciones que resultaron entre los índices **NAO**, **SOI** y **NPI** y las precipitaciones en el área de estudio no serán discutidas en el presente trabajo y deberán considerarse, en todo caso, como un aporte a la comunidad científica especializada que trabaja en identificar la lógica de las teleconexiones dentro del caos que caracteriza el sistema climático.

A continuación se presenta una discusión sobre la dinámica temporal de las precipitaciones para cada serie, y que corresponde al esfuerzo de integrar los resultados más significativos y relevantes de las diferentes escalas de análisis: anual, estacional, mensual y diaria.

Serie 1922-1940

Los resultados muestran que la primera serie, *1922-1940*, a pesar de presentar una elevada variabilidad a través de la alternancia de pulsaciones y de años no-asociados, tanto secos como húmedos, se trata de un periodo marcadamente SECO; de hecho, se trata de la serie más seca de las cuatro consideradas en este estudio. Esta condición viene dada por la presencia de importantes pulsaciones secas, tanto en la “entrada de lluvias” (*TI*, abril y mayo) como en la estación húmeda (*HUMEDA*, junio a septiembre), especialmente durante la primera mitad de la serie (ver Figuras III.21 a la III.26). Luego, a partir de la segunda mitad de la serie, y producto de dos pulsaciones húmedas, la situación para *TI* se torna de *normal a húmeda*, especialmente para el mes de MAYO. La estación *HUMEDA*, por otro lado, se torna aún más seca, y es cuando las pulsaciones secas adquieren mayor connotación. Aun cuando el análisis de las precipitaciones en base diaria para las series *1961-1978* y *1979-1997* en San Fernando de Apure así lo confirma, la ausencia de datos para la serie *1922-1940* en la ventana de trabajo no permite inferir si las pulsaciones secas durante *TI* se traducen una *entrada tardía* de las precipitaciones, y si para la estación *HUMEDA*, las pulsaciones secas se traducen en una *mayor frecuencia de veranitos*; o si se trata de una *reducción generalizada en los días sin precipitaciones*. Al analizar las anomalías para *T2* podemos afirmar que, durante la serie *1922-1940*, “las lluvias demoraban más en salir” que durante el resto de las series. De nuevo, por la ausencia de datos base diaria, es difícil precisar si la condición húmeda era generada por un *incremento en el número de días con precipitaciones* o un *incremento en la intensidad de las lluvias*. Para la serie *1922-1940*, las correlaciones que resultan de la comparación de la dinámica temporal de las precipitaciones con la de las *variables macroclimáticas (VM)* (ver Figura III.48 y Tabla 18) arrojan evidencias sobre una relación entre la situación cálida de las aguas superficiales del océano Pacífico, especialmente el de la región **N34** y la condición SECA, característica de esta serie. La mayor correlación con esta *VM* se tiene a finales de la estación *HUMEDA*, trascurso de *T2* y principios de *SECA*; estaciones que eran afectadas por las temperaturas que presentaba **N34** entre JUNIO y JULIO anterior (*lags* entre -2 y -6). La ausencia de datos de anomalías para el atlántico tropical durante esta serie (*eg.* **NATL** y **SATL**) no permite establecer ni interpretar con precisión las influencias de la variabilidad, para algunos meses significativa, observada en los índices atmosféricos **NAO**, **SOI** y **NPI**.

Serie 1941-1959

Si bien la serie *1941-1959* puede ser clasificada como SECA, es apreciablemente más húmeda que la serie anterior. Durante los 19 años que comprende esta serie tanto ***TI*** como ***HUMEDA*** experimentan un incremento importante en sus valores de precipitación. En el caso de ***TI***, esta situación ocurre por la presencia de un pulso húmedo al inicio de la serie que logra acumular una importante diferencia de la media. El resto de la serie es muy variable pero, luego de estar ***TI*** en una condición seca en la serie anterior, los promedios de esta estación climática, así como de los dos meses que la conforman, logran ubicarse en una condición NORMAL. La dinámica temporal de la estación ***HUMEDA*** para esta serie es mucho menos variable que la de ***TI***, presentando anomalías que temporalmente tienden a ser más húmedas, especialmente en el mes de JUNIO. Para finales de la serie, la estación ***HUMEDA*** logra ubicar el promedio de sus anomalías próximo a la condición NORMAL con respecto a la media global (*1922-1997*). Estos resultados coinciden con los de Martelo (2002) quien señala que para la década de 1951-1960 las precipitaciones fueron normales en buena parte de Venezuela. Esta dinámica está relacionada a una condición cálida en las aguas superficiales del *Atlántico Norte Tropical (NATL)* que se presenta entre ABRIL y JULIO. Durante esta serie, la estación de “salida de las lluvias” ***T2***, y especialmente el mes de NOVIEMBRE, muestran una reducción casi sostenida de las precipitaciones, que resulta en una definida tendencia a pasar de una condición HUMEDA inicial a una SECA. La reducción de las precipitaciones en ***T2*** durante esta serie parece estar relacionada, además de la presencia de aguas cálidas en la región ***N34***, a un “pulso cálido” en las temperaturas tanto de la región **TROPICO 20-20** como **GLOBAL**. Situación esta que logró extender sus efectos negativos a la estación ***SECA***. Según Martelo (2002), la condición NORMAL que presentan las precipitaciones durante la temporada de lluvias de la década 1951-1960 se deben a la combinación de aguas cálidas en **NATL** (temporada lluviosa más lluviosa), a un **N34** variable y a un **SOI** tipo Niña (menos lluvias intensas).

Serie 1960-1978

Durante la serie *1960-1978*, la dinámica temporal de la entrada de las lluvias, ***TI***, presenta una gran variabilidad producto, inicialmente, de la alternancia de dos años no vinculados a pulso que presentan anomalías de precipitación de valores extremos (negativo y luego positivo). Para el resto de ***TI*** la variabilidad se expresa a través de dos pulsaciones secas

y una húmeda alternadas. Esto resulta en valores de anomalía próximos a una condición *NORMAL* relativa a la media de los 76 años de registros pluviométricos. Durante la estación *HUMEDA*, la tendencia sostenida a un incremento de las precipitaciones se mantiene, pero a partir de 1970 y por el resto de la serie, se presenta un pulso seco importante, afectando las precipitaciones de JUNIO y JULIO. A pesar de esta variabilidad, la estación *HUMEDA* logra acumular una diferencia de la media positiva suficiente para que su condición pase de ser *NORMAL* a una *HUMEDA*. Para *T2*, a parte de la variabilidad que le inserta la presencia de algunos años húmedos presenta una condición sostenidamente *SECA* acentuada especialmente en el mes de *NOVIEMBRE*. Nuestros resultados coinciden con los de Martelo (2002) quien señala que la década 1961-1970 fue sensiblemente más lluviosa que la de 1971-1980 en buena parte del país. En el caso de 1971-1980, la reducción ocurre principalmente para la estación de lluvias. Entre las *VM* que explican mejor la variabilidad de la serie 1960-1978 se tiene a *NATL* (Martelo 2002). El calentamiento de las aguas superficiales del *Atlántico Norte Tropical* se relaciona, con un *lag* de -2 , a un incremento en las precipitaciones a través de un aumento en los días de precipitación así como a una tendencia a disminuir los días secos vinculados a “veranitos” durante la estación *HUMEDA* (ver Tabla III.19). El pulso seco que se presenta en la serie a partir de 1970 parece estar relacionado, además de a un enfriamiento en *NATL*, a un calentamiento de las regiones *SATL* y *NAN* con *lags* de -1 y -2 , respectivamente. Esta situación tiende a incrementar los días secos, especialmente de aquellos vinculados a “veranitos”.

Serie 1979-1997

Esta última serie se presenta como la más *HUMEDA* de las cuatro consideradas en el estudio. Aún así, también presenta una dinámica temporal de las precipitaciones interestacional distintiva. *TI* inicia su dinámica en la serie con un importante pulso de años húmedos que se extienden hasta 1983, el cual genera una diferencia de la media positiva y suficiente para que, a pesar que el resto de la serie tienda a ser seco, *TI* adquiera una condición *HUMEDA* durante la serie completa. La estación *HUMEDA* se torna aún más *HUMEDA* durante 1979-1997. Al igual que para *TI*, la serie se inicia con un pulso de años húmedos importante; apenas tres de los años son realmente secos, el resto tiende a ser normales. Por otro lado, *T2* acentúa su condición *SECA* durante esta serie donde apenas un pulso moderadamente húmedo le infiere variabilidad a esta tendencia. Las *VM* que logran

explicar mejor esta dinámica son las de las regiones **NATL**, **SATL** y **N34**. En el caso de **TI**, la combinación de aguas cálidas en el *Atlántico Norte Tropical* y frías en el *Atlántico Sur Tropical* resultan en una correlación positiva contingente (*lags* entre 0 y -1) con el incremento de las precipitaciones en la *ventana de trabajo*; esto a través de aumento en los días con precipitaciones, especialmente con lluvias de más de 10 mm/día, y por una reducción de los días secos, específicamente los veranitos. Durante la serie 1979-1997, las aguas en **N34** han sido especialmente cálidas, resultando en un incremento contingente de las precipitaciones en **TI** y en un aumento en la variabilidad para la estación **HUMEDA** por la presencia los años secos o años NIÑO. En el caso de **TI**, el resultado se obtiene a través de un incremento de los días con precipitaciones intensas, y para **HUMEDA** por la presencia de “veranitos”. Sobre la dinámica temporal de las precipitaciones durante las series 1981-1990 y 1991-1998, Martelo (2002) las relaciona a una mayor variabilidad en las anomalías de **NATL** y **N34**.

Entre las *VM* que mejor se correlacionan con la dinámica temporal de las precipitaciones en el área de estudio se tiene a **NATL**. Esta correlación sugiere que aguas superficiales cálidas en la región del *Atlántico Norte Tropical* están vinculadas a un incremento en los días con precipitaciones así como a las precipitaciones >10mm/día; esto puede traducirse en una entrada más temprana de las lluvias y/o en una estación **HUMEDA**, más húmeda. Sobre esto, Martelo (2000) reporta que un **NATL** caliente tiende a asociarse en las regiones centro-norte y oriental de Venezuela con inicios tempranos de la temporada lluviosa, mientras que un **NATL** frío tiende a asociarse con inicios tardíos de la temporada lluviosa; hacia el occidente, el **NATL** no parece tener tanta influencia como el Pacífico en la fecha de inicio de las lluvias.

En efecto, otra *VM* que tiende a explicar la dinámica temporal de las precipitaciones es **N34**. Temperaturas cálidas en esta región del Pacífico se correlacionan con años secos en el área de estudio, esto a través de un incremento de los días sin precipitaciones y en especial de días vinculados a “veranitos”. Los resultados de este estudio confirman las observaciones de Martelo (2002) sobre que existe una relación entre **N34** y la mayoría de las otras *VM*. Con **NATL** se muestra que el Atlántico Norte tropical se calienta siguiendo el calentamiento originado en el Pacífico 5 meses antes. **SOI**, por otro lado, muestra que el Pacífico se calienta el mismo mes, o el mes siguiente, al mes en que se inició el movimiento de la Baja Presión desde Australia (Darwin) hacia el Pacífico central (Tahití). Martelo (2002) señala que **N34** y **NATL** estuvieron en fase aproximadamente hasta finales de los años 70, luego **NATL**

comenzó a “retardar” respecto a **N34** y para la década de los 90 estaban desfasados; durante el último *El Niño* extremo (1997-1998) ambos océanos volvieron a estar en fase. El incremento en la variabilidad de las precipitaciones observado en la última serie, 1979-1997, corresponde a uno de los “hallazgos más robustos” para las tendencias actuales del Cambio Climático (IPCC (2001a y b), y se debe según Martelo (2002), a una aceleración de los procesos que regulan las temperaturas del Pacífico y que afecta tanto la magnitud de las anomalías como su alternabilidad, es decir, en la longitud del ciclo.

Las anomalías cálidas en la *VM SATL* muestra una correlación negativa con respecto a las precipitaciones en mi área de estudio. Si bien se ha determinado que la región del Atlántico Sur juega un papel fundamental en la dinámica temporal de las lluvias del Nordeste de Brasil, no se ha logrado establecer una relación directa con las precipitaciones del norte de Suramérica (Nobre 2003) y ni siquiera una correlación significativa con la región NATL (Martelo 2002).

Debido al bajo coeficiente de determinación que muestran las correlaciones con las *VM* oceánicas **PDO** y **NAN**, así como con las temperaturas en **TROPICO 20-20** y **GLOBAL**, la discusión sobre su participación en la dinámica temporal de las precipitaciones del área de estudio requiere que el análisis sea mejorado previamente, sobre la base de una reducción en la extensión de las series consideradas (*eg.* decadal) y en el uso de una herramienta estadística más poderosa (*eg.* análisis multivariante). Modificaciones en este sentido pudieran mejorar también la situación con respecto a la complejidad en el entendimiento de las correlaciones con las *VM* atmosféricas **NAO**, **SOI** y **NPI**.

En todo caso, los resultados con **NATL** y **N34** permiten concluir que efectivamente estas *VM* oceánicas tienen influencia significativa sobre la precipitación en el área de estudio, notable especialmente a nivel decadal; esa influencia se manifiesta momentos distintos del año (hay variación estacional) y además, en muchos casos, las precipitaciones responden con uno o más meses de retardo, lo que permitiría, en principio, contar con elementos predictores para los diferentes meses con varios meses de antelación, aunque muy probablemente las ecuaciones deban basarse también en algún tipo de análisis multivariado (Martelo 2002).

III.5. Bibliografía

- Alley, R.B. y P.U. Clark. 1999. The deglaciation of the Northern Hemisphere: A global perspective. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 27:149-182.
- Assad, E.D., E.E. Sano, R. Masutomo, L.H.R. de Castro y F.A.M. da Silva. 1994. Veranicos na região dos Cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. En: *Chuva nos Cerrados: análise e espacialização*. E.D. Assad (Ed.). EMBRAPA-CPAC/SPI, Brasília, DF. pp43-48.
- Broecker, W.S. 1995. *The Glacial World According to Wally*. 2^{da} edición. Eldigio Press, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY.
- Broecker, W.S. 1997. Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: Will man-made CO₂ upset the current balance? *Science*, 278:1582-1588.
- Capel-Molina, J.J. 1999. *El Niño y el sistema climático terrestre*. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 154pp.
- Casarim, D.P. 1983. *Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul*. INPE, São José dos Campos. 69p.
- Cochrane, T.T., J.A. Porras y M.R. Henao. 1982. *The relative tendency of the Cerrados to be affected by veranicos. A provitional assesment*. Simpósio sobre o Cerrado. Savanas: alimento e energia. Planatina: EMBRAPA-CPAC. pp229-239.
- Delworth, T.L. 2003. The Atlantic Thermohaline Circulation and Climate. 12th Conference on Interactions of Sea and Atmosphere. On-Line: http://ams.confex.com/ams/annual2003/techprogram/paper_57889.htm
- Enfield, D.B. 1996. Relationships on inter-America rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophysical Research Letters*, 23:3305-3308.
- Fernández-García, F. 1996. *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Editorial Síntesis, S.A. Madrid. 285p.
- Freile, A.J. 1969^a. Regiones climáticas de Venezuela. *Boletín de Geología*, 10:1-156.
- Freile, A.J. 1969^b. *Meteorología y climatología tropical y de Venezuela*. Ministerio de la Defensa, Estado Mayor Conjunto, División de Información, Sección Geografía, Caracas. 351p.
- Giannini, A., Y. Kushnir y M.A. Cane. 2000. Interannual variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13:297-311.
- Goldbrunner, A.W. 1963. *Las causas meteorológicas de las lluvias de extraordinaria magnitud en Venezuela*. Publicación Especial N° 2, Fuerza Aérea Venezolana, Ministerio de la Defensa. Caracas. 230p.
- Goldbrunner, A.W. 1976. *El Clima de Venezuela y su clasificación*. Fuerza Aérea Venezolana, Ministerio de la Defensa. Caracas. 60p.
- Harzallah, A., J.O. Rocha de Aragao y R. Sadourny. 1996. Interannual rainfall variability in North-East Brazil: Observation and model simulation. *International Journal of Climatology*, 16:861-878
- Hurrell, J.W. 2000. *The North Atlantic Oscillation*. 12th Annual Symposium Frontiers of Science. National Academy of Sciences, Noviembre 2-4, Irvine, CA. p1-10.
- Hurrell, J.W. y C. Deser. 2001. The relationship between Tropical Atlantic Rainfall and the Summer Circulation over the North Atlantic. *Proceedings of the United States CLIVAR Atlantic Meeting, Boulder, Colorado*:111-114.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. J.T. Houghton, G.J. Jenkins y J.J. Ephraums (eds.). WMO/UNEP, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 364p.
- IPCC. 1992. *Climate Change 1992: The IPCC Supplementary Report*. J.T. Houghton, B.A. Callander y S.K. Varney (eds.). WMO/UNEP, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 200p.

- IPCC. 1995. *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris y K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 339p.
- IPCC. 1996a. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 572p.
- IPCC. 1996b. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis, Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss y D.J. Dokken (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 878p.
- IPCC. 1996c. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J.P. Bruce, H. Lee y E.F. Haites (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 448p.
- IPCC. 1998. *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II*. R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss y D.J. Dokken (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 517p.
- IPCC. 2001a. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptations and Vulnerability. Report of Working Group II*. Disponible on-line: <http://www.usgerp.gov/ipcc/default.html>
- IPCC. 2001b. *Climate Change 2001: The Science of Climate Change*. J.T. Houghton (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis, Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss y D.J. Dokken (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 878p.
- Lang, C., M. Leuenberger, J. Schwander y S. Johnsen. 1999. 16 degrees C rapid temperature variation in Central Greenland 70,000 years ago. *Science*, 286:934-937.
- Luchiari, Jr. A., M. Resende, K.D. Ritchey, E. Freitas Jr. y P.I.M. Souza. 1986. Manejo do solo e aproveitamento de água. En: *Solos dos Cerrados*. W.J. Goedert (Ed.). Planaltina: EMBRAPA-CPAC/Saõ Paulo: Nobel. pp.285-322.
- Martelo, M.T. 2000. *Estudio sobre la posible influencia del Fenómeno "El Niño-Oscilación del Sur" (ENOS) sobre el clima de Los Llanos en Venezuela*. Reunión de Expertos de las Asociaciones Regionales AR-III y AR-IV sobre Fenómenos Adversos. WMO. Ginebra. p254.
- Martelo, M.T. 2002. Influencia de las Variables Macroclimáticas en el Clima de Venezuela. *Trabajo de Ascenso del Instituto de Ingeniería*. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. p192.
- Méndez, D. 1993. *Variabilidad y distribución de la precipitación en el Estado Guárico*. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 34p.
- Monasterio, M. 1970. Ecología de las sabanas de America Tropical II – Caracterización ecológica del clima en Los Llanos de Calabozo, Venezuela. *Revista Geográfica*, 9(21): 5-38.
- Moreau, A. y Deffit, R. 1979. *Las Precipitaciones en Los Llanos: Génesis y Aprovechamiento*. Trabajo Especial de Investigación, Escuela de Geografía, Universidad Central de Venezuela. 215p.
- National Assessment Synthesis Team. 2000. *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. <http://www.nace.usgerp.gov/>
- National Research Council (NRC)- Panel on Climate Variability on Decade-to-Century Time Scale (PCVDCTS). 1998. *Decade-to-Century-Scale Climate Variability and Change: A Science Strategy*. Panel on Climate Variability on Decade-to-Century Time Scales, National Academy Press, Washington, D.C. p146. Disponible On-Line: <http://books.nap.edu/books/0309060982/html/index.html>
- NRC– Committtee on Abrupt Climate Change (CACC). 2002. *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*. National Academy Press, Washington, D.C. Disponible tambien On-Line: <http://books.nap.edu/books/0309074347/html/index.html>

- NRC– Committee on Global Climate Research (CGCR). 1989. *Global Change and Our Common Future: Pares from a Forum*. National Academy Press, Washington, D.C. Disponíble *On-Line*: <http://books.nap.edu/books/>
- NRC–CGCR. 1990a. *Research Strategies for the U.S. Global Change Research Program*. National Academy Press, Washington, D.C. Disponíble *On-Line*: <http://books.nap.edu/books/>
- NRC–CGCR. 1990b. *The U.S. Global Change Research Program: An Assessment of the FY 1991 Plans*. National Academy Press, Washington, D.C. Disponíble *On-Line*: <http://books.nap.edu/books/>
- NRC–CGCR. 1999. *Global Environmental Change: Research Pathways for the Next Century*. National Academy Press, Washington, D.C. 603pp.
- NRC – Committee on the Human Dimensions of Global Change (CHDGH). 1999. *Human Dimensions of Global Environmental Change: Research Pathways for the Next Century*. National Academy Press, Washington, D.C. 83pp.
- NRC – Panel on Climate Variability on Decade-to-Century Time Scales (PCVDCTS). 1998. *Decade-to-Century-Scale Climate Variability and Change: A Science Strategy*. National Academy Press, Washington, D.C. 146pp.
- Nieuwolt, S. 1989. Estimating agricultural risks of tropical rainfall. *Agricultural and Forest Meteorology*, 45:251-263.
- Nobre, P. 2003. A variabilidade interanual do Atlântico Tropical e sua influência no clima da América do Sul. *Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. *On-Line*: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/climse_pn.html
- Riehl, H. 1977. *Sobre el estado del tiempo en Venezuela: Resumen del estudio de los experimentos realizados en Venezuela en 1969 y 1972*. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. 41p.
- Silveira-Ferreira, N. 2003. *Zona de Convergência Intertropical*. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos(FUNCEME). *On-Line*: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/zcit_1.html
- Stephenson, D.B. 1999. *The North Atlantic Oscillation Thematic WEB Site*. *On-Line*: <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO>
- Summer, G. 1988. *Precipitation: Process and Analysis*. John Wiley & Sons. 443p.
- Vila, M.A. 1965. *Aspectos geográficos del Estado Guárico*. CVG, Caracas. 235 p.
- Wolf, J.M. 1977. Probabilidade de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 12:141-150.

CAPÍTULO IV

RELACIONES ENTRE LA DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA COBERTURA DE LEÑOSAS Y AQUELLA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

IV.1. Discusión de los resultados más relevantes

Las Tablas IV.1 y IV.2 resumen algunos de los aspectos más relevantes de los resultados de los análisis de la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas (Capítulo II) y de la dinámica temporal de las precipitaciones (Capítulo III). Se tiene que, en líneas generales, tanto las precipitaciones han sufrido cambios significativos en lo que respecta a una redistribución mensual e interestacional (ver Figura III.33), como las leñosas aumentaron significativamente sus valores en el área de cobertura (Figura II.44). Este incremento es temporalmente diferenciable y se obtiene a través de la secuencia de dos procesos distintos, no excluyentes: primero, por la *fusión* o coalescencia de núcleos leñosos de poco porte que pasaron a formar polígonos de cobertura de una *fase* o tamaño superior; y luego, por el establecimiento *disperso* de pequeños núcleos leñosos incrementando al final los valores de las variables poligonales de las primeras *fases* o clases de tamaño.

Establecimiento por fusión

El análisis global de la dinámica de cobertura de leñosas entre 1938 y 1961 reveló que, aún cuando ocurre una reducción significativa ($P < 0,01$) de $-0,61\%$ /año en el número de polígonos, el área se incrementó significativamente ($P < 0,01$) a una tasa anual del $3,25\%$ (ver Tabla III.36). Una reducción en el número de polígonos con repercusiones positivas en el área de cobertura resultante es característica de un proceso de *fusión*. Si bien con valores diferenciables, esta situación, donde el *incremento relativo anual (IRA)* es negativo para el número de polígonos y positivo para el área se presentó en seis de las siete formas de relieve consideradas, quedando excluida aquella ubicada en el nivel más bajo del gradiente altimétrico del área de estudio; y que logró valores positivos de **IRA** tanto en el número como en el área de los polígonos de cobertura.

Ahora bien, los resultados sobre la dinámica temporal de las precipitaciones (Capítulo III) señalan que, al considerar el valor que resulta de la suma de las diferencias de la media, la condición climática general entre 1922 y 1959 era *más seca* que aquella entre 1960 y 1997 (ver Figura III.27). El análisis pluviométrico señala que esta condición relativamente *más seca* (ie. menos húmeda) viene dada, inicialmente (serie 1922-1940), por la presencia de importantes pulsaciones secas en la estación **HUMEDA** (junio a septiembre). Luego, durante 1941-1959, producto de un pulso húmedo presente a finales de esta serie, se presenta una mejora en las precipitaciones; pero, debido a lo discreto de los valores de anomalía del pulso, la condición climática se mantiene *seca* con relación a la media (ver Figura III.25). Durante los 38 años del lapso entre 1922 y 1959, también se detectó un cambio en el signo del resultado de la suma de las diferencias de la media entre las series 1922-1940 y 1941-1959 tanto para la “entrada de lluvias” (**T1**, abril y mayo) como para la “salida de las lluvias” (**T2**, septiembre y octubre); donde **T1** pasa de una condición *seca* relativa inicial a una algo más *húmeda*, mientras que **T2** pasa de una condición *húmeda* relativa a una definitivamente *más seca* con respecto a su media. Para la estación climática **SECA** (diciembre-marzo), las sumas de las diferencias de la media presentaban valores persistentemente positivos; es decir, su condición climática general relativa era *húmeda*. Tomando en cuenta que, en promedio, más del 62% de las precipitaciones se presentan entre junio y septiembre, es decir en la estación **HUMEDA**, las anomalías por debajo de la media que se presentan entre 1922 y 1959, y que pueden interpretarse como indicadores de condiciones relativamente *menos húmedas* que en el lapso siguiente (1960-1997), fueron determinadas principalmente por las afectaciones que causaron las pulsaciones secas en esta estación climática.

Al analizar la serie de Figuras II.11 a la II.20, y tomar en cuenta que los polígonos son entidades sésiles, se evidencia que ante la condición climática general relativamente *seca* (ie. menos húmeda) presente entre 1922 y 1959, la *fusión* ocurría, en muchos casos, luego que uno o más polígonos presentaron un crecimiento suficiente para sobrellevar el espacio que los separaba; es decir, al crecer, las entidades de mayor tamaño incorporan (se fusionan) las de menor tamaño. Estos resultados coinciden con los de Scalan y Archer (1991) quienes, en un estudio sobre la dinámica temporal en la cobertura de leñosas de una sabana subtropical de *Prosopis* con pastoreo y exclusión a la quema, determinaron a través de un modelo de simulaciones, que ante condiciones climáticas persistentemente secas las formaciones extensas de leñosas, además de presentar mejores probabilidades de sobrevivir que cualquier otra

fitofisonomía, sus bordes logran avanzar sobre la matriz de gramíneas y fusionarse con las formaciones de menor porte.

Estos núcleos o polígonos de leñosas, llamados localmente como *matas*, presentan una situación microclimática, humedad edáfica y contenido de nutrientes del suelo intermedia entre el bosque y la sabana abierta (Farji-Brener 1992). Situación que mejora espacialmente y localmente a medida que las *matas* extienden sus bordes. Ellas aumentan de área no sólo mediante el crecimiento de sus individuos, sino también por la incorporación de nuevos individuos, a través de un reclutamiento diferencial (Archer *et al.* 1988), y su ubicación dentro de la *mata* responde a sus características funcionales (Farji-Brener 1992). Se tiene, por ejemplo, que las especies decíduas, propias del bosque, son exitosas en el intermedio y centro de la *mata*, donde están protegidas del fuego y poseen un medio más favorable para su germinación y desarrollo; mientras que los árboles de sabana, intolerantes a la sombra pero tolerantes al fuego, quedan restringidos a los bordes (Sarmiento y Monasterio 1983, Sarmiento *et al.* 1985, Medina y Silva 1990).

En términos generales, los árboles de sabana poseen una mayor proporción de individuos adultos en las *matas* que en el hábitat abierto adyacente (San José *et al.* 1991). Situación que se hace más evidente a medida que disminuye el *agua disponible para las plantas* (**ADP**); y de acuerdo al resultado del presente estudio, responde en primer lugar, a un determinante exógeno (*ie.* a una reducción en las precipitaciones medias), y luego a uno más local como lo es la heterogeneidad del sustrato.

Esto se evidencia cuando, a pesar que la condición climática general relativamente más *seca* presente entre 1922 y 1959 se correlaciona significativamente a una reducción generalizada en el número de polígonos de cobertura, la variabilidad que resulta en los valores del **IRA** entre las diferentes formas de relieve corresponde, espacialmente, a las del gradiente altimétrico presente, y en el caso específico de nuestra área de estudio, al gradiente de dinámica hídrica superficial dominante: los valores de **IRA** para el número polígonos en las formas de relieve más elevadas (*run-off*) son más negativos que el de los más bajos (*run-on*) (ver Tabla II.37). Los resultados sobre persistencia de la cobertura de leñosas expresados en la Tabla II.38 sugieren que en el caso de los *afloramientos altos*, **A_I**, y de los *afloramientos medios*, **A_{II}**, muchos de los individuos aislados y de los pequeños núcleos leñosos <100m² (polígonos de cobertura **Fase-I**) no logran sobrevivir a la condición seca. Por otro lado, los

afloramientos –bajos, *A_{III}*, si bien presentan un significativo retroceso en el número de polígonos leñosos de *Fase-I*, la elevada persistencia de la cobertura, relativa a las otras formas elevadas, sugiere que muchos individuos aislados y pequeños núcleos logran fusionarse con otros de mayor área. De hecho, el incremento en el área de cobertura que se presenta entre 1938 y 1961 se debe a un incremento significativo en el área de los núcleos leñosos de entre 100 y 1.000 m² (*Fase-II*)(ver Tabla II.28). Con respecto a las formas de relieve con dinámica hídrica de deposición (*run-on*: *LL_I*, *LL_{II}*, *LL_{III}* y *LL_{IV}*), el análisis de las Tablas III.30 a la III.31, así como el de la Tabla III.38, confirma la observación sobre un gradiente en la persistencia de los individuos leñosos aislados y de pequeñas *matas*, tanto individualmente como por fusión con núcleos de mayor porte, en respuesta a una disminución en el déficit anual del **ADP** determinado localmente por la heterogeneidad del sustrato.

Al recordar de nuevo, que todo polígono de cobertura es una entidad sésil, podemos afirmar que, para cualquier *mata* o formación leñosa, el estrés hídrico es menor en aquella que logra crecer y fusionar que en aquella que no logra crecer y es ó no fusionada. Podemos de igual forma confirmar en este punto que, ante una condición climática general *seca* (*ie.* menos húmeda que la media), al crecer, la *mata* o cualquier otra formación leñosa, ésta homogeniza las condiciones del **ADP** del área que ocupa, además de otros determinantes que también actúan a la escala local (*eg. nutrientes disponibles para las plantas*, Farji-Brener 1992).

Con respecto a otros determinantes que puedan haber condicionado la dinámica espacial en la cobertura de leñosas durante los 38 años del lapso entre 1922 y 1959, se descarta la participación, cómo facilitadores biológicos, de hormigas y/o termitas: sus nidos o evidencias de su actividad no se encontraban en ninguna de las formas de relieve consideradas y eran fenómenos más bien raros en los 172 km² que comprende el área de estudio.

Si bien el área de estudio se encuentra dentro de los límites del PN. Aguaro-Guariquito, no fue sino hasta 1974 que fuera declarado como tal y considerado desde entonces como área protegida, las consultas a los habitantes de la zona así como a la poca bibliografía disponible (Páez 1862, Carvalho 1985, Briceño 1985, Rodríguez-Mirabal 1987) no permiten afirmar que antes de 1974 existiera una mayor presión de uso de la tierra en lo que respecta al pastoreo y a la frecuencia de quemas de origen antrópico, o que su manejo histórico fuera distinto al que se le haya dado al resto de las sabanas estacionales en Venezuela.

Con respecto a las quemas como factor determinante de la fisionomía de las sabanas, una condición climática general relativamente *más seca* (ie. menos húmeda) como la que caracterizó el periodo entre 1922 y 1959, pudiera considerarse como un escenario apropiado para la ocurrencia de quemas relativamente frecuentes y en consecuencia, de baja intensidad. Pero, la variabilidad observada en la dinámica temporal de las precipitaciones de este período incluye la presencia de años o pequeñas pulsaciones con anomalías húmedas; si bien no existen registros que permitan confirmarlo, alguno de estos eventos húmedos pudiera haber ocasionado la acumulación de biomasa vegetal suficiente para que, una vez retornada a la condición *seca* que caracteriza el período, pudiera haber afectado la frecuencia de algunas quemas especialmente intensas, cuyo resultado fuera una reducción importante, por mortalidad, en la población de individuos aislados y de pequeños núcleos leñosos, y en especial, en aquellas áreas donde el sustrato impone un régimen hídrico más deficiente (**ADP**) como son las formas de relieve más elevadas o de *run-off*.

Establecimiento disperso de leñosas

El análisis de la dinámica de cobertura de leñosas para el resto del lapso considerado en este estudio, es decir, para los 37 años entre 1961 y 1997, reveló que el proceso de establecimiento de las leñosas difiere sensiblemente de aquel entre 1938 y 1961, descrito en la sección anterior. Ahora, tanto el **IRA** para el número de polígonos como para el área de cobertura presentan valores positivos en respuesta a un incremento temporal en sus valores muy significativo ($P < 0,01$) (ver Tabla III.36). Un incremento significativo tanto en el número de polígonos como en el área de cobertura resultante es característico de un proceso donde las leñosas conquistan nuevos espacios a través de un establecimiento *disperso*.

El análisis de la cobertura señala además que, para nuestra área de estudio, la dinámica que genera el establecimiento *disperso* de leñosas es temporal y espacialmente diferenciable. Se tiene por ejemplo que, durante los primeros 18 años del lapso 1961-1997, es decir la serie 1961-1978, el **IRA** para el número de polígonos fue menor que aquel para la serie siguiente, 1978-1997 (2,75%/año vs. 4,37%/año). A pesar de esta situación, el **IRA** para el área de cobertura de la serie 1961-1978 duplica el de 1978-1997 (1,88%/año vs. 0,93%/año). A parte de esta diferenciación temporal en la dinámica de la cobertura, el establecimiento *disperso* presenta variaciones en el **IRA**, tanto para el número de polígonos como para el área de cobertura, y responden al gradiente de drenaje hídrico dominante (*run-off* *run-on*) presente

en el área de estudio. Durante los 37 años del lapso 1961-1997, las formas de relieve más elevadas (*run-off*), presentan valores en el **IRA**, tanto para el número de polígonos como el área de cobertura, superiores al de las formas de relieve de los niveles inferiores, donde la dinámica hídrica es de deposición, *run-on* (ver Tabla III.37). De nuevo, al considerar los resultados del análisis por series, 1961-1978 y 1978-1997, se tiene que la dinámica del establecimiento *disperso* de leñosas es temporalmente diferenciable para una misma forma de relieve. Se tiene, por ejemplo, que para las formas de relieve *run-off*, el **IRA**, tanto para el número de polígonos como el área de cobertura, presenta valores más elevados durante la serie 1961-1978 que durante 1978-1997. En el caso de las formas de relieve inferiores, *run-on*, la dinámica temporal del establecimiento *disperso* es distinta a la de los niveles superiores; durante la serie 1961-1978, se logra un incremento del área de cobertura mayor con un incremento en el número de polígonos relativamente inferior relativo al de la serie siguiente: 1978-1997. Es decir, para el área de cobertura el $\mathbf{IRA}_{1961-1978} > \mathbf{IRA}_{1978-1997}$ y para el número de polígonos el $\mathbf{IRA}_{1961-1978} < \mathbf{IRA}_{1978-1997}$.

Con respecto a la dinámica temporal de las precipitaciones que pudiera explicar la dinámica espacio-temporalmente diferenciable en la cobertura de leñosas arriba descrita se tiene que, con relación a la media de las precipitaciones para el lapso 1922-1997, los 38 años comprendidos entre 1960 y 1997 presentan una condición *más húmeda* que la registrada durante 1922-1959 (ver Figura III.27) y que se caracterizó por presentar una dinámica en las leñosas donde el incremento en la cobertura se lograba principalmente por el establecimiento *fusionado*. El análisis pluviométrico individual de las series que conforman estos 38 años, 1960-1978 y 1979-1997, señala que existe una tendencia temporal a un incremento en las precipitaciones donde es en la última de estas series (1979-1997) cuando se presenta la condición *más húmeda* relativa a la media, tanto para 1960-1997 como para el lapso completo, 1922-1997; seguida por la serie inmediata anterior 1960-1978.

Durante la serie 1960-1978, la dinámica temporal de la “entrada de las lluvias”, **TI**, presenta una gran variabilidad producto, inicialmente, de la alternancia de dos años no vinculados a pulsos que presentan anomalías de precipitación de valores extremos (negativo y luego positivo). Para el resto de **TI** la variabilidad se expresa a través de dos pulsaciones secas y una húmeda alternadas. Esto resulta en valores de anomalía próximos a una condición *normal* relativa a la media de los 76 años de registros pluviométricos. Durante la estación **HUMEDA**, la tendencia sostenida a un incremento de las precipitaciones se mantiene, pero a

partir de 1970 y por el resto de la serie, se presenta un pulso seco importante, afectando las precipitaciones de junio y julio. A pesar de esta variabilidad, la estación **HUMEDA** logra acumular una diferencia de la media positiva suficiente para que su condición pase de tener una condición, relativa a la media de 1922-1997, de *normal* a *húmeda*. Para la estación **HUMEDA**, el análisis base diaria de las precipitaciones arroja evidencias de un incremento en los días con precipitaciones así como una reducción en la frecuencia de “veranitos”. Para **T2**, a parte de la variabilidad que le inserta la presencia de algunos años húmedos presenta una condición relativa *seca*, especialmente en el mes de noviembre.

Con respecto a la última serie, 1979-1997, como se dijo, se presenta con la condición, relativa a la media de 1922-1997, *más húmeda* de las cuatro series consideradas en el estudio. Aún así, también presenta una dinámica temporal de las precipitaciones interestacional distintiva. **T1** inicia su dinámica en la serie con un importante pulso de años húmedos que se extienden hasta 1983, el cual genera una diferencia de la media positiva y suficiente para que, a pesar que el resto de la serie tienda a ser *seco*, **T1** adquiera una condición relativa a la media *húmeda* durante la serie completa. A pesar de presentar una mayor variabilidad en sus valores de anomalía, la estación **HUMEDA** se torna, relativo a 1960-1978, aún *más húmeda* durante 1979-1997. Al igual que para **T1**, la serie se inicia con un pulso de años húmedos importante; apenas tres de los años son realmente secos y el resto tiende a ser normales. El análisis en base diaria muestra evidencias de un incremento en los días con precipitaciones especialmente intensas para **T1**, así como un incremento en la frecuencia de “veranitos para la estación **HUMEDA**. Por otro lado, **T2** acentúa su condición relativa *más seca* durante esta serie donde apenas un pulso moderadamente húmedo le infiere variabilidad a esta tendencia.

El cambio en el régimen de precipitaciones durante el lapso 1960-1997, arriba descrito, debió generar un incremento espacialmente generalizado en el **ADP**, que pudo promover el aumento en el establecimiento de individuos aislados y de pequeños núcleos leñosos. Scalan y Archer (1991), en una simulación hecha para una sabana subtropical de *Prosopis*, también obtuvieron el establecimiento *disperso* de las leñosas como respuesta a una condición relativamente *más húmeda*. Durante la serie 1960-1978, el establecimiento *disperso* es más notorio en las formas de relieve más elevadas (*run-off*) que durante la condición pluviométrica relativamente *seca* (*ie.* menos húmeda) del lapso 1922-1960, tiempo en el cual se habían presentado los niveles más bajos de persistencia y/o fusión de las coberturas de poca extensión. Evidentemente, un incremento relativo en las precipitaciones se traduce en una

reducción generalizada del estrés hídrico, beneficiándose especialmente aquellas formas de relieve que presentan una menor capacidad temporal de retención de agua (*ie.* formas de relieve *run-off*). Pero a su vez, y dependiendo de la dinámica temporal intra e interanual del incremento en las precipitaciones, puede ocasionar también un exceso de agua en el suelo en los niveles inferiores. Según Sarmiento y Monasterio (1971) las formas de relieve ubicadas en la parte baja del gradiente de drenaje, al tener una mayor capacidad de retención de agua, pueden llegar a anegarse por breves periodos de tiempo. Un cambio en las precipitaciones a una condición relativamente *más húmeda* puede ocasionar una saturación hídrica desfavorable a las especies de leñosas que lograron establecerse en estas formas de relieve durante 1922-1960 cuando la oferta hídrica era menor, y en todo caso suficiente, para un adecuado funcionamiento fisiológico. De acuerdo a las observaciones de campo, la diversidad florística de leñosas que está presente en los *afloramientos* es baja. Una reducción en el estrés hídrico en los *afloramientos* puede ser percibida como una condición favorable por un grupo limitado de especies (*ie.* favorables para un mismo grupo funcional). Mientras que, el exceso de agua en los niveles inferiores sería percibido como desfavorable para las especies leñosas que habían logrado establecerse con anterioridad (*eg.* las siempreverdes) y favorable ahora para nuevos grupos funcionales (*eg.* las decíduas). Esta pudiera ser una explicación del comportamiento diferencial en el establecimiento *disperso* entre las formas *run-off* y *run-on* durante la serie 1960-1978: en las formas de relieve *run-on* el **IRA** para el número de polígonos es bajo con relación a las formas más elevadas posiblemente debido a que la nueva oferta de agua sería excesiva para las leñosas siempreverdes que habían logrado establecerse durante la condición menos húmeda de la serie temporal anterior, por lo que ocurre un descenso en el número de polígonos cuya cobertura está representada por leñosas de este grupo funcional; el **IRA** para el número de polígonos se mantiene positivo quizás a la conquista de nuevos espacios por parte de nuevos grupos funcionales de leñosas.

Algunos autores sostienen que un incremento en la cobertura a través de un establecimiento *disperso* de especies que ya se encuentran en el lugar está determinado por una supresión a la quema. Eiten (1972), por ejemplo, determinó que, luego de estar protegida del fuego durante 30 años y estar ubicada muy próxima a una formación boscosa, la vegetación de *cerrado* sujeta a su estudio, presentaba un incremento por establecimiento *disperso* por parte de las especies locales. San José y Fariñas (1983) obtienen resultados similares al comparar la cobertura de 1960 y 1977 y atribuyen su dinámica a los 16 años de

protección a las quemas. Ahora bien, su área de estudio está muy próxima a la nuestra, así como también se encuentra comprendida dentro de la *ventana de trabajo*, usada para nuestros análisis pluviométricos, y por tanto, comparten una misma dinámica histórica de las precipitaciones. Cómo se mencionó con anterioridad, nuestra área de estudio no presenta evidencias de algún manejo que haya originado un descenso en la frecuencia de quemas. Al compara estos resultados con los de San José y Fariñas (1983), obtenidos para el lapso 1960-1977, y para las mismas condiciones climáticas, el establecimiento *disperso* preferencial de especies locales ocurriría tanto en un escenario de quema como de protección a ésta, y en todo caso, en zonas con drenaje hídrico superficial dominante (*run-off*) con una condición hídrica relativamente *más húmeda*. De igual manera, y para las sabanas de Lamto en Costa de Marfil, los trabajos de Menaut (1977) (protección a la quema y pastoreo por 13 años) y Dauget y Menaut (1992) (sin protección a la quema y pastoreo), establecen que ante una condición *más húmeda* relativa a la media, la dinámica temporal del establecimiento *disperso* de las leñosas es similar. Silva *et al.* (2001), en un trabajo realizado en el área de estudio de San José y Fariñas (1983) y considerando también la dinámica de las leñosas entre 1960-1977, pero introduciendo nuevos tratamientos como parcelas con amplias historias de uso agrícola e intensidades de pastoreo y frecuencia de quemas, determinaron un incremento generalizado en la cobertura de leñosas para todos los tratamientos, demostrando que la quema y el pastoreo son apenas una parte del complejo sistema de factores interactuantes que afectan la estructura de las comunidades de las sabanas. Con respecto a la heterogeneidad espacial en la *disponibilidad de nutrientes para las plantas*, NDP, San José y Fariñas (1983) al observar que las leñosas que se establecían dispersas lograban una mayor altura que aquellas de las *matas*, y tomando en cuenta que el suelo de las *matas* es relativamente más rico que el de la sabana abierta (San José y García-Miragaya 1979), el establecimiento *disperso* en las sabanas no depende exclusivamente del NDP.

Con respecto a la dinámica espacio-temporal de la cobertura de leñosas durante la serie 1978-1997 se tiene ahora que, si bien el IRA para el número de polígonos, tanto para las formas de relieve *run-off* como *run-on*, presentan valores similares, refleja un incremento importante para las formas *run-on* con respecto a la serie anterior 1960-1978 (ver Tabla III.37). Para el área de cobertura, ambas formas presentan los valores de IRA más bajos para la serie completa: 1938-1997. Esta dinámica temporal en la cobertura de leñosas coincide con la serie pluviométrica relativamente *más húmeda*, pero también la más variable de las

consideradas. Una condición relativamente *más húmeda* generada por una gran variabilidad temporal de las precipitaciones, no se traduce necesariamente a la relación: *reducción del estrés hídrico* *exceso de agua en el suelo*, en el gradiente altimétrico durante la serie anterior. La presencia de eventos relativamente *secos* (*ie.* menos húmedos) entre eventos efectivamente húmedos, que se generan por la variabilidad, pueden presentarse ahora cómo los lapsos más favorables para el establecimiento *disperso* de leñosas de diferentes grupos funcionales (**IRA**_{número}). Así, esta variabilidad generaría condiciones suficientemente *húmedas*, en especial, en aquellas formas de relieve con una elevada capacidad de retención de agua. Obviamente, debido al excesivo drenaje de las formas más elevadas, la presencia de eventos relativamente *secos* (*ie.* menos húmedos) son desfavorables para el establecimiento *disperso* (**IRA**_{número}), independientemente si se encuentra alternado con eventos relativamente *muy húmedos*. Se tiene, por ejemplo, que durante esta serie ocurre un incremento de los días con precipitaciones especialmente intensas, así como la frecuencia de días secos vinculados o no a “veranitos”. Esta concentración de las precipitaciones estaría afectando en forma diferencial las condiciones hídricas del suelo a lo largo del gradiente altimétrico presente en el área de estudio. Tanto San José y Fariñas (1991) como Silva *et al.* (2001), demuestran que especies tradicionalmente conocidas cómo “sensibles a la quema” y cuya ubicación estaba limitada a las formaciones boscosas evadiendo la distrofia de los suelos de la sabana abierta (*eg. Godmania macrocarpa, Genipa caruto y Cochlospermum vitifolium*), logran establecerse de forma dispersa durante la serie 1978-1997. Con respecto a la supresión del establecimiento de plántulas de leñosas por parte de las gramíneas, San José y Fariñas (1983) no lo consideran como un factor limitante para el incremento en la cobertura de leñosas. Sugieren que es probable que ocurra una reducción temporal en la competencia entre las gramíneas y las plántulas y que la matriz de gramíneas pudiera ser un ambiente favorable para el establecimiento de plántulas después de todo.

Dinámica de las Galerías

En líneas generales, las galerías muestran una dinámica espacio-temporal de la cobertura dominada por el establecimiento por *fusión* (ver Tabla II.45). A diferencia de las formas de relieve arriba discutidas, la fusión ocurre en las galerías cuando la oferta hídrica presenta una condición relativamente *más húmeda*, como la que caracterizó las series 1961-1978 y 1978-1997. También a diferencia de las formas de relieve, la *fusión* ocurre cuando los polígonos de

leñosas especialmente extensos ($>10.000 \text{ m}^2$) crecen y fusionan a los más pequeños. Es decir, un cambio en las precipitaciones torne que la condición *más húmeda* con relación a la media pudiera estar homogeneizando el **ADP** a un nivel suficientemente elevado permitiendo el reemplazo directo de sabana por bosque. De acuerdo a la Figura II.52 se trata de un proceso que ocurre, no sólo en la zona de influencia directa del río, sino que puede extenderse cientos de metros de su cauce. El establecimiento disperso se presentó cuando la condición era relativamente *seca* o en todo caso *menos húmeda*: serie 1938-1961. Durante esta serie el **IRA** para el área de cobertura es más elevado. Esto pudiera responder a la disponibilidad de espacio que existía inicialmente a lo largo del cauce del río, lugar éste donde, frente a una condición climática relativamente *menos húmeda*, estarían concentradas las zonas con un **ADP** más favorable. La gradual saturación de los espacios a lo largo del río y un posterior cambio de las precipitaciones a una condición relativamente *más húmeda*, estarían determinando el establecimiento por *fusión*. Diferencias en los valores temporales de los **IRA** (número y área) entre las galerías y los islotes de bosque ubicados en las formas de relieve, pudieran ser evidencia que sus dinámicas están determinadas por la presencia de leñosas de grupos funcionales distintos. Sobre esto, estudios de campo muestran que, para una misma forma de relieve, y a diferencia de los islotes de bosque, las galerías por lo general no presentan un cinturón de especies piroresistentes.

Variables Macroclimáticas

El presente estudio arroja evidencias de una relación significativa entre la dinámica temporal de las precipitaciones y la de las variables macroclimáticas (*VM*). Se tiene por ejemplo, que las pulsaciones de años secos que se presentaron durante la estación **HUMEDA**, registradas entre 1922-1940, y que tornó esta primera serie a condición relativamente *seca* (ie. menos húmeda), se correlacionan con un calentamiento de las aguas superficiales del Pacífico (**N34**). Durante la siguiente serie, 1941-1959, la reducción de las precipitaciones en **T2** parece estar relacionada, además de la presencia de aguas cálidas en la región **N34**, a un “pulso cálido” en las temperaturas tanto de la región **TROPICO 20-20** como **GLOBAL**; y el incremento de las precipitaciones en **T1** se relacionaría a la presencia de aguas superficiales cálidas del *Atlántico Norte Tropical* (**NATL**). Según Martelo (2002), la condición relativamente *normal* que presentan las precipitaciones durante la temporada de lluvias de la década 1951-1960 se debe a la combinación de aguas cálidas en **NATL** (temporada lluviosa

más lluviosa), a un **N34** variable y a un **SOI** tipo Niña (menos lluvias intensas). Para la serie 1960-1978, el calentamiento de las aguas superficiales en el *Atlántico Norte Tropical* (**NATL**) habría ocasionado un incremento en los días con precipitaciones y una disminución en la frecuencia de “veranitos”, y por consiguiente, en una situación sensiblemente más húmeda tanto para la “entrada de lluvias”, **TI**, como para la estación **HUMEDA**. El pulso seco que se presenta en la serie a partir de 1970 parece estar relacionado, además de a un enfriamiento en **NATL**, a un calentamiento de las regiones **SATL** y **NAN**; situación que habría incrementado la frecuencia de días secos, especialmente de aquellos vinculados a “veranitos”. Las **VM** que mejor logran explicar la dinámica de las precipitaciones durante la última serie, 1979-1997, son las de las regiones **NATL**, **SATL** y **N34**. En el caso de **TI**, la combinación de aguas cálidas en el *Atlántico Norte Tropical* y frías en el *Atlántico Sur Tropical* resultan en una correlación positiva con un incremento en las precipitaciones; esta situación en las **VM** habría generado un aumento en los días con precipitaciones intensas y una reducción de los días secos, específicamente los veranitos. Durante 1979-1997, las aguas en **N34** fueron especialmente cálidas, resultando en un incremento contingente de las precipitaciones en **TI** y en un aumento en la variabilidad para la estación **HUMEDA** por la presencia los años secos o años NIÑO. En el caso de **TI**, el resultado se obtiene a través de un incremento de los días con precipitaciones intensas, y para **HUMEDA** por la presencia de “veranitos”. Sobre la dinámica temporal de las precipitaciones durante las series 1981-1990 y 1991-1998, Martelo (2002) las relaciona a una mayor variabilidad en las anomalías de **NATL** y **N34**.

En las secciones anteriores habíamos logrado identificar a la variabilidad temporal de las precipitaciones como un importante determinante de la fitofisionomía histórica de las sabanas estacionales. Sin embargo, y tomando en cuenta que hemos analizado sólo un pequeño grupo de **VM**'s, sería arriesgado afirmar que la dinámica temporal de las anomalías en las **VM** seleccionadas es responsable a su vez de la dinámica espacio-temporal de las leñosas. Esto requeriría primero de un entendimiento razonable de la complejidad del sistema climático a través sus teleconexiones, de la resiliencia de las interrelaciones y de las tendencias al cambio.

Tabla IV.1. Dinámica temporal del número de polígonos de cobertura de leñosas para las diferentes formas de relieve y del *incremento relativo anual* (IRA) (datos según Tablas II.26 a la II.34, II.36 y II.45) con respecto a la condición climática estacional dominante, definida según la diferencia acumulada de las precipitaciones respecto a la media del lapso; en azul condición húmeda, en rojo condición seca. La descripción de las formas de relieve se tiene en la Tabla II.1 y la de las fases en la Tabla II.6.

		Número de polígonos					IRA por Serie	IRA Global	Condición climática del lapso			
		Fase-I	Fase-II	Fase-III	Bosque	Total			SECA	T1	HUMEDA	T2
TOTAL	1938	2.687	299	26	4	3.016	-0,61 2,75 4,37	2,22				
	1961	1.848	703	38	4	2.593						
	1978	2.950	792	55	8	3.805						
	1997	6.153	737	61	15	6.966						
A_I	1938	413	10	0	0	423	-1,87 7,59 4,38	2,36				
	1961	219	22	0	0	241						
	1978	512	40	0	0	552						
	1997	972	39	0	0	1.011						
A_{II}	1938	117	1	0	0	118	-0,88 4,38 3,79	2,36				
	1961	72	22	0	0	94						
	1978	148	16	0	0	164						
	1997	270	12	0	0	282						
A_{III}	1938	168	36	4	0	208	-1,13 3,25 5,81	2,40				
	1961	87	62	5	0	154						
	1978	157	77	5	0	239						
	1997	409	86	8	0	503						
LL_I	1938	394	44	2	0	440	-1,19 2,94 5,18	1,97				
	1961	237	81	2	0	320						
	1978	383	94	3	0	480						
	1997	870	77	5	0	952						
LL_{II}	1938	946	99	7	2	1.054	-0,18 1,62 4,10	1,99				
	1961	740	260	9	2	1.011						
	1978	996	265	22	6	1.289						
	1997	2.023	246	18	7	2.294						
LL_{III}	1938	464	78	10	2	554	-0,56 1,63 3,97	1,62				
	1961	299	173	10	1	483						
	1978	424	181	11	1	617						
	1997	883	178	17	4	1.082						
LL_{IV}	1938	111	10	0	0	121	2,80 3,55 4,88	6,92				
	1961	147	47	5	0	199						
	1978	232	79	8	0	319						
	1997	552	58	3	2	615						
A_I-LL_I	1938	65	10	0	0	75	-0,41 5,02 3,09	2,82				
	1961	43	25	0	0	68						
	1978	93	32	1	0	126						
	1997	163	32	5	0	200						
A_{III}-LL_{III}	1938	9	11	3	0	23	0,00 -1,02 2,22	0,29				
	1961	4	11	7	1	23						
	1978	5	8	5	1	19						
	1997	11	9	5	2	27						
Galería	1938	53	152	111	28	344	1,48 -1,48 -0,61	-0,19				
	1961	46	192	178	45	461						
	1978	42	114	144	45	345						
	1997	29	75	138	63	305						

Tabla IV.2. Dinámica temporal del área de cobertura de leñosas para las diferentes formas de relieve y del incremento relativo anual (IRA) (datos según Tablas II.26 a la II34, II.36 y II.45) con respecto a la condición climática estacional dominante, definida según la diferencia acumulada de las precipitaciones respecto a la media del lapso; en azul condición húmeda, en rojo condición seca. La descripción de las formas de relieve se tiene en la Tabla II.1 y la de las fases en la Tabla II.6.

		Area de polígonos					IRA por Serie	IRA Global	Condición climática del lapso			
		Fase-I	Fase-II	Fase-III	Bosque	Total			SECA	T1	HUMEDA	T2
TOTAL	1938	75.674	68.504	58.911	287.870	490.959	3,25 1,88 0,93	2,90				
	1961	85.058	165.371	96.770	510.192	857.391						
	1978	125.578	178.288	154.712	673.495	1.132.073						
	1997	188.356	169.587	156.259	817.809	1.332.011						
A_I	1938	8.236	1.495	0	0	9.731	0,83 6,37 2,02	4,12				
	1961	7.397	4.186	0	0	11.583						
	1978	18.024	6.107	0	0	24.131						
	1997	26.788	6.626	0	0	33.414						
A_{II}	1938	2.900	181	0	0	3.081	5,58 1,21 0,34	3,28				
	1961	3.582	3.454	0	0	7.036						
	1978	5.973	2.516	0	0	8.489						
	1997	6.603	2.438	0	0	9.041						
A_{III}	1938	5.332	10.041	6.205	0	21.578	2,16 1,01 1,81	2,30				
	1961	4.830	18.025	9.429	0	32.284						
	1978	7.811	19.139	11.889	0	38.839						
	1997	13.016	23.268	14.599	0	50.883						
LL_I	1938	12.515	8.571	4.337	0	25.423	1,35 2,64 0,88	2,06				
	1961	10.862	16.170	6.292	0	33.324						
	1978	16.211	20.983	11.102	0	48.296						
	1997	25.169	14.995	16.168	0	56.332						
LL_{II}	1938	30.179	22.375	12.739	100.199	165.492	2,51 1,91 0,32	2,06				
	1961	33.393	58.425	37.839	131.232	260.889						
	1978	42.743	59.428	45.755	197.489	345.415						
	1997	62.537	56.729	60.803	186.578	366.647						
LL_{III}	1938	11.255	17.514	23.660	187.671	240.100	3,72 1,20 1,13	2,90				
	1961	15.568	45.498	20.693	363.909	445.668						
	1978	18.950	43.274	37.556	436.813	536.593						
	1997	30.267	42.543	38.114	540.504	651.428						
LL_{IV}	1938	2.583	2.764	0	0	5.347	16,09 7,30 0,65	18,36				
	1961	6.959	9.846	8.326	0	25.131						
	1978	11.266	17.691	27.341	0	56.298						
	1997	17.213	12.279	5.975	27.783	63.250						
A_I-LL_I	1938	2.268	2.238	0	0	4.506	2,77 4,19 4,72	7,32				
	1961	2.159	5.222	0	0	7.381						
	1978	4.314	6.769	1.557	0	12.640						
	1997	6.263	8.554	9.153	0	23.970						
A_{III}-LL_{III}	1938	406	3.324	11.970	0	15.700	5,09 4,88 1,24	6,62				
	1961	309	4.546	14.191	15.051	34.097						
	1978	285	3.381	19.513	39.192	62.371						
	1997	498	2.159	11.447	62.944	77.048						
Galería	1938	1.803	65.851	313.844	1.133.963	1.515.461	5,19 1,44 1,44	4,20				
	1961	2.098	83.760	613.120	2.624.110	3.323.088						
	1978	1.300	56.990	490.820	3.589.322	4.138.432						
	1997	1.115	37.741	498.174	4.732.782	5.269.812						

IV.2. Conclusiones Generales

A la escala del presente trabajo, la sabana estacional estudiada se presenta como un sistema inestable. Esta condición viene dada por una tendencia temporal lineal significativa al incremento en la cobertura de leñosas y es explicada por la variabilidad histórica de las precipitaciones. Para el sistema sabánico, las variaciones en las precipitaciones observadas habrían resultado en un mejoramiento en el balance hídrico suficiente para sobrellevar limitaciones impuestas por la heterogeneidad del sustrato.

Este incremento en la cobertura de leñosas es temporalmente diferenciable y se obtiene a través de la secuencia de dos procesos distintos, no excluyentes: primero, por la *fusión* o coalescencia de núcleos leñosos de poco porte que pasan a formar polígonos de cobertura de un tamaño superior; y luego, por el establecimiento *disperso* de pequeños núcleos leñosos incrementando al final los valores de las variables poligonales de las primeras clases de tamaño.

La tendencia lineal significativa al incremento que presenta la cobertura de leñosas a lo largo de la serie considerada sugiere que las sabanas estacionales son ecosistemas que no están en equilibrio con las condiciones actuales del medio, y su presencia pudiera interpretarse como formaciones relictuales desarrolladas bajo climas del pasado reciente y actualmente en vías de ser reemplazadas por ecosistemas correspondientes a nuevos escenarios de precipitaciones. Con una fisionomía original de *sabana parque*, las sabanas pasaron a una de *sabana arbolada*; de continuar las tendencias actuales, las leñosas ocuparían todos los espacios, tornándose las sabanas estacionales en *sabanas cerradas* o *woodlands*. En el caso de las galerías, la matriz de gramíneas cedería sus espacios a través de una conversión directa a bosque. Esta conversión histórica de la fitofisionomía de las sabanas estacionales estaría facilitada por la presencia de una diversidad específica y funcional capaz de sobrellevar cambios en las condiciones climáticas.

Los resultados muestran evidencias que el clima del sistema sabánico neotropical pudiera estar interactuando y ser sensible a la dinámica de variables externas como las temperaturas superficiales del mar, específicamente a aquellas de la región del *Atlántico Tropical* y del *Pacífico Ecuatorial*. Los registros históricos de anomalías en estas variables macroclimáticas se correlacionaron a la dinámica temporal de las precipitaciones; esto a través

de afectaciones potenciales a la frecuencia de días con precipitaciones de diversa intensidad y a la ocurrencia de “veranitos”. Aún así, el elevado grado de incertidumbre sobre los procesos espacio-temporales que rigen la dinámica de las teleconexiones no permite una predicción directa confiable de los impactos de las tendencias al cambio detectadas en el sistema atmósfera/océano global sobre los procesos ecológicos específicos de las sabanas estacionales.

Las prácticas de manejo y conservación de las sabanas estacionales del Neotrópico deben estar en concordancia, en el corto y mediano plazo, con el hecho que se tratan de sistemas inestables y dinámicos; y estar orientadas hacia la preservación de la tendencia natural del cambio y de la capacidad de respuesta que han demostrado ante la variabilidad climática histórica. Aquí, deberán considerarse también información sobre la diversidad específica y funcional de las especies vegetales presentes en el sistema sabánico y de los efectos en los cambios en el uso de la tierra, específicamente en lo que respecta a frecuencia e intensidad de las quemadas, intensidad del pastoreo y extracción selectiva o masiva de especies forestales. En el largo plazo, las prácticas de manejo y conservación deberán incorporar el conocimiento sobre nuevos estudios de la dinámica ecológica a través de una ampliación de la escala espacio-temporal de trabajo; así como el de los avances en las tendencias del cambio climático con respecto a su dirección y su velocidad de cambio; es decir: ¿será más seco o más húmedo el clima futuro para las sabanas estacionales? y ¿este cambio, se alcanzaría de forma gradual o abrupta?

III.5. Bibliografía

- Archer, S., C. Scifres, C.R. Bassham y R. Maggio. 1988. Autogenic succession in a subtropical savanna: conversion of grassland to thorn woodland. *Ecological Monographs*, 58:111-127.
- Briceño, T. 1985. *La ganadería en Los Llanos centro-occidentales venezolanos 1910-1935*. Estudios, Monografías y Ensayos N° 69. Biblioteca de la Academia Nacional de la Historia. Caracas. p275.
- Carvalho, G. 1985. *El Hato venezolano 1900-1980*. Fondo Editorial Tropykos. Caracas. p172.
- Dauget, J.M. y J.C. Menaut. 1998. Evolution sur 20 ans d'une parcelle de savana boisée non protégée du feu dans la réserve de Lamto (Côte-d'Ivoire). *Candollea*, 47:621-630.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical review*, 38:201-341.
- Farji-Brener, A.G. 1992. *Dinámica de islas boscosas en una sabana-parque: La actividad de las Attini (Hymenoptera, Formicidae) y su relación con la invasión de leñosas*. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 66p.
- Martelo, M.T. 2002. Influencia de las Variables Macroclimáticas en el Clima de Venezuela. *Trabajo de Ascenso del Instituto de Ingeniería*. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. p192.
- Medina, E. y J.F. Silva. 1990. The savannas of northern South America: a steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography*, 17:403-413.
- Menaut, J.C. 1977. Evolution of plots protected from fire since 13 years in a Guinea savanna of Ivory Coast. *Actas del IV Simposio de Ecología Tropical*. Tomo II, Panamá, pp541-558.
- Páez, R. 1862. *Escenas rústicas en Sur América o la vida en Los Llanos de Venezuela*. Ediciones Centauro. Caracas. p386.
- Rodríguez-Mirabal, A.C. 1987. *La formación del latifundio en Los Llanos de Apure: 1750-1800*. Estudios, Monografías y Ensayos N° 69. Biblioteca de la Academia Nacional de la Historia. Caracas. p371.
- San José, J.J. y J. García-Miragaya. 1979. Contenido de nutrientes en el suelo y en la fitomasa de comunidades de la sabana de *Trachypogon*, calabozo, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 136:114-122.
- San José, J.J. y M. Fariñas. 1991. Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta Oecologica*, 12:237-247.
- San José, J.J. y M.R. Fariñas. 1983. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna, Venezuela. *Ecology*, 64:447-453.
- San José, J.J., M.R. Fariñas y J. Rosales. 1991. Spatial patterns of trees and structuring factors in a *Trachypogon* Savanna of the Orinoco Llanos. *BIOTROPICA*, 23:114-123.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1971. *Ecología de las sabanas de América Tropical: Análisis macroecológico de Los Llanos de Calabozo, Venezuela*. Cuadernos Geográficos N° 4. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, 127p.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1983. Life forms and phenology. In: *Ecosystems of the World: Tropical savannas*. Bouliere, F. (Ed.). Elsevier, Amsterdam. p79-108.
- Sarmiento, G., G. Goldstein y F. Meinzer. 1985. Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas. *Biology Review*, 60:315-355.
- Scalan, J.C. y S. Archer, 1991. Simulated dynamics of succession in a North American subtropical *Prosopis* savanna. *Journal of Vegetation Science*, 2:625-634.
- Silva, J.F., A. Zambrano y M.R. Fariñas. 2001. Increase in the woody component of seasonal savannas under different fire regimes in Calabozo, Venezuela. *Journal of Biogeography*, 28:977-983.

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

ADP	Agua Disponible para las Plantas
A_I	Afloramiento Alto – <i>forma geomorfológica</i>
A_{II}	Afloramiento Medio – <i>forma geomorfológica</i>
A_{III}	Afloramiento Bajo – <i>forma geomorfológica</i>
ANOVA	Análisis de Varianza
C-Bosque	Clase <i>Bosque</i> – <i>clase de tamaño de cobertura de leñosas</i>
CGCR	<i>Committee on Global Climate Research</i>
CHDGC	<i>Committee on the Human Dimensions of Global Change</i>
C-I	Clase I – <i>clase de tamaño de cobertura de leñosas</i>
C-II	Clase II – <i>clase de tamaño de cobertura de leñosas</i>
C-III	Clase III – <i>clase de tamaño de cobertura de leñosas</i>
CÑE	Caño Encauzado – <i>forma geomorfológica</i>
DD pp	Días de precipitación 1 mm
DS nv	Días secos (sin pp 1 mm) no vinculados a <i>veranitos</i>
DS ver	Días secos (sin pp 1 mm) vinculados a <i>veranitos</i>
ENSO	El Niño Oscilación Sur – <i>El Niño Southern Oscillation</i>
GLOBAL	Temperatura global - <i>variable macroclimática</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRA	Incremento Relativo Anual
IVGSB	Instituto Venezolano de Geografía “Simón Bolívar” - <i>Venezuela</i>
LAT	Latitud
LL_I	Canal de Explayamiento – <i>forma geomorfológica</i>
LL_{II}	Abanico de Explayamiento – <i>forma geomorfológica</i>
LL_{III}	Llanura Coluvial – <i>forma geomorfológica</i>
LL_{IV}	Llanura de Erosión – <i>forma geomorfológica</i>
LON	Longitud
MARN	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales - <i>Venezuela</i>
N34	Región Niño 3.4 - <i>variable macroclimática</i>
NAN	Norte del Atlántico Norte - <i>variable macroclimática</i>
NAO	Oscilación del Atlántico Norte – <i>North Atlantic Oscillation - variable macroclimática</i>
NATL	Atlántico Norte Tropical – <i>variable macroclimática</i>
NDP	Nutrientes Disponible para las Plantas
NPI	Índice del Pacífico Norte – <i>North Pacific Index - variable macroclimática</i>
NRC	<i>National Research Council</i>
ns	No Significativo

PCVDCTS	<i>Panel on Climate Variability on Decade-to-Century Time Scales</i>
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico - <i>variable macroclimática</i>
PNAG	Parque Nacional Aguaro-Guariquito - <i>Venezuela</i>
SATL	Atlántico Sur Tropical – <i>variable macroclimática</i>
SIG	Sistema de Información Geográfico
SOI	Índice de Oscilación Sur – <i>Southern Oscillation Index - variable macroclimática</i>
SSP	Presión Atmosférica a Nivel del Mar – <i>Sea Surface Pressure</i>
SST	Temperatura Superficial del Mar – <i>Sea Surface Temperature</i>
THC	Circulación Termohalina – <i>Thermohaline Circulation</i>
TROPICO 20-20	Región entre 20°N y 20°S - <i>variable macroclimática</i>
UM	Unidad de Muestreo
USB	Universidad Simón Bolívar - <i>Venezuela</i>
UTM	Transversa Universal de Mercator - <i>Universal Transverse Mercator</i>
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical – <i>Intertropical Convergence Zone</i>