
CAPÍTULO VI

PROBABILIDAD Y PERSISTENCIA EMPÍRICA DE LA PRECIPITACIÓN EN EL PAÍS VASCO

El presente capítulo se encuentra organizado en dos grandes apartados. El primero profundiza en el análisis de las probabilidades empíricas de las rachas mientras que, el segundo, se encuentra destinado al análisis de las transiciones lluviosas. En ambos se mantiene la estructura general de los capítulos, esto es, una primera unidad metodológica y, a continuación, la presentación y el análisis de los resultados.

1. LAS PROBABILIDADES EMPÍRICAS DE LAS RACHAS

La probabilidad empírica de un evento viene definida por el número de veces que aparece ese evento con respecto al total de casos observados. Esta sencilla definición es plenamente aplicable a la racha como evento climático.

Es necesario comenzar recordando la importante diferencia existente entre la probabilidad de que un día sea lluvioso (cociente del número de días lluviosos entre el total de días observados) y la probabilidad de tener una racha lluviosa de un solo día (cociente del número de rachas lluviosas de un solo día entre el total de rachas lluviosas). Se tratan de hechos pluviométricos diferentes y conviene tenerlo presente dado que, todo el trabajo posterior se encuentra fundamentado en la racha como unidad básica de análisis.

A modo de ejemplo podemos indicar que la probabilidad de que se de un día lluvioso en Fuenterrabía es del 28,9% mientras que la probabilidad de que una racha lluviosa dure exactamente un solo día en esta misma estación está en torno al 52%.

En primer lugar, se propone el desarrollo del cálculo de las probabilidades empíricas de las diferentes secuencias lluviosas tanto de forma individualizada, como agrupadas por categorías.

En el segundo caso, las cinco categorías agrupadas, se incide en el análisis de la regionalización de las probabilidades de ocurrencia a partir de los mapas de probabilidades empíricas correspondientes. Dada la coincidencia entre las rachas de un solo día de duración y la categoría de una secuencia lluviosa se ha optado por tratar este tipo de rachas en el apartado de las categorías empíricas.

Tanto los mapas de probabilidades de ocurrencia empírica de cada tipo de racha, presentados a modo de mosaicos, como los de cada categoría han sido obtenidos mediante técnicas de interpolación apoyadas en el empleo de funciones de base radial multicuadráticas para los tres umbrales de corte. Los resultados obtenidos no son comparables al mantener cada representación su propia escala gráfica. Esta técnica nos ha permitido estimar los valores de la probabilidad empírica de ocurrencia de cada tipo de secuencia y de cada agrupación de tipos en aquellos ámbitos del territorio en donde no se ha medido la precipitación directamente sobre el terreno.

Los resultados obtenidos de las probabilidades empíricas por tipo de racha y de las probabilidades empíricas por categorías, se presentan desglosados por umbrales de corte tal y como viene siendo habitual a lo largo del estudio.

1.1. Probabilidades empíricas por *tipo de racha*

La propuesta metodológica de este apartado pasa por el cálculo de las probabilidades empíricas de cada tipo de secuencias lluviosa, el desarrollo de un análisis de correlación entre éstas y la posición geográfica de cada

estación y, por la representación cartográfica de las mencionadas probabilidades de ocurrencia de cada tipo de racha.

Estas composiciones se realizan para las rachas de hasta 10 días de duración bajo el umbral de corte de 1 mm/día, hasta los 6 días bajo el umbral de 5 mm/día, y hasta los 4 días para el umbral de 10 mm/día, dado que son los tipos de secuencias que se encuentran representados en todos los observatorios. Las rachas de un solo día de duración son tratadas como categoría por lo que su representación no aparece en este apartado.

Los mapas de las probabilidades empíricas de las rachas más longevas resultan excesivamente pobres al haber secuencias que, por su excepcionalidad, se dan en muy pocos observatorios. En este caso, es posible consultar su frecuencia absoluta y su probabilidad de ocurrencia en los anexos correspondientes.

1.2. Probabilidades empíricas por categorías

Una vez constatada la amplia variedad de tipos de secuencias lluviosas y ante la necesidad de sintetizar, mediante un proceso de generalización, los aspectos más relevantes de su comportamiento, se ha decidido agrupar las distintas rachas en las cinco categorías empleadas anteriormente para el análisis de la estructura pluviométrica: secuencias de un solo día, secuencias cortas (2-3 días), secuencias de media duración (4-9 días), secuencias largas (10-15 días) y rachas muy largas (>15 días).

De este modo, se computan las probabilidades empíricas de ocurrencia para cada categoría, por cada estación y umbral, recogiendo los resultados en el apartado de Probabilidades Empíricas del *Anexo Digital* adjunto. La probabilidad de ocurrencia de cada categoría representa la probabilidad empírica acumulada de los tipos de rachas que la forman.

2. FACTORES GEOGRÁFICOS Y PROBABILIDAD EMPÍRICA DE LAS RACHAS

2.1. El carácter discreto de las probabilidades de ocurrencia

La forma en que la probabilidad de ocurrencia de cada tipo de racha se encuentra relacionada con la longitud, la latitud o la orografía del territorio es variada en cuanto a su intensidad, sus signos y sus diferentes niveles de significación estadística.

En términos generales, se considera que es el factor latitudinal es el que mayor incidencia positiva tiene sobre la probabilidad de ocurrencia de una racha lluviosa específica (**Figuras 1, 2 y 3**), independientemente del umbral de corte que se esté analizando, exceptuando las rachas de un solo día.

Le sigue en importancia el factor orográfico, si bien, en este aspecto, las correlaciones estadísticas más relevantes tienen un signo negativo. Esto permite señalar, de acuerdo a la muestra analizada, que las probabilidades de ocurrencia de las secuencias lluviosas son mayores en las zonas menos elevadas del territorio. Sin embargo, no debemos olvidar la ausencia de estaciones en altura y lo ya expuesto para el análisis de los totales de precipitación por lo que las conclusiones extraídas estarán sujetas únicamente al contexto de trabajo definido.

Por último, con respecto al eje longitudinal Este-Oeste, se dan niveles inferiores de correlación de carácter positivo.

Estas afirmaciones genéricas no son aplicables a todos los tipos de rachas destacando, algunos tipos de secuencias lluviosas sobre otros.

a) Umbral de 1 mm/día

Comenzaremos por señalar un hecho singular en relación con las rachas de un solo día. Si tenemos en cuenta las correlaciones que han resultado estadísticamente significativas, podemos ver como el valor de la probabilidad de *las rachas de un solo día* se halla correlacionado, de manera inversa, con la latitud y también con la longitud y, de forma directa, con la altitud bajo este umbral. En la **tabla 20** se presenta una síntesis de los coeficientes de Pearson para las rachas de hasta 10 días de duración. La mayor parte de las correlaciones establecidas han resultado significativas estadísticamente.

Tabla 20. COEFICIENTES DE CORRELACION, SEGÚN PEARSON, PARA EL UMBRAL DE CORTE DE 1 mm/día, por probabilidades empíricas y localización geográfica

Probabilidad	Correlación	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
PROB Racha 1	Correlación de Pearson	-,388*	-,666**	,395*
	Sig. (bilateral)	,015	,000	,013
	N	39	39	39
PROB Racha 2	Correlación de Pearson	,194	,327*	-,140
	Sig. (bilateral)	,237	,042	,394
	N	39	39	39
PROB Racha 3	Correlación de Pearson	,307	,180	,011
	Sig. (bilateral)	,058	,274	,947
	N	39	39	39
PROB Racha 4	Correlación de Pearson	,172	,679**	-,461**
	Sig. (bilateral)	,296	,000	,003
	N	39	39	39
PROB Racha 5	Correlación de Pearson	,499**	,630**	-,364*
	Sig. (bilateral)	,001	,000	,023
	N	39	39	39
PROB Racha 6	Correlación de Pearson	,307	,683**	-,397*
	Sig. (bilateral)	,057	,000	,012
	N	39	39	39
PROB Racha 7	Correlación de Pearson	,475**	,728**	-,556**
	Sig. (bilateral)	,002	,000	,000
	N	39	39	39
PROB Racha 8	Correlación de Pearson	,203	,667**	-,415**
	Sig. (bilateral)	,214	,000	,009
	N	39	39	39
PROB Racha 9	Correlación de Pearson	,441**	,585**	-,413**
	Sig. (bilateral)	,005	,000	,009
	N	39	39	39
PROB Racha 10	Correlación de Pearson	,229	,515**	-,338*
	Sig. (bilateral)	179	001	044
	N	36	36	36

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).
 ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

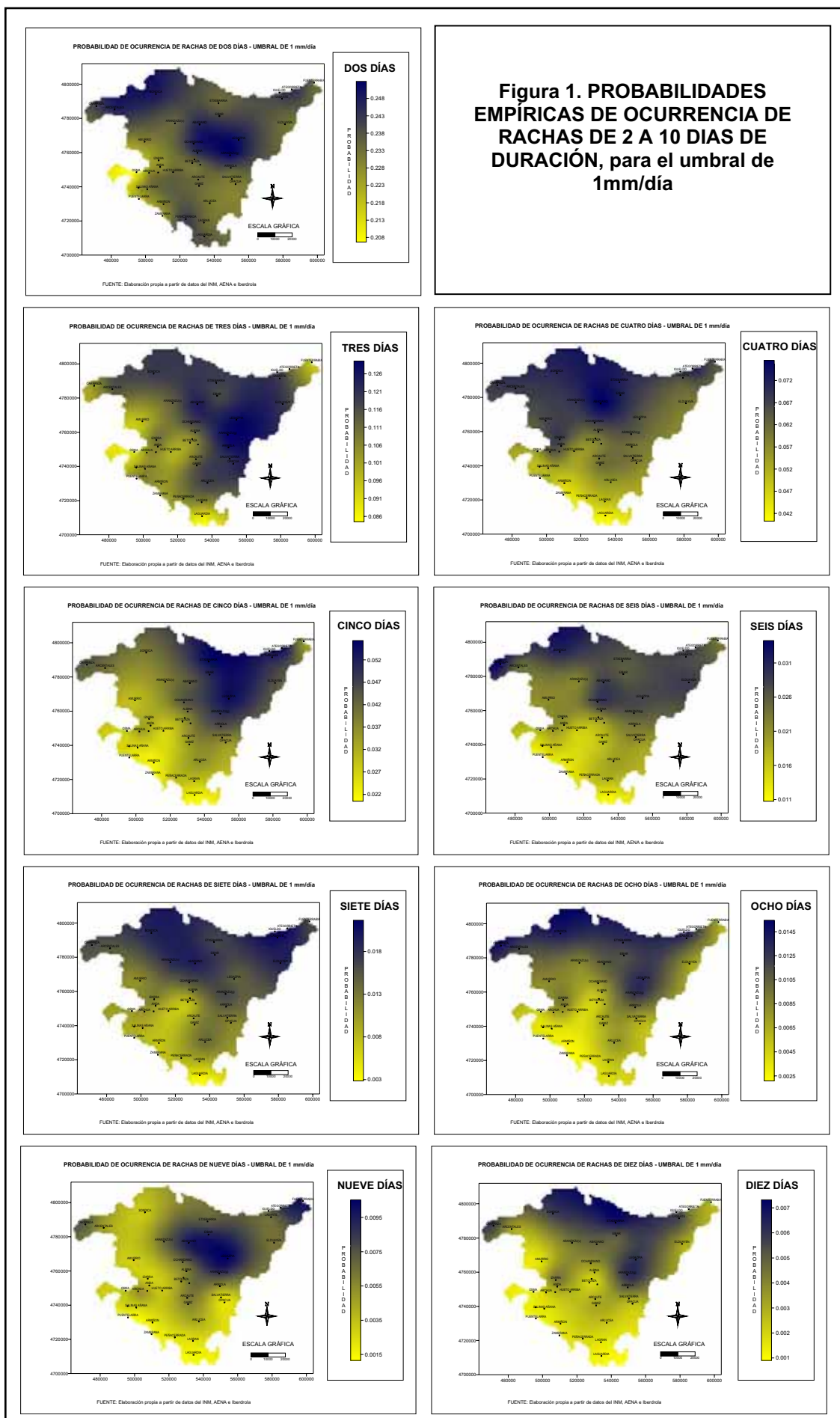
Resulta especialmente llamativo el hecho de que las secuencias de 2 y 3 días de duración se encuentren pobremente relacionadas con las variables propias de la localización geográfica y, cuando lo están, lo es en menor medida. Sólo las secuencias de 2 días parecen verse algo afectadas por la componente latitudinal.

El hecho más notorio, en esta ocasión, se debe al factor longitudinal que adquiere cierta relevancia con respecto a las secuencias alternas a partir de las rachas de 5 días.

Los mapas de probabilidad empírica de los tipos de rachas (**Figura 1**), permiten una rápida aproximación a esta realidad (las escalas de los mapas son diferentes por lo que no son comparables entre sí). Aquellas zonas con colores azules representan, para cada tipo de racha, las probabilidades de ocurrencia más altas mientras las zonas amarillas representan las probabilidades de ocurrencia inferiores. Los tramos de probabilidad para cada tipo de racha (columnas) son representados a continuación (**Tabla 21**) (las frecuencias absolutas de cada tipo de racha y sus probabilidades empíricas se pueden consultar en el apartado reprobabilidades Empíricas correspondientes del Anexo Digital).

Tabla 21. TRAMOS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EMPÍRICA PARA CADA TIPO DE RACHA, para el umbral de corte de 1 mm/día

	Rachas 2	Rachas 3	Rachas 4	Rachas 5	Rachas 6	Rachas 7	Rachas 8	Rachas 9	Rachas 10
MIN	0,206	0,084	0,040	0,0204	0,010	0,0028	0,002	0,001	0,00089
MAX	0,252	0,129	0,076	0,0562	0,034	0,0021	0,015	0,0105	0,0073



b) Umbral de 5 mm/día

Uno de los primeros aspectos que nos llama la atención al iniciar el análisis bajo un umbral más elevado, es el mantenimiento del signo de la correlación inversa entre la probabilidad de ocurrencia de una racha de un solo día y los ejes de la latitud y la longitud.

Tabla 22. COEFICIENTES DE CORRELACION, SEGÚN PEARSON, PARA EL UMBRAL DE CORTE DE 5 mm/día, por probabilidades empíricas y localización geográfica

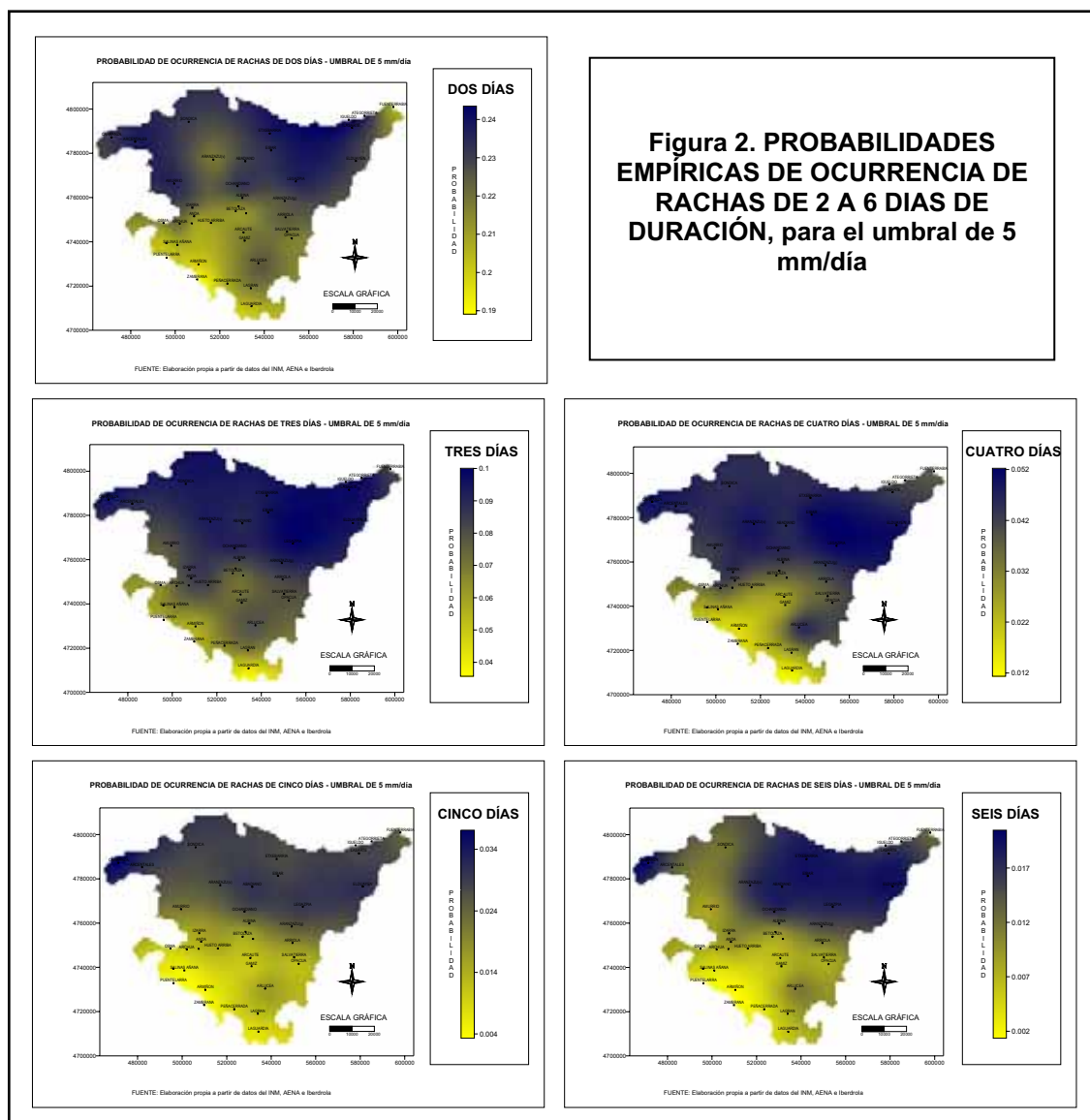
Probabilidad	Correlación	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
PROB Racha 1	Correlación de Pearson	-,340*	-,765**	,474**
	Sig. (bilateral)	,034	,000	,002
	N	39	39	39
PROB Racha 2	Correlación de Pearson	,219	,547**	-,290
	Sig. (bilateral)	,180	,000	,073
	N	39	39	39
PROB Racha 3	Correlación de Pearson	,387*	,708**	-,433**
	Sig. (bilateral)	,015	,000	,006
	N	39	39	39
PROB Racha 4	Correlación de Pearson	,224	,613**	-,301
	Sig. (bilateral)	,171	,000	,063
	N	39	39	39
PROB Racha 5	Correlación de Pearson	,327*	,805**	-,584**
	Sig. (bilateral)	,042	,000	,000
	N	39	39	39
PROB Racha 6	Correlación de Pearson	,364*	,726**	-,508**
	Sig. (bilateral)	,023	,000	,001
	N	39	39	39
PROB Racha 7	Correlación de Pearson	,131	,677**	-,596**
	Sig. (bilateral)	,447	,000	,000
	N	36	36	36
* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).				
** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).				

Bajo este umbral de 5 mm/día aparecen relaciones significativas débiles entre la longitud geográfica y las probabilidades empíricas de las rachas de 1, 3, 5 y 6 días. Los valores de correlación resultan inferiores, en esta variable con respecto a los del umbral previo. El factor latitudinal es el que adquiere una relevancia hegemónica para las probabilidades de ocurrencia de todos los tipos de rachas entre 1 y 7 días.

La altitud también toma un mayor protagonismo con respecto a las secuencias alternas de 3, 5, 6 y 7 días. Mantiene una relación estadística inversa con la probabilidad de ocurrencia de forma prácticamente generalizada exceptuando las particulares rachas de un solo día donde la relación se torna positiva.

Tabla 23. TRAMOS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EMPÍRICA PARA CADA TIPO DE RACHA, para el umbral de corte de 5 mm/día

Probabilidad	Rachas 2	Rachas 3	Rachas 4	Rachas 5	Rachas 6
MIN	0,189	0,035	0,011	0,0032	0,0013
MAX	0,243	0,100	0,052	0,037	0,0204



c) Umbral de 10 mm/día

Bajo el umbral de corte de los 10 mm/día se reduce el número de secuencias lluviosas (rachas de entre 1 y 6 días) en las que se encuentren correlaciones significativas estadísticamente.

Tabla 24. COEFICIENTES DE CORRELACION, SEGÚN PEARSON, PARA EL UMBRAL DE CORTE DE 10 mm/día, por probabilidades empíricas y localización geográfica

Probabilidad	Correlación	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
PROB Racha 1	Correlación de Pearson	-,307	-,760**	,448**
	Sig. (bilateral)	,057	,000	,004
	N	39	39	39
PROB Racha 2	Correlación de Pearson	,151	,591**	-,232
	Sig. (bilateral)	,360	,000	,154
	N	39	39	39
PROB Racha 3	Correlación de Pearson	,384*	,704**	-,432**
	Sig. (bilateral)	,016	,000	,006
	N	39	39	39
PROB Racha 4	Correlación de Pearson	,313	,793**	-,504**
	Sig. (bilateral)	,052	,000	,001
	N	39	39	39
PROB Racha 5	Correlación de Pearson	,426**	,748**	-,598**
	Sig. (bilateral)	,010	,000	,000
	N	36	36	36
PROB Racha 6	Correlación de Pearson	,175	,383*	-,308
	Sig. (bilateral)	,373	,044	,110
	N	28	28	28
* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).				
** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).				

Desde un punto de vista general, los resultados obtenidos refuerzan el protagonismo de la latitud que, incluso aumenta los valores de sus correlaciones con la probabilidad de las secuencias lluviosas de entre 1 y 5 días de duración.

En segundo lugar aparecen la altitud y la longitud como factores menores en la definición de la componente pluviométrica. Dentro de estas dos variables es la posición altitudinal la que mayor impacto tiene sobre la probabilidad de ocurrencia de los eventos lluviosos, especialmente con las rachas de 4 y 5 días de duración.

En menor medida aparece el factor longitudinal, siendo éste, esporádicamente significativo en las secuencias de 3 y 5 días.

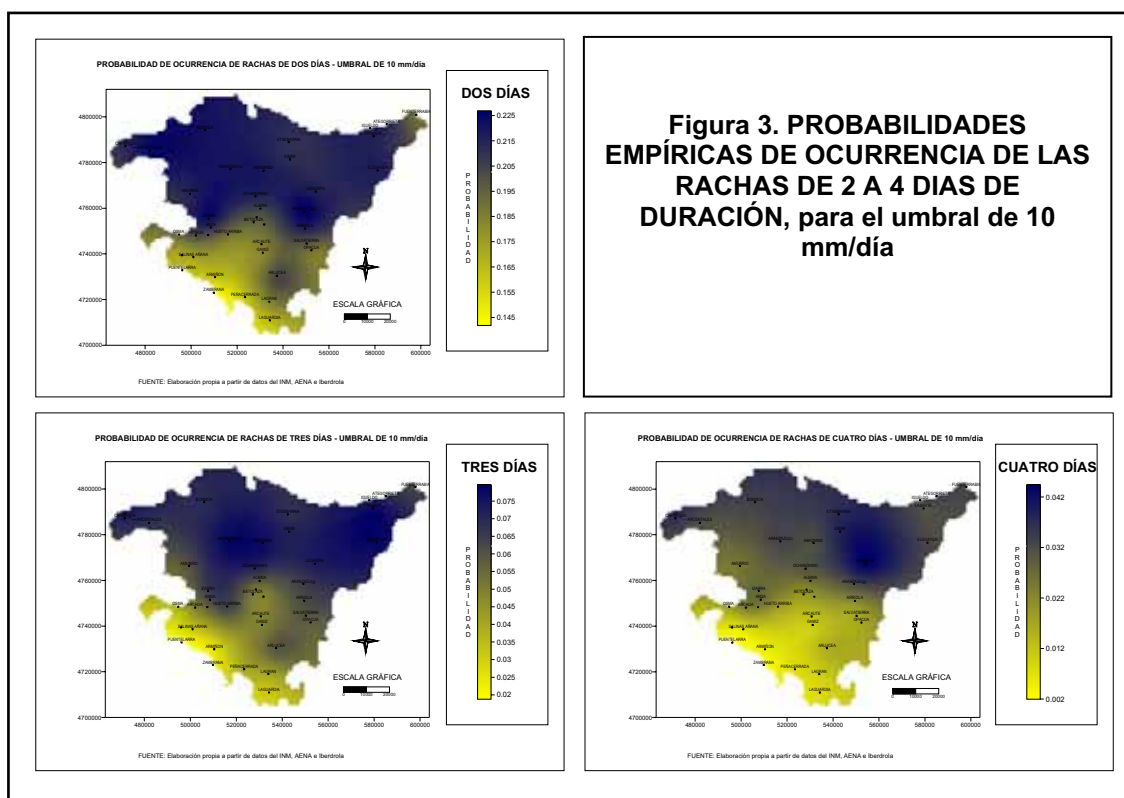
En definitiva, podemos concluir diciendo que el aumento de los umbrales de corte no es un factor limitante para el mantenimiento de relaciones estadísticas entre la probabilidad de ocurrencia de las rachas lluviosas y los factores de localización geográficos.

La latitud es una variable clave en la explicación de la probabilidad de ocurrencia de las secuencias lluviosas. La lectura de los resultados estadísticos muestra que, a mayor altitud, menor es la probabilidad de ocurrencia de las rachas de 3, 4 ó 5 días (**Tabla 24**). Esto puede ser atribuido en parte, a la existencia de un mayor número del total de rachas lluviosas, en especial, de aquellas de 1 solo día de duración.

La longitud resulta un factor importante respecto a la probabilidad de ocurrencia de las secuencias lluviosas de 3 y 5 días principalmente.

Tabla 25. TRAMOS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EMPÍRICA PARA CADA TIPO DE RACHA, para el umbral de corte de 10 mm/día

Probabilidad	Rachas 2	Rachas 3	Rachas 4
MIN	0,141	0,0187	0,0019
MAX	0,226	0,079	0,0444

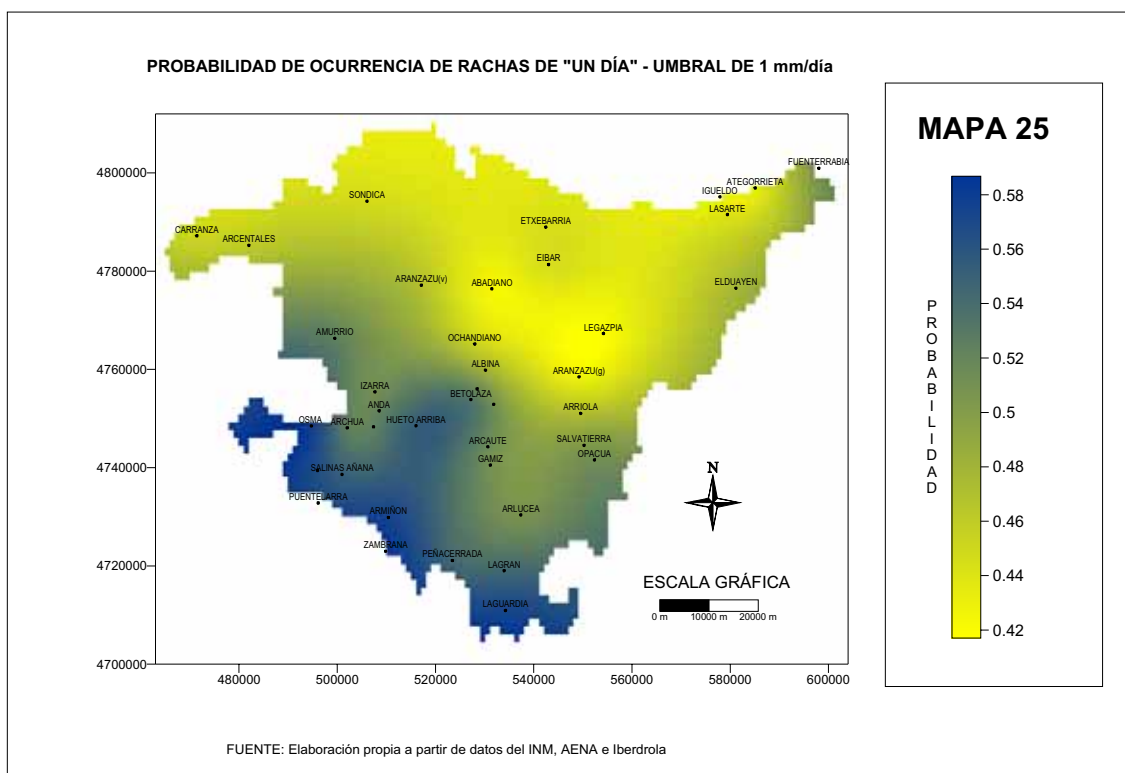


2.2. La singularidad de las rachas de un día

En el siguiente apartado se muestran las probabilidades empíricas de ocurrencia de cada una de las cinco categorías definidas anteriormente para el análisis de la estructura pluviométrica. Los resultados obtenidos se presentan, en esta ocasión, por medio de diferentes elaboraciones cartográficas, a modo de imágenes, pudiendo consultarse el conjunto de los datos numéricos en el punto de probabilidades empíricas del *Anexo Digital*.

a) Umbral de 1 mm/día

La probabilidad de ocurrencia de las *rachas muy cortas* (un solo día), como se acaba de comentar, resulta claramente mayor en la zona Suroeste de la comunidad vasca. Es posible observar, además, como hay una clara distribución de la probabilidad de ocurrencia entre las vertientes cantábricas y la cuenca del Ebro (**Mapa 25**).



Estaciones como Osma de Alava, Puentelarrá, Armiñón o Zambrana, ubicadas en la comarca de los Valles Alaveses, muestran una probabilidad empírica de ocurrencia de este tipo de rachas muy superior a la de la vertiente Norte.

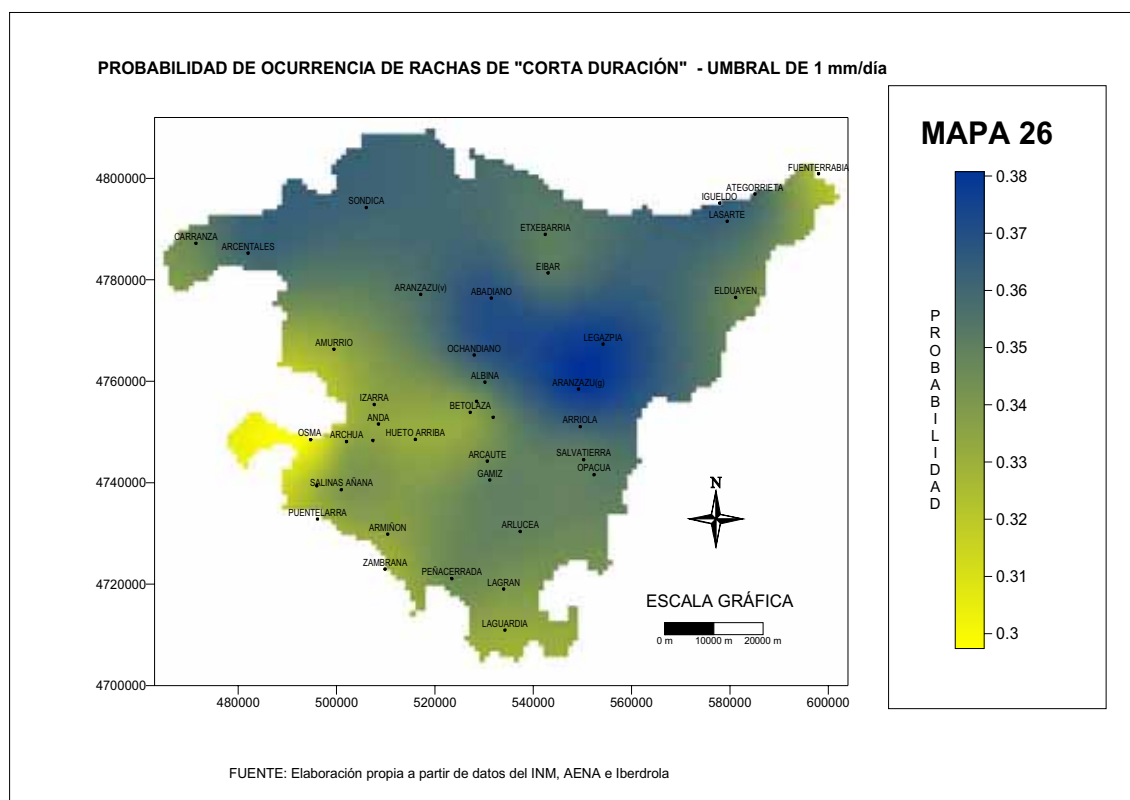
Los resultados obtenidos para la categoría de *las rachas cortas*, de 2 y 3 días, están caracterizados de forma general por su reducida variabilidad (**Mapa 26**). Esta debe ser una primera consideración que deberá estar presente en los análisis relativos a la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia. El hecho de que tan solo se hayan registrado centésimas de diferencia entre las probabilidades extremas es un claro ejemplo de ello. Bajo este contexto es posible señalar que las probabilidades más elevadas acontecen en dos zonas de la vertiente Norte.

Es posible afirmar que bajo el umbral de 1 mm/día la probabilidad de ocurrencia de las *secuencias cortas* no responde a un patrón de comportamiento espacial claro. El carácter discreto de sus valores en el espacio impide la predicción estadística de los mencionados eventos.

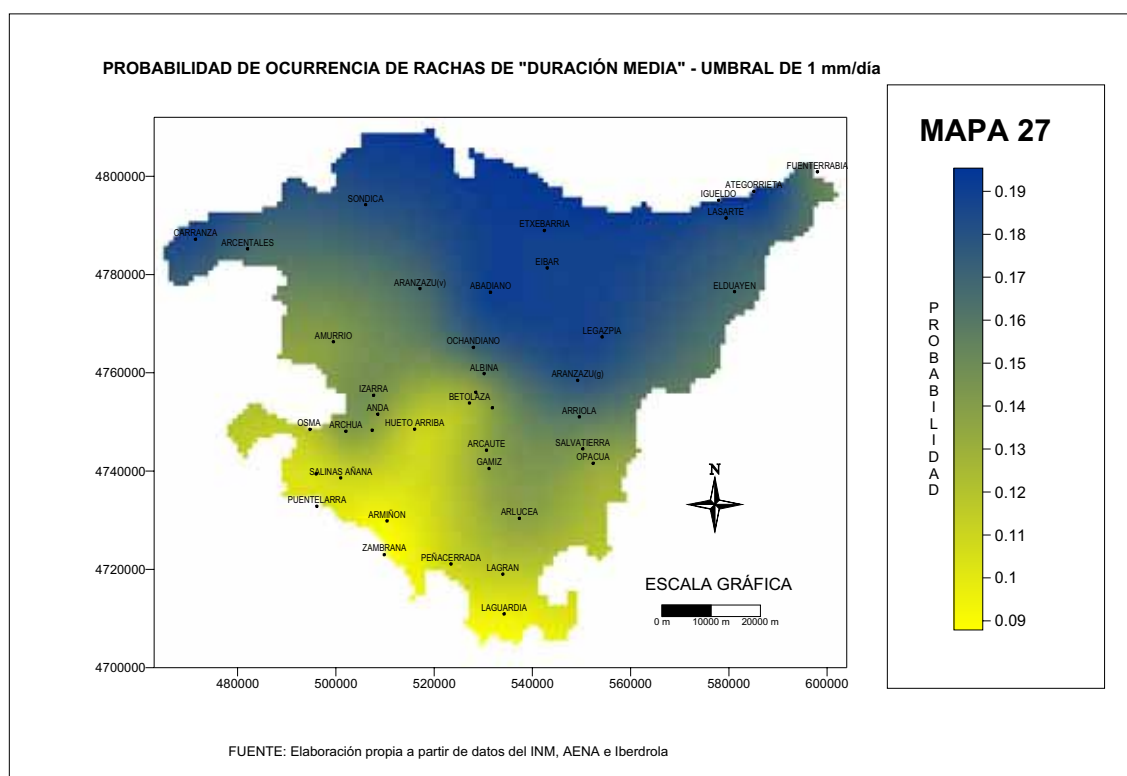
La primera de ellas comprende el territorio Centro-Este de la comunidad. En ella la probabilidad acumulada de ocurrencia de esta categoría es elevada en la zona de Legazpia y, principalmente en Aranzazu (g).

La segunda zona, con valores de probabilidad ligeramente inferiores, se extiende desde Ochandiano y Abadiano hacia el Noroeste integrando localidades como Sondica (0,37) y Arcentales (0,37).

Por el contrario, los valores de probabilidad más bajos le han correspondido al cuadrante Suroeste siendo Osma de Álava, Puentelarrá y Zambrana los lugares con menores probabilidades de ocurrencia.



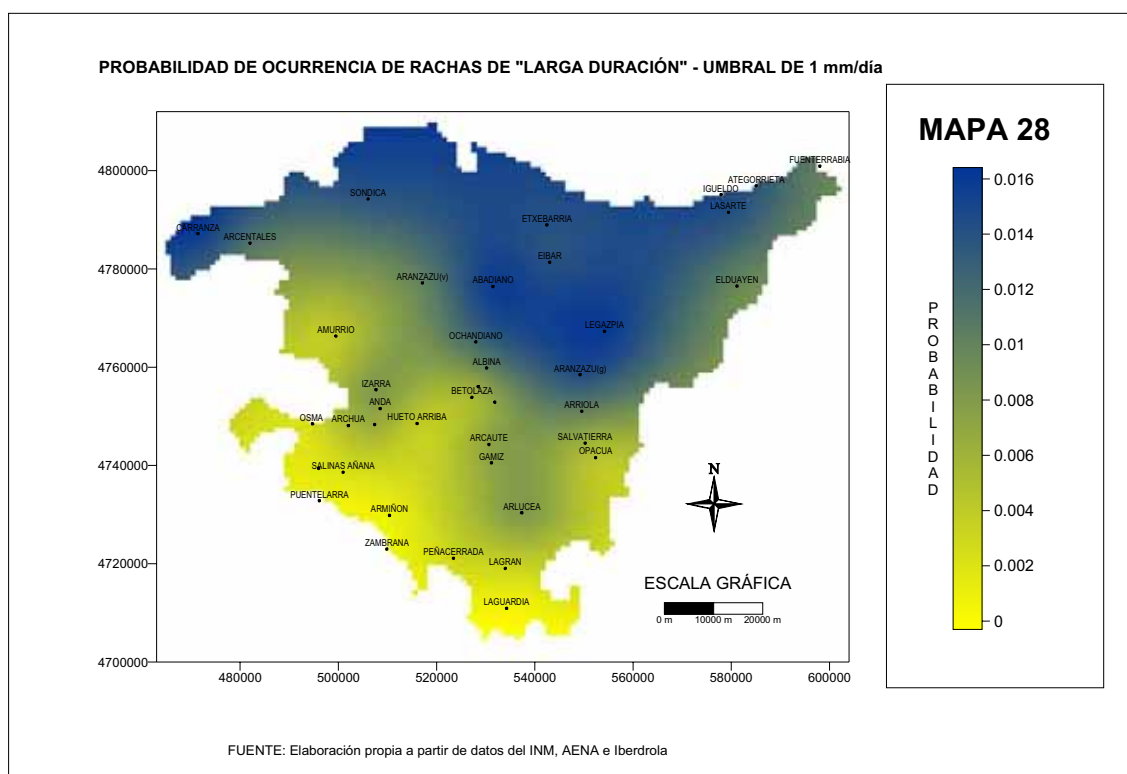
Cuando observamos las probabilidades resultantes con respecto a la categoría de las *rachas de longitud media* nos vemos obligados a recordar que en esta clase se integran las probabilidades de seis tipos diferentes de secuencias lluviosas (de 4 a 9 días). En esta ocasión resulta fácil apreciar una mayor concreción en cuanto a la definición de áreas. Se observa una clara división espacial de las probabilidades de la zona Norte con respecto al Sur de la comunidad (**Mapa 27**). Las mayores probabilidades de ocurrencia se registran en el Norte de la comunidad, principalmente en la franja costera, adquiriendo ese comportamiento genérico un especial matiz de suavizado hacia la zona de Fuenterrabía.



En la vertiente Sur es posible indicar el mantenimiento de la variedad probabilística propia de los Valles Alaveses junto a la progresiva reducción

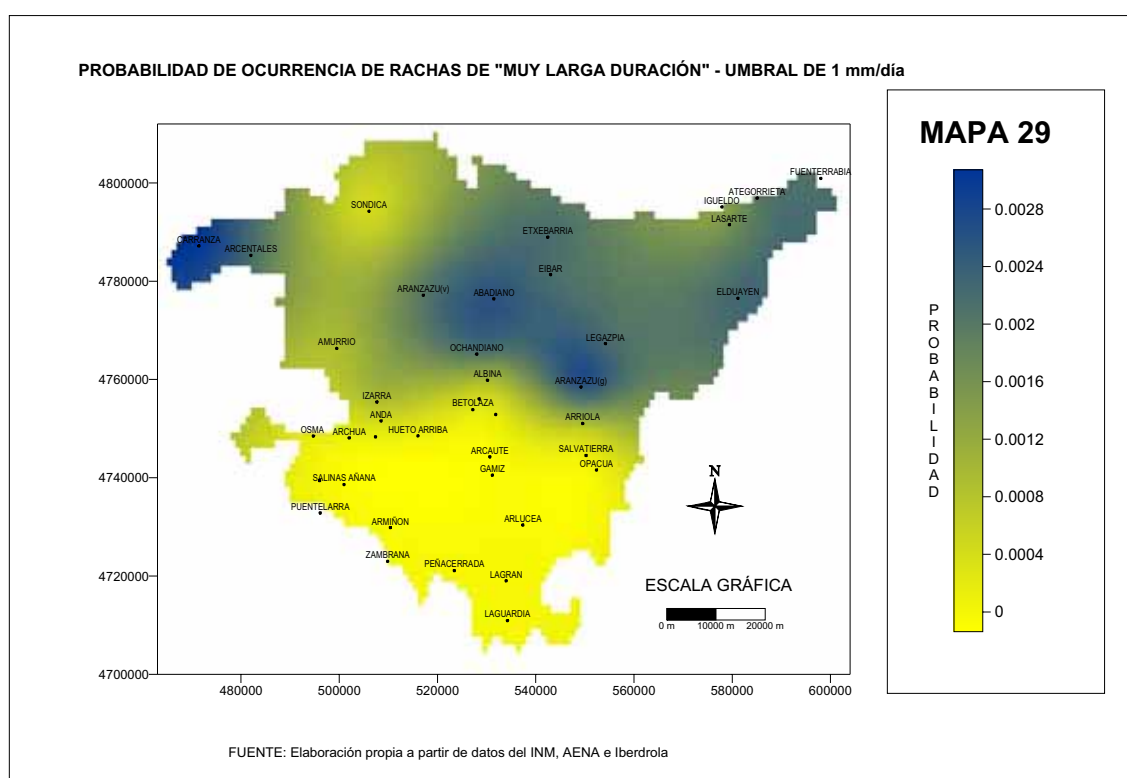
de los valores conforme nos aproximamos a la zona de Zambrana y a la Rioja Alavesa, ámbitos en los que se registran las probabilidades más bajas.

Cuando analizamos los resultados obtenidos para la categoría 4 nos estamos refiriendo a la presencia empírica que tienen en el territorio vasco las *secuencias de larga duración* (de 10 a 15 días). Conforme se alargan las secuencias lluviosas aparecen en las cartografías un mayor número de “ojos de buey”, mostrando con ello la singularidad espacial de este tipo de eventos (**Mapa 28**). Por ejemplo, quedan claramente marcados los valores de probabilidad más elevados registrados por las estaciones de Abadiano, Carranza y Legazpia. En torno a ellos se articula toda una zona en donde la probabilidad relativa de ocurrencia de una racha de esta categoría es relativamente muy alta.



En el otro extremo aparecen dos estaciones, Armiñón y Laguardia, en las que no se detectó ningún tipo de secuencia propia de esta categoría por lo que, la probabilidad empírica de ocurrencia en estas zonas es nula.

Finalmente, atendemos al mapa de probabilidades empíricas de ocurrencia de la categoría 5 (rachas de 16 o más días). En este caso los valores de probabilidad son nulos en 22 de las estaciones estudiadas, concentrándose esos valores de nulidad en toda la vertiente Sur del territorio (**Mapa 29**).

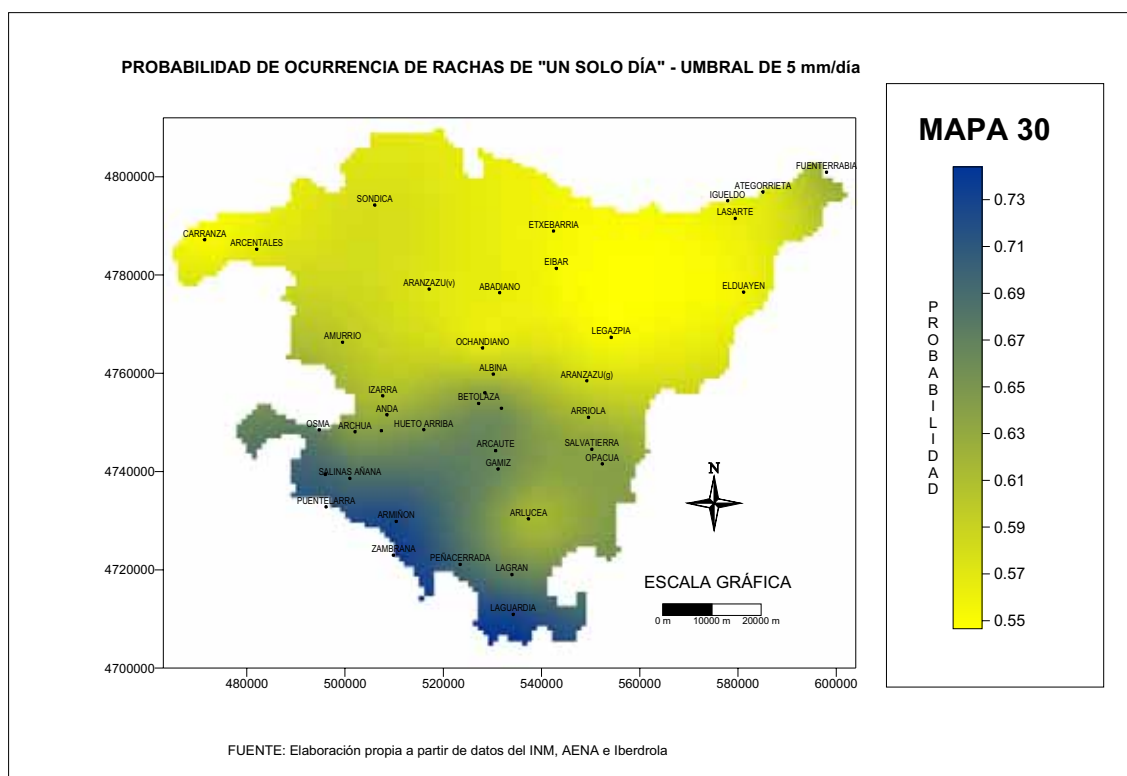


Las probabilidades de ocurrencia más elevadas para esta categoría aparecen en la estación de Aranzazu (g), en el extremo más occidental del País Vasco (Carranza) y en la zona de Abadiano. También en la parte Noreste las probabilidades de ocurrencia de este tipo de secuencias adquieren cierta relevancia como sucede en Elduayen.

b) Umbral de 5 mm/día

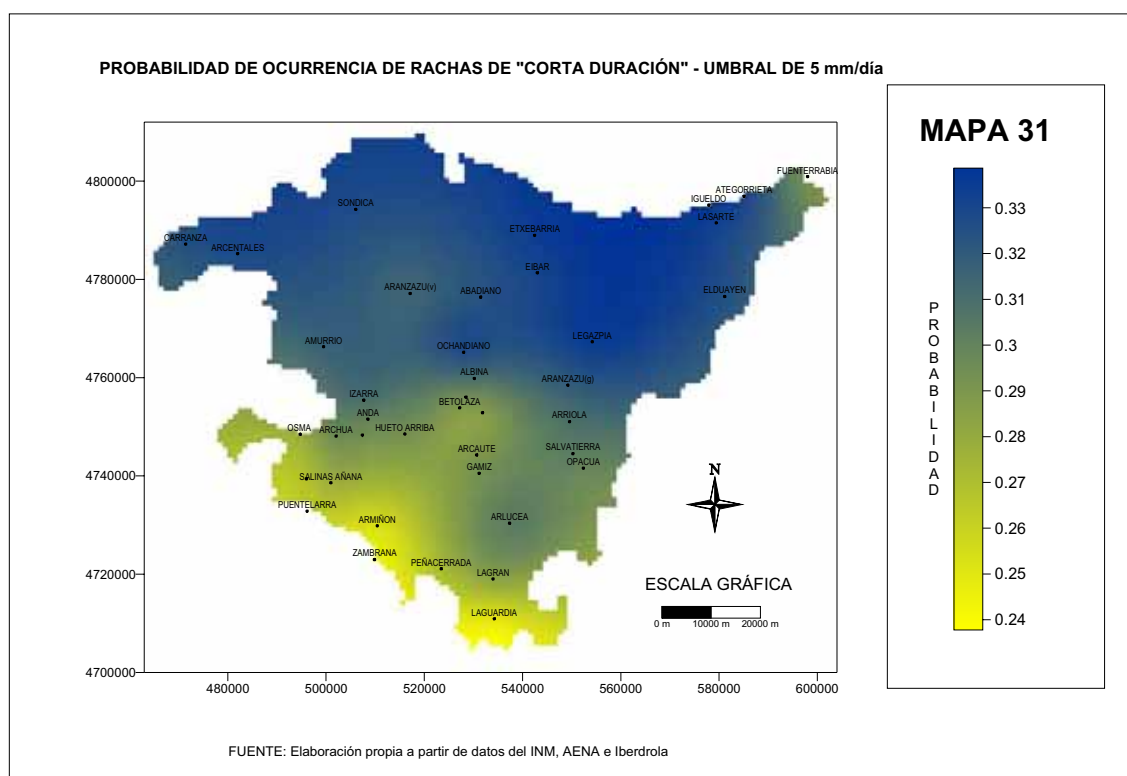
Las probabilidades de ocurrencia de las rachas lluviosas de un solo día resultan ser mayores en el Suroeste del territorio (Zambrana y Armiñón) (**Mapa 30**). Tal y como sucedía en el umbral anterior, continúa siendo muy probable la ocurrencia de una racha de un solo día en la comarca de los Valles Alaveses (Puentelarrá y Espejo) y en la de la Rioja Alavesa.

Esta probabilidad va perdiendo vigor de forma paulatina según nos adentramos en la comarca natural de la Llanada Alavesa y, más aún, en su aproximación hacia la zona de Urrunaga, adquiriendo valores claramente inferiores en la vertiente Norte de la comunidad. Los valores mínimos de probabilidad se alcanzan en los observatorios de Carranza, Ategorrieta o Elduayen.



La probabilidad de ocurrencia de las *rachas cortas* resulta elevada para la mayor parte del territorio analizado. La menor probabilidad de ocurrencia se registra en el cuadrante Suroeste (**Mapa 31**).

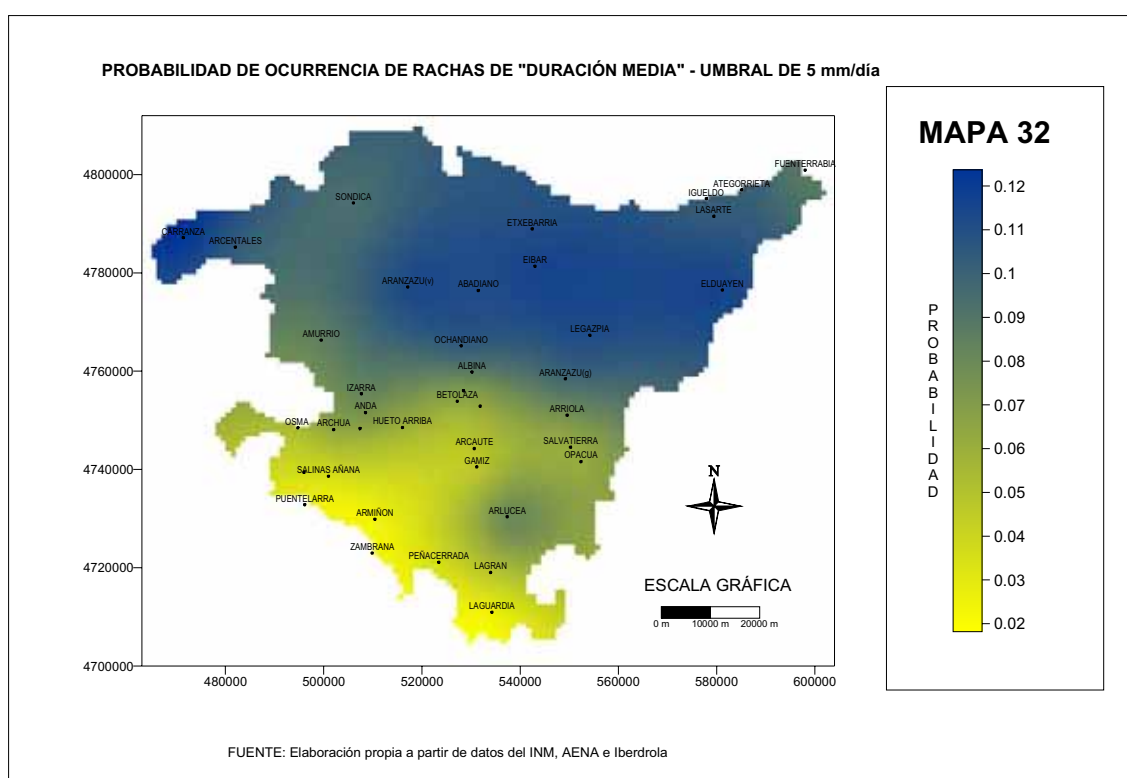
Como ya se ha mencionado en repetidas ocasiones las rachas que agrupan la segunda categoría duran 2 o 3 días. Sin embargo, a pesar de su longitud, ya resultan lo suficientemente generosas como para responder, en cuanto a su origen, a otro tipo de fundamentos físicos alejados de los eventos puntuales o tormentas de baja intensidad exclusivas del epígrafe anterior.



La mayor probabilidad empírica de ocurrencia de las *rachas de duración media* (de 4 a 9 días) se corresponde claramente con la localidad de Carranza (0,129), seguida de cerca por el triángulo formado por las

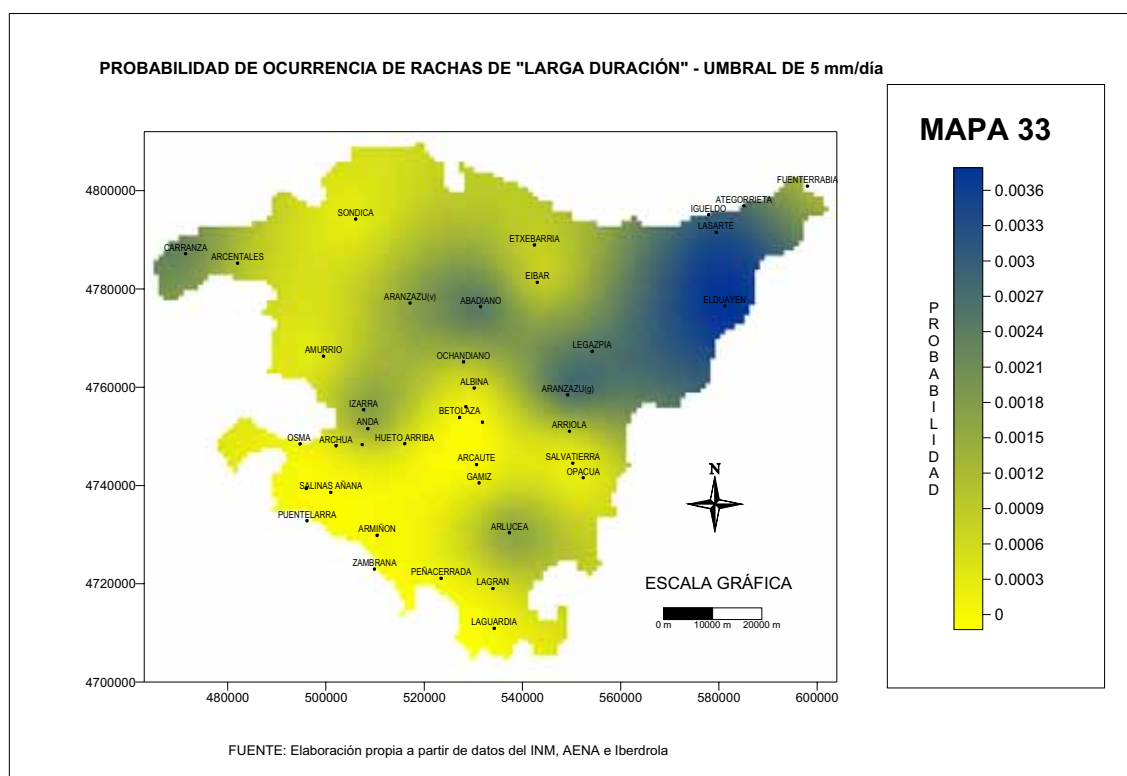
localidades de Elduayen (0,119), Eibar (0,11) y Aranzazu (v) (0,118) (**Mapa 32**).

En la vertiente Sur del territorio destaca, en términos relativos, la comarca natural de la Montaña Alavesa, en donde el valor la probabilidad desciende progresivamente según nos desplazamos hacia la Llanada Alavesa y el valle del Ebro. Este hecho se acrecienta, aún más, una vez es atravesada la Sierra de Cantabria hacia la comarca natural de la Rioja Alavesa.



Las probabilidades de las *secuencias largas* (entre 10 y 15 días) muestran un claro retroceso (**Mapa 33**). Este hecho resulta más comprensible cuando se considera que hay un total de 23 estaciones en las que no se ha registrado ninguna secuencia lluviosa adscrita a esta categoría. Las mayores

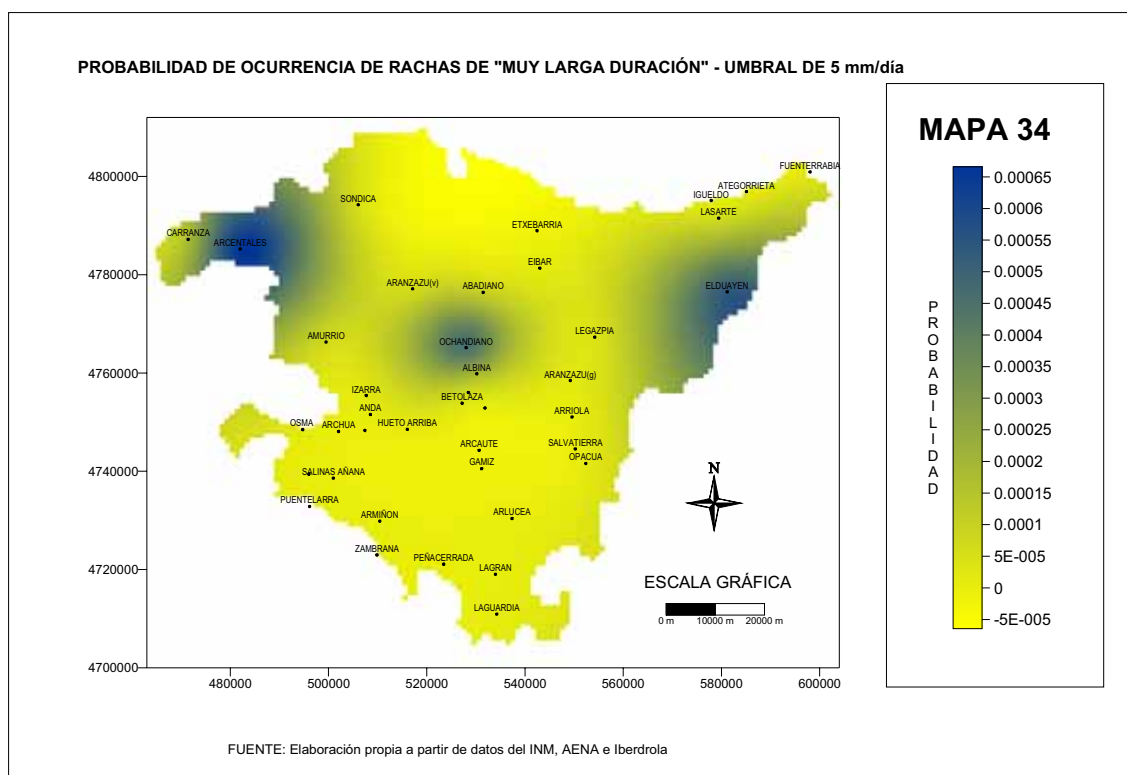
probabilidades de ocurrencia de este tipo de rachas se concentran ahora en el cuadrante Nordeste de la comunidad autónoma.



De acuerdo a la idea teórica de persistencia, *las rachas largas* (con 16 o más días) se han registrado en aquellos lugares donde la probabilidad de ocurrencia de las *rachas de media longitud* fueron más elevadas tal y como sucede en la zona mencionada con la estación de Elduayen (0,004), Aranzazu (g) (0,004) y Lasarte (0,0036), en el Territorio Histórico de Guipúzcoa.

Un segundo punto de interés se corresponde con ciertos lugares aislados en los que la presencia de alguna *secuencia larga* posibilita que la probabilidad empírica de ocurrencia sea también relativamente elevada. Este es el caso de Abadiano (0,0034), en el entorno de la estación de Anda (0,0028), en la zona de Arlucea (0,0027) y en la zona de Carranza (0,0025).

El comportamiento probabilístico de las *rachas muy largas*, (**Mapa 34**), se concentra claramente en tres zonas de la comunidad. La primera de ellas, al Oeste, se corresponde con Arcenales, estación que presenta la mayor probabilidad de ocurrencia (0,00095) de este tipo de eventos extraordinarios. Las otras dos áreas se localizan en las estaciones de Ochandiano (0,00091), en la zona central de la comunidad, y, finalmente, en el observatorio de Elduayen (0,00068) al Noreste de la misma.

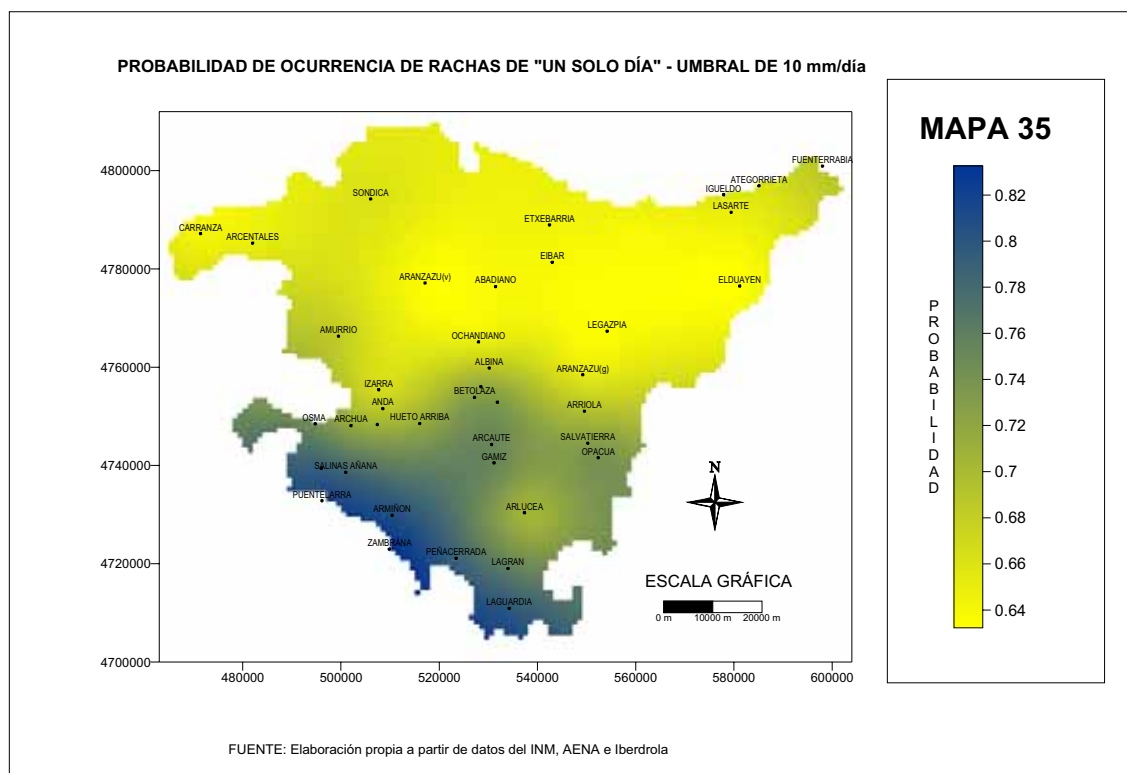


c) Umbral de 10 mm/día

El patrón propio de los umbrales anteriores se repite nuevamente con el de 10 mm/día para las *rachas de un solo día* de duración (**Mapa 35**). A partir del análisis de los datos empíricos, se confirma el hecho del incremento

paulatino de la probabilidad de ocurrencia conforme descendemos en latitud y, según nos dirigimos hacia el Oeste de la comunidad. La única excepción parece ser la comarca natural de la Montaña Alavesa (Arlucea), donde se da un descenso de los valores en la probabilidad de ocurrencia.

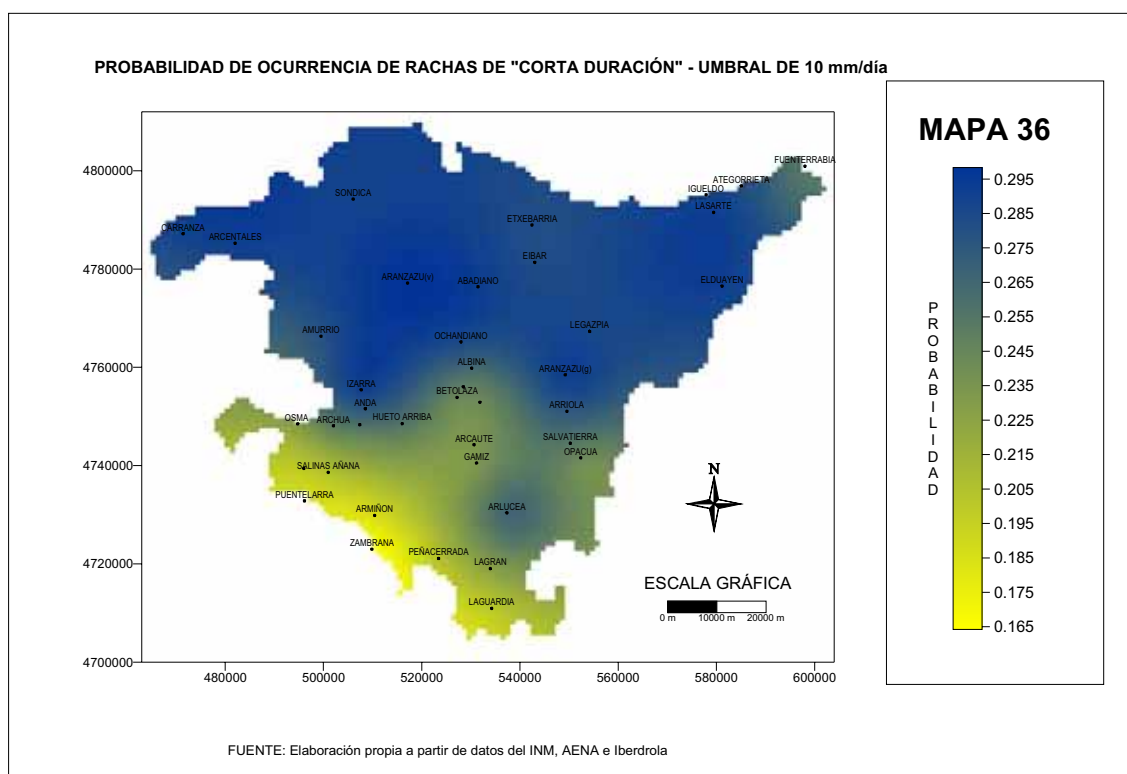
De este modo, el corredor paralelo al Valle del Ebro toma los valores de probabilidad más elevados, registrándose también valores relativamente altos en prácticamente toda la Llanada Alavesa sobre todo, en la zona de Arcaute, Betolaza, Salvatierra y Opacua.



Así, por ejemplo, la estación de Fuenterrabía mantiene una probabilidad de ocurrencia de un 0,69; en Eibar es de un 0,64; en Abadiano de un 0,65; 0,73 es la de Urrunaga; Salinas de Añana un 0,79 y Zambrana registra la máxima probabilidad empírica de ocurrencia con un 0,85.

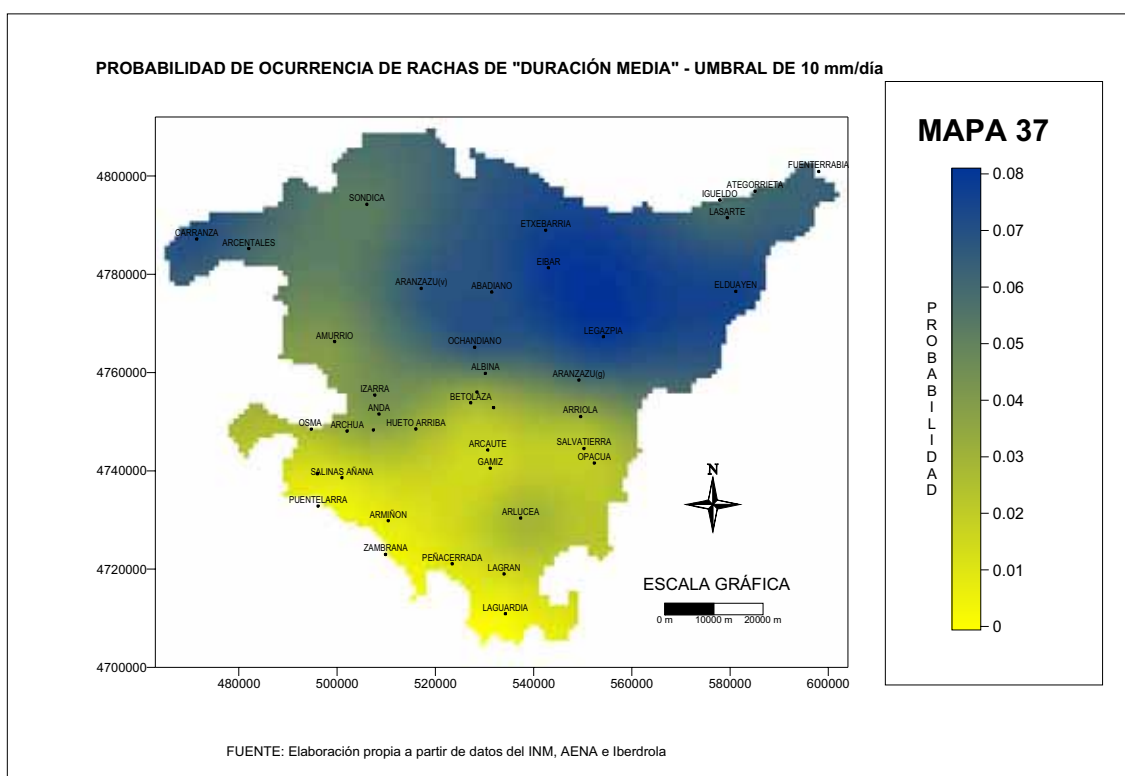
El **mapa 36** muestra las probabilidades de ocurrencia de las *secuencias cortas* (2 y 3 días) bajo este nuevo umbral. Los colores aparecen invertidos respecto a los del mapa anterior al disponerse los valores de probabilidad inferiores en la zona Sur de la comunidad autónoma y, al mismo tiempo, adquirir toda la vertiente Norte y el área de Arlucea valores de probabilidad de ocurrencia más elevados.

La principal excepción con respecto a esta circunstancia será el extremo Nordeste donde, el observatorio de Fuenterrabía recoge valores inferiores de probabilidad (0,243) con respecto a la generalidad del ámbito cantábrico. Vuelve a mostrarse con este hecho la particularidad de esta estación debida, en gran media, a su peculiar emplazamiento geográfico.



Las probabilidades de las *rachas de duración media* (entre 4 y 9 días) muestran una progresiva disminución de su valor (**Mapa 37**). De este modo, la zona occidental de la vertiente atlántica, exceptuando Carranza, pierde representatividad con respecto a la oriental.

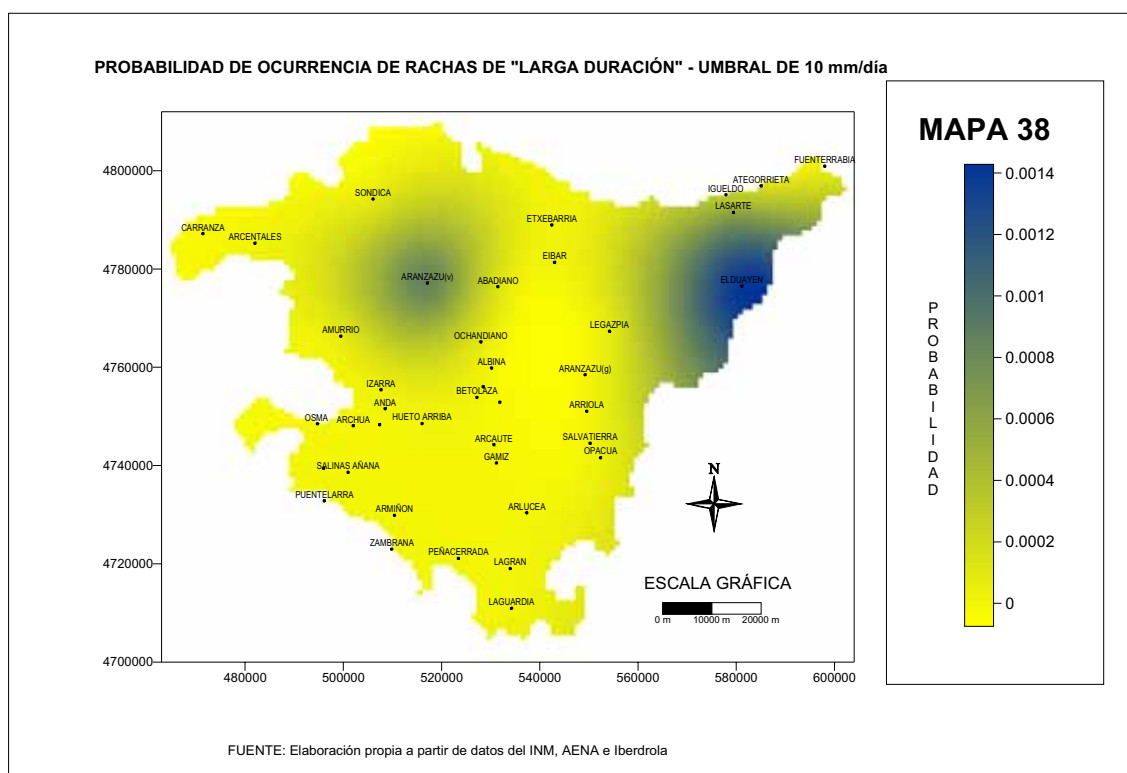
A las estaciones de Sondica y Amurrio les corresponden estimaciones teóricas de probabilidad inferiores a las de otras estaciones de la vertiente Norte. También sufren pérdidas relativas en los valores las zonas de Arlucea y los espacios cercanos a las estaciones de Izarra, Anda Archua y Salvatierra en la parte intermedia de Álava.



En la representación de la probabilidad empírica de las *rachas de secuencia larga* (**Mapa 38**) se alcanza la máxima simplificación del fenómeno al existir

únicamente tres observatorios en los que ha registrado este tipo de secuencia (de 10 a 15 días).

La zona de Elduayen muestra la probabilidad más elevada (0,0017), seguida de la estación de Aranzazu (v), con una probabilidad de 0,0012, siendo Lasarte la que registra el valor mínimo (0,0009).



Recordamos que en este umbral no se ha registrado ninguna secuencia lluviosa superior a los quince días de duración por lo que no ha sido posible representar el mapa de las *secuencias muy largas* correspondiente.

3. LAS TRANSICIONES LLUVIOSAS: CONCEPTO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Definiendo una transición lluviosa

El paso previo al desarrollo de los modelos markovianos ha sido el análisis directo de la realidad empírica, ya no a partir del número de rachas sino por el contenido de las mismas. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el presente apartado se orienta a la presentación de las bases conceptuales y metodológicas del análisis de los “enlaces” o “transiciones” que forman la estructura interna de las secuencias lluviosas.

Consideremos que la cadena 1-1-1-1-1-1 representa una secuencia lluviosa de 6 días seguidos por encima de un umbral de lluvia determinado. El número de transiciones o enlaces contenidos en la mencionada racha será de:

- Cinco enlaces del tipo (1-1)
- Cuatro enlaces del tipo (1-1-1)
- Tres enlaces del tipo (1-1-1-1)
- Dos enlaces del tipo (1-1-1-1-1)
- Un enlace del tipo (1-1-1-1-1-1)

El cómputo de este tipo de enlaces se ha determinado a partir del número de rachas identificadas sabiendo, en este caso, que a una racha de n días siempre le corresponden:

- $n - 1$ enlaces o transiciones lluviosas del tipo 1-1
- $n - 2$ enlaces o transiciones lluviosas del tipo 1-1-1
- ...

Continuando con el ejemplo, podemos decir que a las 68 rachas lluviosas de 5 días (1-1-1-1-1) en Carranza le corresponden:

- $68 * (5 - 1) = 272$ enlaces o transiciones lluviosas del tipo 1-1
- $68 * (5 - 2) = 204$ enlaces del tipo 1-1-1
- $68 * (5 - 3) = 136$ enlaces del tipo 1-1-1-1
- $68 * (5 - 4) = 68$ enlaces del tipo 1-1-1-1-1

De este modo, para poder conocer el número total de enlaces de un tipo determinado, deberemos considerar todas las diferentes clases de rachas en las que aparezca ese enlace concreto.

Además de contabilizar las transiciones existentes entre días lluviosos, será también necesario identificar y contabilizar otro tipo de transiciones como las que se producen entre días lluviosos y secos, tal como se muestra a continuación a modo de ejemplo.

1-0	1-1-0	1-1-1-0 ...
0-1	0-1-1	0-1-1-1 ...

La razón por la que se plantea identificar y contabilizar este tipo de transiciones es porque ello nos va a permitir calcular la probabilidad empírica de que un día resulte seca o lluviosa, condicionando siempre esa probabilidad a una secuencia de transiciones determinada. Por ejemplo, mediante el cálculo del cociente entre el número de frecuencias absolutas de un tipo de enlace concreto como el que representa tres días lluviosos y uno seco (1-1-1-0), y la frecuencia absoluta de los enlaces que representan únicamente tres días lluviosos (1-1-1), podemos conocer la probabilidad empírica de que después de tres días de lluvia tengamos un día seco. A partir de ella es posible estimar su probabilidad complementaria, es decir, la probabilidad de que después de tres días lluviosos tengamos un cuarto día de lluvia y así sucesivamente con las diferentes tipologías de enlaces.

Es necesario insistir en la necesidad de no confundir el número de enlaces o transiciones lluviosas con el número de secuencias o rachas. Asimismo, se debe señalar el hecho de que la probabilidad empírica de que un día cualquiera sea lluvioso no dependerá de ningún computo de enlaces, sino que vendrá definida sencillamente por la razón entre los días lluviosos y el total de registros (nº de días lluviosos / total de días) y la de que un día sea seco será consecuencia del mismo cálculo aplicado a los días secos (nº de días secos / total de días) de nuestra serie de datos.

3.2. El cálculo de las probabilidades de las transiciones

La probabilidad de que después de un día seco tengamos un día lluvioso vendrá calculada mediante el cociente del número de enlaces del tipo (0-1) y el número de días secos:

$$p(0-1) = \frac{\text{Número de enlaces (0-1)}}{(0)}$$

Del mismo modo la probabilidad empírica de que después de un día lluvioso venga otro también lluvioso se desprende de la relación entre el número de enlaces del tipo (1-1) y el número de días de lluvia:

$$p(1-1) = \frac{\text{Número de enlaces (1-1)}}{(1)}$$

Aquellos días lluviosos que no hayan sido seguidos de otra jornada lluviosa lo habrán sido de un día seco siendo la probabilidad de ocurrencia de este hecho la complementaria de la anterior:

$$p(1-0) = 1 - p(1-1)$$

El cálculo directo de esta probabilidad consideraría el número de transiciones del tipo (1-0) y las dividiría entre el total de días de lluvia bajo ese umbral:

$$p(1-0) = \frac{\text{Número de enlaces (1-0)}}{(1)}$$

De este modo, resulta posible ir aplicando los cálculos de las probabilidades a diferentes transiciones como la probabilidad empírica de que tras un día seco y otro lluvioso tenga lugar otro día lluvioso:

$$p(0-1-1) = \frac{\text{Número de enlaces (0-1-1)}}{\text{Número de enlaces (0-1)}}$$

Que tras dos días de lluvia se dé otro día lluvioso:

$$p(1-1-1) = \frac{\text{Número de enlaces (1-1-1)}}{\text{Número de enlaces (1-1)}}$$

O, simplemente, tengamos un día seco tras los dos días de lluvia:

$$p(1-1-0) = \frac{\text{Número de enlaces (1-1-0)}}{\text{Número de enlaces (1-1)}}$$

$$p(1-1-0) = 1 - p(1-1-1)$$

Si observamos detenidamente los pasos dados hasta ahora nos daremos cuenta que estamos condicionando la probabilidad de ocurrencia de un día sea seco o lluvioso a lo que pasó el día previo, o los dos, tres, cuatro... días previos.

Los diferentes tipos de enlaces lluviosos han sido identificados y contabilizados para cada estación y los resultados se encuentran recogidos en el *Anexo Digital* correspondiente.

Como mencionaremos más adelante y ahora anticipamos, la aplicación de los modelos estocásticos de Markov de doble estado permite obtener unos valores que indican la probabilidad teórica de que una secuencia lluviosa dure "n" días.

El número de veces que acontecen los distintos tipos de enlaces (1-0), (1-1), (1-1-1), (0-1-1), (1-1-0), (0-1-1-0)... constituyen la materia prima básica que permitirá posteriormente el cálculo de las probabilidades markovianas.

Sin embargo, parte de esta información, *las transiciones lluviosas*, resulta ya suficiente en sí misma como para poder determinar si un hecho es persistente o no, desde el punto de vista empírico.

El conteo de los diferentes tipos de enlaces lluviosos y el cálculo de las probabilidades empíricas de cada uno de ellos nos permiten tener un buen conocimiento acerca del carácter persistente de los eventos lluviosos.

En definitiva, la persistencia de la lluvia se encuentra definida empíricamente por el hecho de que, en una misma estación, la probabilidad de que se de un día de lluvia (1) sea inferior a la probabilidad de una transición lluviosa del tipo (1-1), y ambas inferiores a la probabilidad del enlace (1-1-1) y así sucesivamente.

Es decir, la existencia del fenómeno de la persistencia viene definida por el cumplimiento de la desigualdad $p(1-1) > p(1)$. Esta verificación empírica de la persistencia ha sido aplicada bajo los tres umbrales de corte y para un máximo de hasta diez transiciones lluviosas. A partir de los valores de probabilidad empíricos de cada tipo de transición lluviosa se han definido las *Curvas de Persistencia Empírica* propias de cada observatorio meteorológico bajo cada umbral de corte.

La interpretación de los resultados se presenta de la siguiente forma:

- Por un lado, se analizan los resultados de forma global indicando los factores comunes a todos los observatorios. Se comparan los comportamientos globales de la persistencia entre los tres umbrales de corte.
- Por otro, se muestran las conclusiones individualizadas por estación meteorológica, con las particularidades propias de cada observatorio para los tres umbrales de corte, facilitándose, de este modo, un análisis detallado de la evolución del hecho persistente.

4. LA PRECIPITACIÓN EN EL PAÍS VASCO: UN FENÓMENO PERSISTENTE

El marco general en el que se enmarca este análisis de la persistencia aparece ya definido por GÓMEZ NAVARRO (1996), cuando determina las probabilidades de ocurrencia de un solo enlace pluviométrico (1-1) en quince diferentes puntos de la Península Ibérica.

De acuerdo a sus resultados, el observatorio de Igueldo, posee el segundo valor más elevado (0,69) para la probabilidad de ocurrencia de una

transición lluviosa, siendo superado únicamente por el observatorio de La Coruña (0,71).

En el otro extremo se encuentra Almería donde, la probabilidad de que se registre un día lluvioso después de otro día lluvioso es de 0,39. Debemos de tener en cuenta que el umbral de corte aplicado en este estudio fue de 0,1 mm/día. A pesar de esta importante discrepancia, es posible señalar que la CAPV es un área en donde la persistencia de la precipitación es muy elevada respecto al resto del territorio peninsular.

En términos generales se cumple la regla de que la probabilidad empírica de que un día llueva es menor que la de que se produzca una transición lluviosa (1-1), y ambas resultan inferiores a la probabilidad de ocurrencia de dos transiciones lluviosas (1-1-1), y así sucesivamente. Expresado de otro modo, podemos decir que la probabilidad de que después de dos días de lluvia se registre un tercer día de lluvia es mayor que la probabilidad de que después de un día de lluvia se registre un segundo día lluvioso, y a su vez, ambas probabilidades empíricas son mayores que la probabilidad de que un día cualquiera sea lluvioso.

La verificación de esta premisa permite señalar la necesidad de aplicar órdenes markovianos superiores en el estudio (MARTÍN-VIDE y GÓMEZ NAVARRO, 1999), dada la dificultad que tienen las cadenas de Markov más bajas para ajustarse a las distribuciones empíricas.

Por el contrario, la probabilidad de un enlace seco en la zona de San Sebastián, es en esta ocasión, la más baja del conjunto peninsular.

Como ya hemos mencionado en el apartado metodológico, no debemos de confundir la probabilidad de un *enlace* lluvioso (1-1), con la probabilidad de que un día cualquiera sea lluvioso, ni con las probabilidades de los diferentes tipos de rachas o secuencias lluviosas.

Atendiendo a los resultados recogidos en la tabla de probabilidades de los enlaces (*Anexo Digital*), resulta fácil ver cómo la metodología propuesta muestra que la persistencia de la precipitación es un hecho importante, en mayor o menor medida, en todo el conjunto de estaciones analizadas.

Estos resultados se presentan a continuación en forma gráfica representando cada línea un observatorio. En las tres representaciones, las líneas comienzan con un brusco ascenso debido a que, el primero de los valores expresa la probabilidad de ocurrencia de que un día cualquiera sea lluvioso mientras, el segundo se refiere a la probabilidad empírica de que se produzca un enlace lluvioso (1-1). Este ascenso inicial se justifica en el hecho de estar comparándose una probabilidad no condicionada con otras que sí lo están con respecto a uno o varios días previos.

a) Umbral de 1 mm/día

Bajo este primer umbral, se ha constatado un suave y progresivo ascenso de la probabilidad de ocurrencia de los enlaces pluviométricos desde el primer día de lluvia en la totalidad de las estaciones meteorológicas (**Gráfico 44**). La persistencia del fenómeno es continua y se mantiene en el tiempo más o menos días, en función de la posición geográfica del observatorio en cuestión.

Las probabilidades de ocurrencia de las transiciones lluviosas toman valores comprendidos entre el 45% y el 70%. A partir de los seis enlaces lluviosos donde, siempre en términos generales, comienza a darse una mayor dispersión de los valores con una clara tendencia hacia porcentajes inferiores en un importante número de observatorios.

Se constata, en esta ocasión, un comportamiento generalizado de ligero y progresivo ascenso de las probabilidades de las transiciones lluviosas por

los observatorios de Abadiano, Aranzazu (v) y Arcentales dado que mantienen incrementos positivos en las probabilidades de las transiciones lluviosas hasta los nueve (los dos primeros) y los ocho enlaces. La precipitación en forma de lluvia es en esta ocasión un hecho altamente persistente.

Existe un segundo grupo de estaciones en la zona Norte con una persistencia elevada sin llegar al extremo mencionado. Este el caso de localidades como Eibar, Aranzazu (g), Carranza y, Urrunaga en la zona intermedia, que mantienen incrementos positivos continuos en la probabilidad de ocurrencia hasta las seis, o incluso, las siete transiciones lluviosas. Esto mismo acontece con dos observatorios ubicados en plena Llanada Alavesa tales como Arcaute y Gámiz con una persistencia elevada.

Un tercer nivel de persistencia de tipo medio se encuentra definido por dos agrupaciones. Por un lado aquellas estaciones como Fuenterrabía y Sondica en las que los incrementos de las probabilidades de las transiciones lluviosas se han mantenido positivos hasta las cinco transiciones lluviosas y un segundo grupo en donde, estos incrementos han alcanzado los valores positivos solo hasta las cuatro transiciones lluviosas. En este segundo grupo se encuentran observatorios como Elduayen, Igueldo, Legazpia, Ochandiano, Betolaza, Arriola, Espejo, Salinas de Añana, Arlucea, Armiñon, Zambrana, Peñacerrada y Lagrán.

A continuación, aparece bajo el umbral de 1 mm/día un grupo de observatorios en donde las probabilidades de los enlaces lluviosos experimentan valores positivos hasta las tres transiciones. Esta situación es propia de estaciones como las de Ategorrieta, Lasarte, Etxebarria, Amurrio, Osma, Sendadiano, Archua, Salvatierra o incluso Laguardia.

Merece una mención especial el hecho de que después de estas rupturas en la trayectoria ascendente de la probabilidad (rupturas de persistencia),

suelen repetirse un repunte relativo en el valor de la misma en la siguiente transición, o incluso, en las dos o tres transiciones posteriores tal y como sucede en las estaciones de Ategorrieta, Sondica, Lasarte o Etxebarria como ejemplo. Estos repuntes pueden estar asociados muchas veces a las colas de las distribuciones.

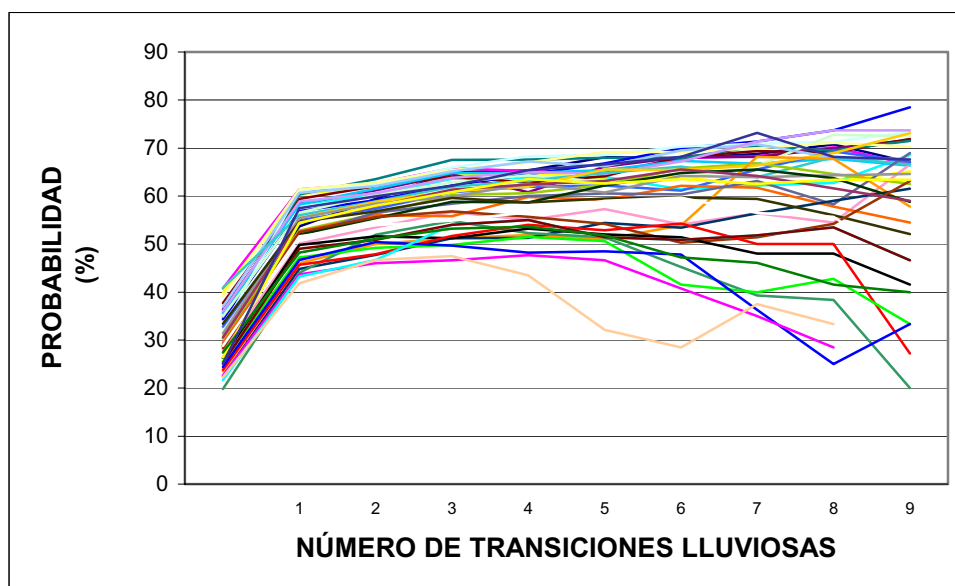


Gráfico 44. CURVAS DE PERSISTENCIA EMPÍRICA DE LA PRECIPITACIÓN, bajo el umbral de 1 mm/día

Finalmente, los niveles más bajos de persistencia bajo este umbral de análisis se encuentran en los observatorios de Ullibarri-Gamboa, Opacua y Puentelarrá al no poder prolongar sus incrementos positivos de probabilidad más allá de dos transiciones lluviosas.

b) Umbral de 5 mm/día

El análisis de la evolución de la probabilidad de las transiciones lluviosas bajo el umbral de 5 mm/día obliga a una primera reflexión cuando se observa que el límite superior de éstas se sitúa por debajo del 60% (**Gráfico 45**). Este hecho tiene carácter general para el conjunto de los observatorios

siendo aún, más restrictivo el mismo para las estaciones que se encuentran ubicadas en la vertiente Sur de la comunidad autónoma. Esta circunstancia refleja con claridad el impacto que el aumento del umbral de corte tiene sobre la propiedad de la persistencia.

Una vez centrados en este nuevo contexto, y atendiendo a los incrementos de las probabilidades de las transiciones lluviosas, podemos decir que el hecho persistente encuentra una barrera clara en las secuencias de 5 días lluviosos (cuatro transiciones) en la zona Norte y de 4 días (tres transiciones) en la vertiente Sur.

En esta ocasión han sido las estaciones de Izarra y Sendadiano las consideradas como ejemplo de persistencia al haber mantenido incrementos positivos en la probabilidad de ocurrencia hasta las cinco transiciones lluviosas.

En un segundo grupo, y también con una persistencia que se prolonga hasta las cuatro transiciones lluviosas, aparecen observatorios como Fuenterrabía, Ategorrieta, Igueldo, Lasarte, Etxebarria, Aranzazu (v), Ochandiano, Aranzazu (g), Anda, Hueto Arriba, Arcaute y Lagrán. Se observa un claro predominio en las localidades norteñas, si bien no es un hecho exclusivo de esta vertiente dado que también aparecen algunas estaciones propias de la zona intermedia de la comunidad e, incluso, de las latitudes más bajas. Todas estas localidades mantienen porcentajes de probabilidad crecientes hasta el quinto día de lluvia.

Sin lugar a duda, una de las categorías más representada es la formada por aquellos observatorios que han sido capaces de mantener incrementos positivos de la probabilidad de durante tres transiciones lluviosas como máximo. Aquí se encuentran Sondica, Carranza, Arcentales, Eibar, Elduayen, Abadiano, Legazpia, Amurrio, Albina, Betolaza, Ullibarri-Gamboa, Arriola, Osma, Archua, Opacua, Espejo, Arlucea y Peñacerrada.

El carácter persistente de las secuencias lluviosas decrece, una vez pasados los dos enlaces lluviosos, en las localidades de Salvatierra, Gámiz, Salinas de Añana y Zambrana. En esta ocasión todas ellas se corresponden con el ámbito de la Llanada Alavesa y su salida natural hacia Castilla y León.

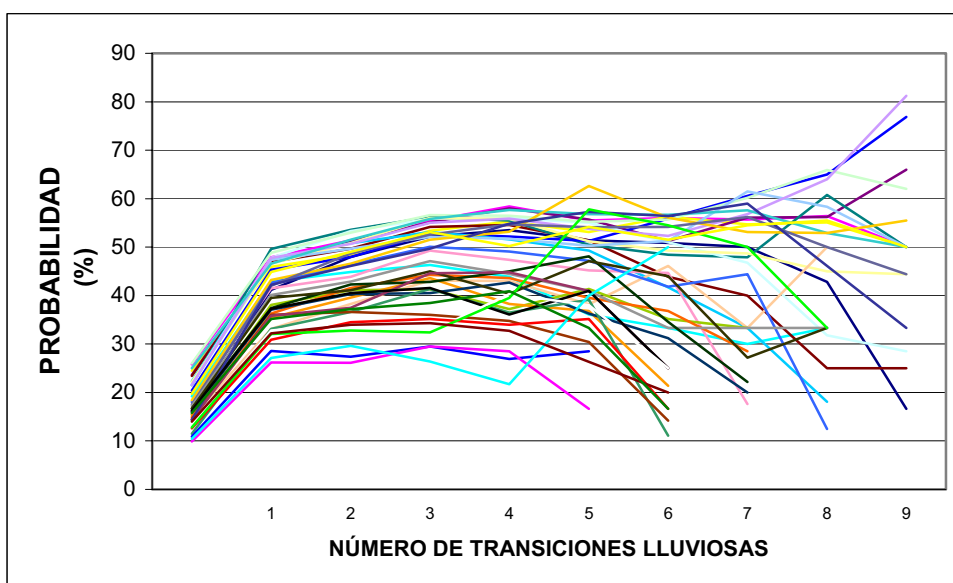


Gráfico 45. CURVAS DE PERSISTENCIA EMPÍRICA DE LA PRECIPITACIÓN, bajo el umbral de 5 mm/día

El resto de observatorios, es decir, Armiñón, Puentelarrá y Laguardia, representan los sectores en donde la precipitación en forma de lluvia se encuentra caracterizada por una baja persistencia bajo este umbral de corte, quedando reducida esta propiedad a un solo enlace lluvioso.

c) Umbral de 10 mm/día

La primera conclusión que se obtiene al observar el gráfico de las curvas de persistencia (**Gráfico 46**), es la cómo la uniformidad de las líneas de los gráficos anteriores es sustituida por un paisaje mucho más quebrado.

Desde un punto de vista general, el aumento del umbral de corte reduce la propiedad de la persistencia. Por un lado, hace que el límite superior de probabilidad empírica esté en torno a la línea del 50% y, por otro, contextualiza el análisis dentro de periodos temporales de no más de tres transiciones lluviosas.

Este comportamiento genérico será ampliado en algunos casos concretos hasta 4 transiciones en ciertos observatorios de la mitad Norte del territorio y reducido hasta los 2 transiciones para algunas estaciones de la mitad Sur.

Las localidades en donde la persistencia sigue siendo elevada bajo este umbral han sido cuatro: Lasarte, Aranzazu (v) Abadiano y Arlucea. Queda claro, en esta ocasión, que la distribución espacial de estas localidades no responde a ningún patrón concreto, por lo que el carácter persistente debe ser atribuido a otro tipo de factores locales, como la existencia de una zona montañosa en el caso de Arlucea, la cercanía al mar de Lasarte, o la ubicación correcta de las mismas con respecto a los canales de entrada de los frentes lluviosos (Abadiano y Aranzazu (v)) como puede verse en el modelo digital del territorio.

Con un grado medio de persistencia en sus eventos pluviométricos se encuentran Fuenterrabía, Ategorrieta, Igueldo, Sondica, Etxebarria, Carranza, Arcentales, Eibar, Elduayen, Legazpia, Amurrio, Ochandiano, Albina, Aranzazu (g), Urrunaga, Ullibarri-Gamboa, Anda, Osma, Sendadiano y Archua. En todas ellas el cuarto día lluvioso (tres transiciones) marca el corte a partir del cual comienzan descensos claros en las probabilidades de ocurrencia condicionadas a días pasados.

El tercer nivel de persistencia viene dado por los observatorios de Hueto Arriba, Opacua, Zambrana y Peñacerrada. Tan solo dos son las transiciones o enlaces lluviosos que alimentan la persistencia en este caso. Es decir, la

probabilidad empírica de que llueva un cuarto día (tres enlaces), después de haber llovido tres días previos, con el umbral de 10 mm/día resulta inferior a la probabilidad de que llueva un tercer día (dos enlaces), si los dos anteriores también llovieron. Es por ello por lo que la persistencia del fenómeno precipitación es considerada en esta ocasión relativamente baja.

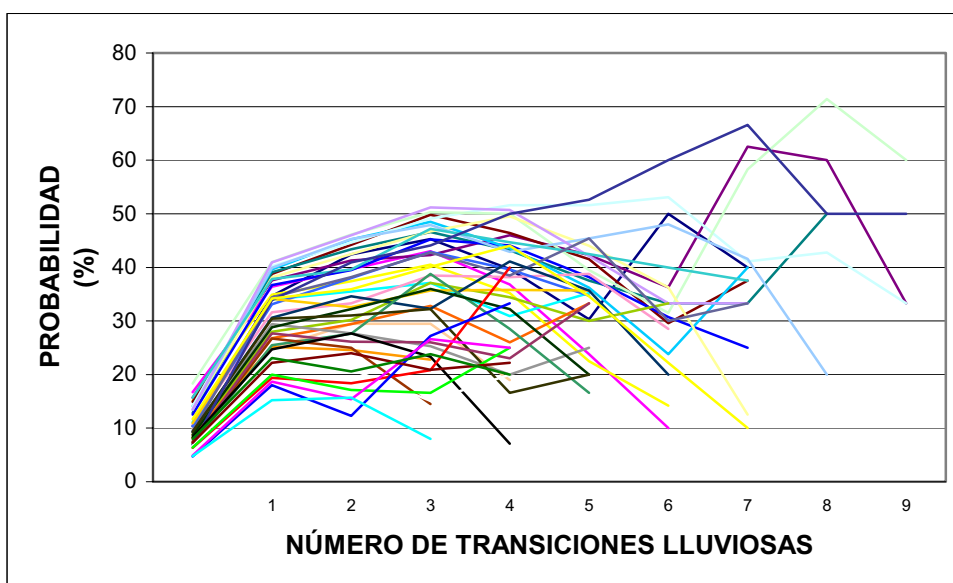


Gráfico 46. CURVAS DE PERSISTENCIA EMPÍRICA DE LA PRECIPITACIÓN, bajo el umbral de 10 mm/día

Finalmente se encuentran un conjunto de estaciones en donde la persistencia se encuentra definida básicamente por dos días consecutivos de lluvia. Forman parte de este grupo los observatorios de Izarra, Betolaza, Arriola, Salvatierra, Arcaute, Gámiz, Espejo, Salinas de Añana, Puentelarrá, Armiñón, Lagrán, Laguardia. Todos estos observatorios se encuentran repartidos por la parte Sur de la comunidad.