

Análisis cuantitativo preliminar de la cuenca hidrográfica del Río Grande (Málaga) mediante la utilización de sistemas de información geográfica

Preliminary quantitative analysis of the Grande river basin (Málaga) by GIS

A. Cobos Rodríguez ⁽²⁾, B. Andreo Navarro ⁽¹⁾ y M. J. Perles Roselló ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071 Málaga.

⁽²⁾ Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n. 29071 Málaga.

ABSTRACT

This paper shows a preliminary quantitative analysis of the hydrological basin of Grande river (Málaga) using a Geography Information System (GIS). The analysis takes into account a description of the natural conditions and mainly spatial and form variables which are used to characterize the stream network and fluvial morphometry. A critical analysis of the results obtained in this work demonstrates that floods of Grande River represent a natural hazard basin because of its physical characteristics (i.e. form, altitude, slope and stream network) and the lithologies (the permeable carbonate rocks outcrop only in the high part).

Key words: Grande River, Geography Information System, fluvial morphometry.

Geogaceta, 36 (2004), 135-138

ISSN:0213683X

Introducción

Los análisis morfométricos de tipo cuantitativo se iniciaron a mediados de s. XX con los trabajos de Horton (1945), al que siguieron otros autores como Strahler (1951), Shumm (1956), Scheidegger (1965) o Shreve (1966). Progresivamente, estos métodos cuantitativos de análisis, se han ido imponiendo a los estudios descriptivos, bastante subjetivos y difícilmente comparables, debido a los diferentes criterios y referencias de cada autor. Esta vía de análisis supone una mejora en la sistematización de la descripción y clasificación de cuencas de diferentes características y dimensiones, además de facilitar su comparación, aspectos éstos de gran interés en materia de ordenación del territorio, en el estudio de avenidas, en la cartografía de riesgos de inundación y riesgos asociados y, también, como estudios previos a la construcción de presas.

Estudios morfométricos de redes de drenaje han sido realizados en distintas áreas de España, por ejemplo: en cuencas de la vertiente cantábrica (Antigüedad y Cruz-Sanjulián, 1980; Cruz Sanjulián y Saenz de Echenique, 1980; Cruz Sanjulián y Tames, 1983) y en cuencas de la vertiente sur mediterránea (Carrasco, 1986; Senciales, 1999; López Bermúdez, *et al.* 1988, López Martínez y Durán, 1995).

En este trabajo se estudia la cuenca hidrográfica del Río Grande (Málaga),

tributario principal del Río Guadalhorce por la margen derecha (Fig.1). El Río Grande presenta una orientación E-O, su cuenca tiene una forma casi romboidal y en ella afloran distintas unidades geológicas de la Zona Interna de la Cordillera Bética (Martín Algarra, 1987). En cabecera abundan las rocas carbonatadas (dolomías, calizas y mármoles), de edad Triásico y Jurásico, pertenecientes a las unidades de Blanca, Nieves y Yunquera (de afinidad alpujarride), que constituyen los límites noroccidental y suroccidental de la cuenca (Fig. 1A). También existen varios afloramientos, en la parte occidental y suroriental, de metapelitas paleozoicas (gneises y esquistos) y rocas ultrabásicas (peridotitas) pertenecientes al Complejo Alpujarride. En el sector central, abundan las rocas metapelíticas alpujarrides y las pizarras paleozoicas y arcillas con areniscas triásicas del Complejo Málagaide y también aparecen algunas plataformas travertínicas de pequeña dimensión que ponen de manifiesto la existencia de antiguos niveles de descarga de agua procedente de los macizos carbonatados. La parte baja de la cuenca está constituida por arcillas del Flysch Numidoide, de edad Paleógeno-Neógeno, y margas del Plioceno Inferior.

El principal objetivo del presente trabajo es describir las características morfométricas y la red de drenaje de la cuenca del Río Grande, lo cual permitirá

próximamente compararla con otras cuencas y establecer correlaciones entre los parámetros morfométricos y el funcionamiento hidrológico y/o hidrogeológico de los materiales que las constituyen. Estos resultados preliminares son, igualmente, importantes de cara a las futuras investigaciones que se pretenden llevar a cabo, en ésta y otras cuencas mediterráneas, en materia de inundaciones y riesgos asociados a las mismas, de acuerdo con los Planes de Prevención de Inundaciones derivadas de la nueva Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. Además, el presente análisis cuantitativo preliminar, tiene un interés aplicado adicional dada la posible construcción de una futura presa en la parte central de esta cuenca.

Metodología

En este trabajo se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica (SIG) para facilitar la gestión de los datos de diferente tipo de un modo eficiente. Ello supone una reducción bastante importante en el tiempo que ocupa el tratamiento de la información.

La información que se ha ido introduciendo en la base de datos posee la ventaja de estar georreferenciada y, además, permite generar o derivar nueva información. En este caso, las capas de informa-

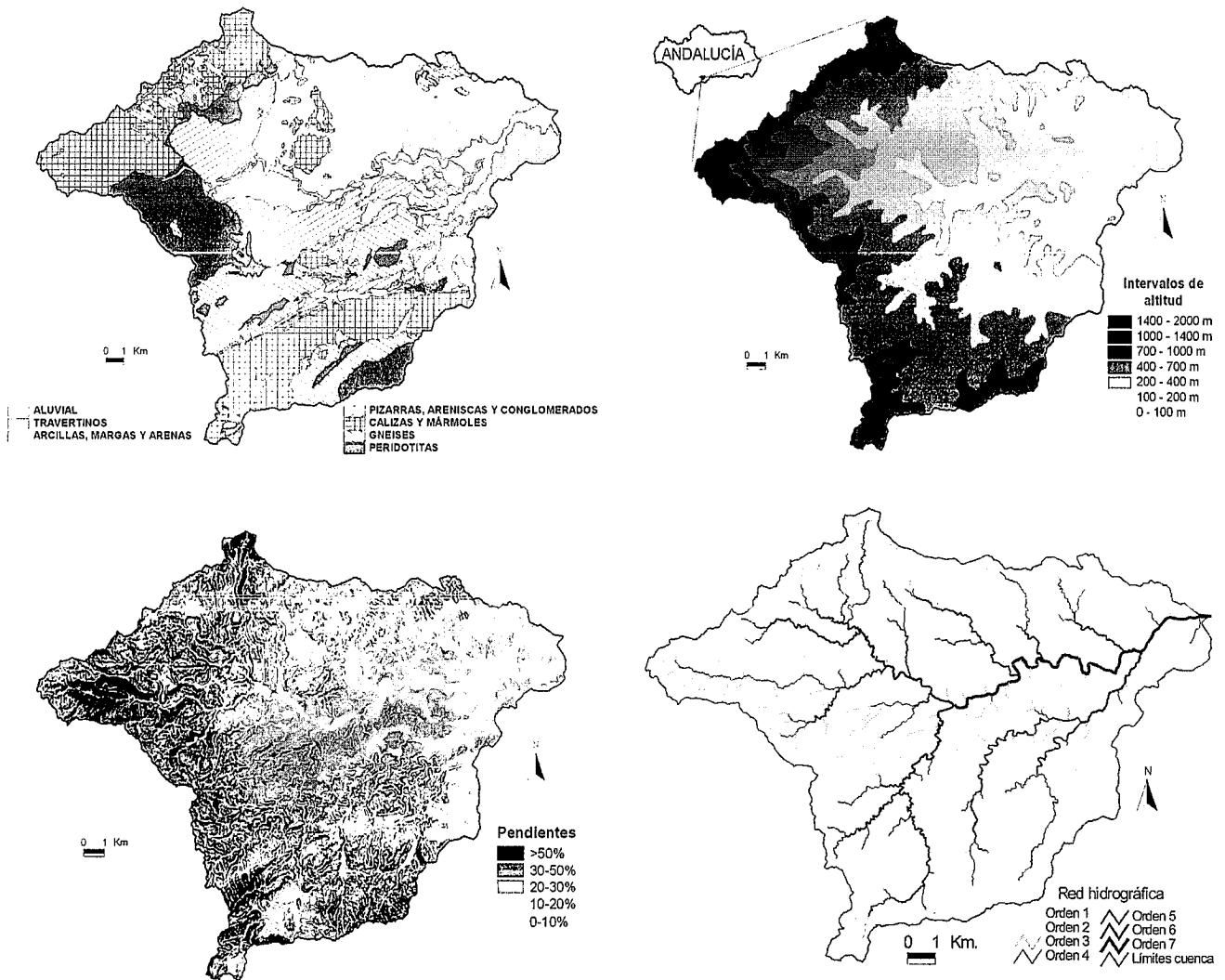


Fig. 1.- Localización y características de la Cuenca de Río Grande: a) Mapa litológico, b) Mapa hipsométrico, c) Mapa de pendientes y d) Red de drenaje

Fig. 1.- Location and characteristics of the Grande river hydrological basin: a) Lithological map, b) Altitude map, c) Slope map and d) Stream network map

ción de partida introducidas en el SIG han sido las siguientes (Fig. 1): topografía de la zona cartografiada a escala 1:20000 (de la cual se derivan pendiente y exposición de las diferentes laderas de la cuenca) y litología proporcionada por el IGME a 1:50000, pero simplificada y adaptada a la escala 1:20000, ambas en formato vectorial. También se han digitalizado e introducido en el SIG las capas de información correspondientes a los límites de la cuenca y a la red de drenaje. La información de base para la elaboración de la red de drenaje ha sido el mapa topográfico a escala 1:10000 y la fotografía aérea pancromática a escala 1:10000 del año 2001.

Con esta base de datos y mediante consultas temáticas y espaciales en el software Arcview 3.2, el primer paso ha sido la creación del Modelo Digital del Terreno en el software Arcinfo 8.2. A partir de este modelo de elevación se han obtenido los parámetros necesarios para la aplicación de los

métodos cuantitativos de análisis morfométrico y de la red de drenaje.

Para el análisis físico de la cuenca, se han seleccionado los parámetros más representativos de la misma a efectos de su comparación con otras o de la estimación de comportamientos hidrológicos. Los parámetros considerados han sido: la superficie, perímetro, forma (índice de compacidad de Gravelius, factor forma, coeficiente de elongación), distribución altitudinal (histograma de frecuencias altimétricas y la curva hipsométrica), y su rectángulo equivalente. Finalmente se ha determinado la pendiente de la cuenca y del cauce principal.

En el análisis de la red de drenaje, se ha llevado a cabo la jerarquización por el método de Strahler, se han validado las dos primeras leyes de Horton y, finalmente, se han obtenido los índices de frecuencia, densidad de drenaje y el coeficiente de torrencialidad, de interés para la caracterización hidrológica de la cuenca y para la ubicación de la presa prevista.

Resultados

Características de forma

La superficie calculada para la totalidad de la cuenca de Río Grande es de 335 km², con un perímetro de 102 km. De estos datos, cabe destacar que la relación entre el perímetro y la superficie supone una cuenca con una proyección en planta irregular donde abundan los entrantes y salientes.

En una primera aproximación a la forma de la cuenca, se ha utilizado el índice de compacidad de Gravelius, obtenido como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de la misma superficie. El resultado es igual a 1,558 lo que confirma que la cuenca se aleja de la forma redondeada y es relativamente alargada, concretamente en la dirección Oeste-Este.

El coeficiente de elongación y el factor forma se utilizan como complemento del índice anterior. El primero relaciona de manera inversa el diámetro de un cír-

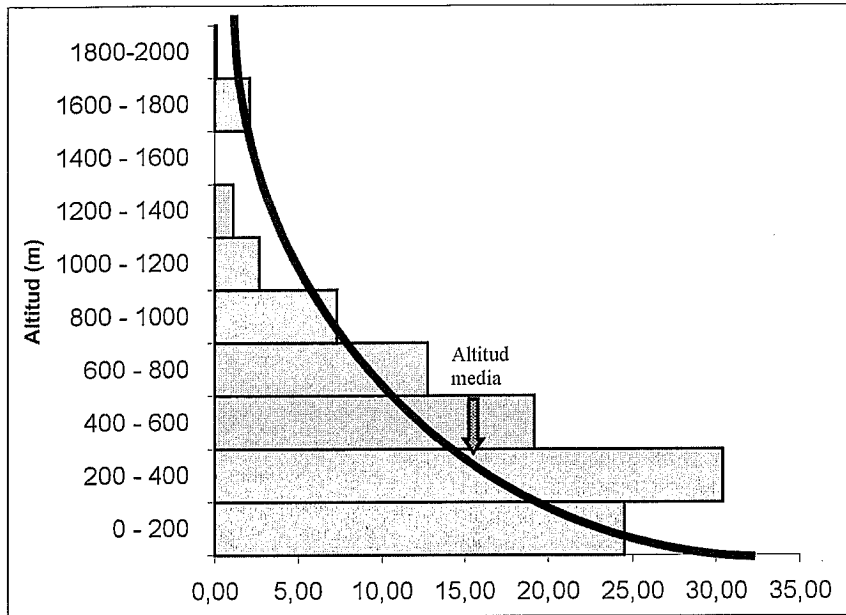


Fig. 2.- Distribución de frecuencias de altitudes y curva hipsométrica

Fig. 2.- Altitude frequency and hypsometric curve

culo de igual superficie que la cuenca y la longitud del curso principal de la misma; el resultado es un valor de 0,3556. El segundo, relaciona de manera inversa la superficie de la cuenca y el cuadrado de la longitud del curso principal de agua de la misma, lo cual da como resultado 0,2317. De ambos resultados se deduce, de acuerdo con el índice de compacidad, el carácter relativamente alargado de la cuenca.

Características de relieve

Las características físicas de la cuenca, además de por la geología, están determinadas por la topografía en lo relativo a desniveles, orientaciones o exposiciones y pendientes. Esta información se obtiene a partir de la topografía de base mediante la creación de un modelo digital del terreno.

El rango de altitudes o amplitud de relieve de la cuenca va desde 46 m, en la confluencia con el Río Guadalhorce, hasta 1919 m, en el pico Torrecilla (el más alto de la provincia de Málaga). A partir de la distribución de altitudes según el porcentaje de superficie ocupada por las mismas (histograma de frecuencias altimétricas y curva hipsométrica) se obtiene una altitud media de 373 m (Fig. 2). El 55% de la superficie total de la cuenca se encuentra por debajo de los 400 m de altitud. La distribución de estas altitudes (Fig. 1B) presenta una gradación desde el Oeste hacia el Este, al igual que las pendientes (Fig. 1C). La zona occidental de la cuenca, donde afloran los materiales carbonatados, es la que presenta las mayores altitudes y pendientes por lo que,

consecuentemente, genera desniveles relativos más acusados.

Las dimensiones del rectángulo equivalente, el cual posee similar superficie, índice de compacidad y repartición hipsométrica que la cuenca, son de gran utilidad ya que estandariza el tamaño de la cuenca a efectos de compararla con otras. El lado mayor (L) mide 43,2 km y el lado menor (l) 7,8 km.

La pendiente media de la cuenca es de 27,8% lo que supone un relieve bastante acentuado.

La pendiente media del río se ha calculado dividiendo la diferencia entre las altitudes máxima (1919 m) y mínima (46 m) por la longitud del río (38 km), lo que supone un resultado de 49,29 m/km, un 5% de pendiente aproximadamente.

Los parámetros anteriores indican la excavación tan importante que ha llevado a cabo el río sobre los materiales que constituyen la cuenca, dado que un curso mayor, de suave pendiente, drena un terreno bastante accidentado, como bien muestran los mapas de pendientes e hipsométrico (Figs. 1B y 1C).

| Orden | Nº de Cauces | Rb | L | Lr | Rl |
|--------------|--------------|-------------|-------|----------------|-------------|
| 1 | 3769 | 4,44 | 0,2 | 780,8 | |
| 2 | 849 | 4,42 | 0,4 | 368,1 | 2 |
| 3 | 192 | 4,18 | 0,94 | 189,0 | 2,4 |
| 4 | 46 | 3,54 | 2,38 | 95,3 | 2,5 |
| 5 | 13 | 4,33 | 5,3 | 71,4 | 2,2 |
| 6 | 3 | 3 | 8,33 | 21,1 | 1,6 |
| 7 | 1 | | 19,38 | 19,4 | 2,3 |
| Total | 4873 | 3,98 | | 1544,73 | 2,17 |

Tabla I.- Parámetros para la validación de las leyes de Horton

Table I.- Parameters for the validation of the Horton's laws

Análisis de la red de drenaje

El cauce del Río Grande (Fig. 1D) posee un orden 7, antes de confluir con el Río Guadalhorce. Sus características principales pueden resumirse en la tabla I, extraída del SIG.

La red hidrográfica principal está constituida por 4873 cauces, con casi 1545 km de longitud total, lo que supone una densidad de drenaje de 4,62 km/km², valor relativamente bajo indicativo de una textura gruesa. Estas características son propias de zonas de litologías en las que se produce infiltración y/o existe cobertura vegetal. El índice de frecuencia es igual a 14,56 cauces/km², valor que también puede considerarse bajo a escala global, mientras que el coeficiente de torrencialidad es de 11,26 cauces de orden 1/km², valor medio que indica un desajuste (exceso) en la proporción de cauces de orden 1 por km².

A partir de los parámetros expuestos en la tabla I, se han verificado las 2 leyes de Horton para la cuenca de Río Grande. El número de cauces y los órdenes de los mismos están relacionados mediante una función exponencial negativa $N_u = 4^{(7-u)}$, por lo que se cumple la ley del número de cauces (Fig. 4A).

También se cumple la segunda ley, referente a la longitud de los cauces (Fig. 4B). La longitud media de los cauces y su orden están relacionados mediante la siguiente función exponencial: $L_{mu} = 0,2 \times 2,17^{(u-1)}$, donde 0,2 km es la longitud media de los cauces de orden 1 y 2,17 es la relación de longitudes para la cuenca.

Discusión y conclusiones

Una vez caracterizada la cuenca del Río Grande mediante diversos parámetros cuantitativos y descripciones cualitativas, pueden inferirse conclusiones acerca de las características funcionales de la cuenca, especialmente en lo que se refiere al comportamiento hidrológico de la misma frente a eventos pluviométricos torrenciales. En este sentido, diversas características indican el carácter relativamente peligroso que la cuenca presenta

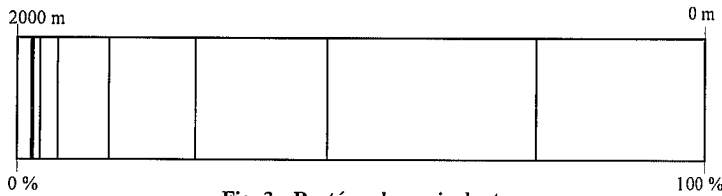


Fig. 3.- Rectángulo equivalente

Fig. 3.- Equivalent rectangle

en función de su topografía, su litología y de su propia morfología.

Las elevadas pendientes se combinan con una escasa presencia de litologías permeables que regulen el funcionamiento hidrológico de la cuenca. La posición de las litologías carbonatadas, de mayor permeabilidad, en los sectores de cabecera de la red de drenaje, hace que éstas contribuyan en muy escasa medida a la regulación de la escorrentía que se produce en las laderas de la cuenca media y baja.

La forma de la cuenca y las características morfométricas de la red son igualmente indicativas de la moderada capacidad de drenaje que la red presenta frente a un evento pluviométrico extremo. La cuenca, de morfología romboide alargada por su parte superior, presenta, a pesar de su relativa elongación, una forma susceptible de generar tiempos de concentración de la escorrentía cortos. Los valores de densidad de drenaje, asociados a una textura gruesa, pueden resultar equívocos en este caso dada la diversidad de litologías que conforman la cuenca, y el diferente grado

de permeabilidad de las mismas. De este modo, el valor relativamente bajo de la densidad de drenaje a nivel de cuenca puede estar condicionado por los sectores de rocas carbonatadas de cabecera de la cuenca y es mayor en las zonas de litología menos permeables (metapelitas y peridotitas del Complejo Alpujarride, especialmente). El coeficiente de torrencialidad, más expresivo de la organización jerárquica de la red de drenaje, presenta valores indicativos de un exceso en la proporción de cauces de orden I, lo que se asocia igualmente a una dificultad para la evacuación del agua.

Las características físicas de la cuenca del Río Grande se adaptan, en esencia, a un modelo muy habitual en la Cuenca Sur y en buena parte del litoral mediterráneo. Estas cuencas suelen poseer una cabecera formada por rocas carbonatadas, fuertes pendientes, desniveles relativos bastante altos, superficie pequeña y forma alargada, con una red de drenaje bastante desarrollada, dada la frecuente aparición de materiales arcilloso margosos y/o metapelíticos. Las características de torrencialidad son comunes

a estas cuencas, como también lo son la escasa cobertura vegetal y el modelo de ocupación del espacio por parte del hombre, que se asienta o ejerce su actividad en los espacios de menor pendiente prestados por las llanuras de inundación.

Las características morfológicas de la cuenca y red de drenaje del Río Grande pueden asociarse en conclusión a un nivel medio de peligrosidad en la producción de avenidas. Este nivel de peligrosidad se transforma en riesgo al asociarse con la alta intensidad de asentamientos humanos y otros usos productivos del suelo de los sectores de menor pendiente y fondos de valle. En la actualidad este riesgo pretende controlarse mediante la construcción de una presa, para lo que se hace imprescindible avanzar en un conocimiento más preciso e integral de una cuenca variada tanto en sus características físicas como en los modelos de ocupación humana del espacio.

Agradecimientos

Se agradece a la Junta de Andalucía a través de los grupos de investigación RNM-308 y RNM-139, así como las correcciones y críticas por parte del Prof. Francisco Carrasco Cantos.

Referencias

Antigüedad, I. y Cruz-Sanjulián, J. (1980): Boletín de la Real Sociedad Geográfica, 116, 31-52.
 Carrasco, F. (1986): Tesis Doctoral Universidad de Granada, 435 pp.
 Cruz Sanjulián, J. y Sáenz de Echenique, F. (1980): Kobie 10, 39-52.
 Cruz Sanjulián, J. y Tamés P. (1983): Lurralde, Investigación y Espacio, 95-117.
 Horton, R.E. (1945): Bull. Geol. Soc. Am., 56, 275-370.
 López Bermúdez, F., Navarro Hervás, F., Romero Díaz, M.A., Conesa García, C., Castillo Sánchez, V., Martínez Fernández, J. y García Alarcón, C. (1988): Proyecto LUCDEME IV, ICONA Monografía 50.
 López Martínez, J. y Durán, J.J. (1995): Geología y Arqueología Prehistórica de Ardales (Málaga), 11-29.
 Martín Algarra, A. (1987): Tesis Doctoral Universidad de Granada, 1171 pp.
 Scheidegger, A.E. (1965): Wat. Resour. Res, 2(2): 199-203.
 Schumm, S.A. (1956): Geol. Soc. Am. Bull., 597-646.
 Schreve, R.C. (1966): J. Geol., 74 (1), 17-37.
 Senciales, J. M. (1999): Estudios y Ensayos de la Universidad de Málaga.
 Strahler, A.N. (1952): Bull. Geol. Soc. Am., 63, 923-938.

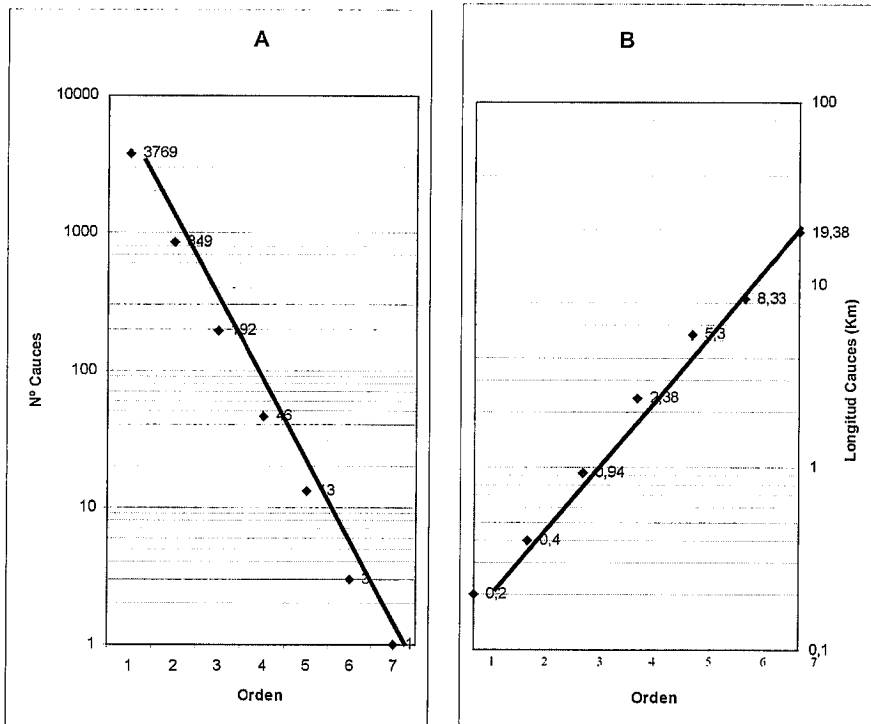


Fig. 4.- Validación de la 1ª (A) y 2ª (B) Ley de Horton

Fig. 4.- Validation of 1st (A) and 2nd (B) Horton's laws probate