

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA DE LARGO PLAZO EN LA CUENCA DEL RÍO GEUL

MA. LIBRADA CHU

Ingeniera Civil

Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático - GPH

Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

RESUMEN

El río Geul es un tributario del río Meuse y su cuenca (340 km²) esta localizada parcialmente en Bélgica y el sur Holandés. La confluencia del río Geul y el río Meuse se ubica a escasos kilómetros al norte de la ciudad de Maastrich. En épocas invernales con lluvias intensas el río Geul se desborda causando cuantiosas pérdidas y daños en condiciones que hoy día se creen han sido acentuadas por los cambios climáticos y de uso del suelo en la cuenca. Durante los últimos 50 años la población en la cuenca se ha duplicado aumentando la presión urbanizadora en el área que a su vez ha generado procesos de canalización o rectificación de cauces, cambio de uso del suelo y la introducción de prácticas agrícolas mecanizadas. Todos estos aspectos han podido contribuir al cambio en el régimen hidrológico en la cuenca por lo que se planteo una evaluación de largo plazo entre la relación precipitación escorrentía en la cual se derivaron series de tiempo estadísticamente confiables de caudales diarios de 50 años para el río Geul, se llevo a cabo un análisis de homogeneidad y puntos de cambio en la series de tiempo de precipitación, evaporación, y caudales y finalmente se estudio el balance hídrico a efecto de determinar cambios en sus componentes durante los 50 años. El estudio de la relación de precipitación escorrentía fue llevado a cabo usando el modelo agregado NAM (Nedbør-Afstrømnings-Model) desarrollado por el departamento de hidrología del instituto de hidrodinámica e ingeniería hidráulica de la Universidad Tecnológica Danesa (Technical University of Denmark).

El presente estudio mostró que contrariamente a publicaciones recientes y a la creencia generalizada en el sector hídrico Holandés los caudales extremos máximos de el río Geul en la estación de medición de Meerssen no muestran una tendencia creciente en los últimos años mientras que el volumen anual de escorrentía de la cuenca del río Geul muestra una tendencia decreciente que indica "pérdidas de agua".

PALABRAS CLAVE: Series de tiempo, la cuenca Geul, relación precipitación escorrentía, balance hídrico, modelo NAM

ABSTRACT

The river Geul is a tributary of the river Meuse and its catchment area (340 km²) is partly located in Belgium and the south of The Netherlands. The Geul connects with the Meuse some kilometres north of the city of Maastricht. During heavy rainfall, the river often floods causing great damage. This situation may be aggravated by changes in land use and climate. During the past 50 years, the population more than doubled, urbanisation was rapid, watercourses were

modified, land use was changed, and heavy agricultural machinery was introduced. All of these aspects may have contributed to a change in the hydrological regime of the catchment. An assessment of the long-term rainfall-runoff relation was carried out by first, deriving a reliable time series of about 50 years of daily discharges for the Geul river. Following this, an analysis of the homogeneity of and detection of possible jumps in the precipitation, evaporation and discharge time series was performed. A study of the rainfall-runoff relation was then carried out using a lumped conceptual model called NAM. Finally, the water balance of the catchment was investigated for a possible change in its components over the last 50 years. This study shows that contrary to recent publications and public opinion, the peak discharges of the Geul in Meerssen have not increased. The annual volume of runoff from the catchment of the Geul shows a decreasing trend indicating "water loss". It is therefore recommended to investigate the possible cause of these losses from the catchment of the Geul.

KEYWORDS: time series analysis, Geul catchment, rainfall-runoff relation, water balance, NAM model.

INTRODUCCION

Hoy en día es ampliamente aceptado que la interacción entre cambios climáticos y las condiciones hidrológicas es afectada tanto directamente como indirectamente por un número de factores como: aspectos socio-económicos, incremento en la población, y los cambios de uso en el suelo. Los cambios en la superficie terrestre tienen grandes implicaciones para el balance global de radiación y los flujos de energía, que a su vez contribuyen a los cambios en el ciclo hidrológico que alteran o modifican el equilibrio de los ecosistemas. El cambio de uso del suelo y de cobertura vegetal llevado a cabo por las actividades humanas tiene la capacidad de afectar significativamente la sostenibilidad y sistemas de producción agrícola a su vez que puede generar grandes implicaciones en el medio ambiente regional tales como el cambio en la dinámica de escorrentía superficial, disminución de los niveles de agua subterránea, impactos en los procesos de erosión y tipos de degradación del suelo y la reducción de la biodiversidad. Es ampliamente reconocido que el estudio y entendimiento de los cambios en el suelo y régimen de agua para los próximos 30 o 50 años es parte central del debate de sostenibilidad.

Una parte muy importante en la investigación hidrológica actual es la predicción de escenarios y/o eventos futuros en donde la cuantificación de la incertidumbre asociada a cada proceso hidrológico continua siendo uno de los grandes problemas de la investigación. A menudo el investigador se encuentra con el problema de cómo medir procesos hidrológicos y/o con información escasa en las escalas temporal y espacial. Por estas razones necesitamos una forma de extrapolar desde las mediciones actuales el impacto de los cambios hidrológicos futuros, la información

no disponible o no existente y aquella en donde no es posible tener mediciones. La obtención de la información extrapolada puede ser crítica para la sociedad, en donde la calidad de la información extrapolada está directamente relacionada a la calidad de la información usada y de los procedimientos o modelos usados.

El presente estudio está enfocado en la evaluación hidrológica de la relación precipitación-escorrentía de largo plazo en la cuenca del río Geul en donde la importancia de este estudio es derivado de la vulnerabilidad de la cuenca a los procesos de erosión e inundación que se han venido agravando por los cambios de uso del suelo y condiciones climáticas. Durante los últimos 50 años la población en la cuenca se ha duplicado aumentando la presión urbanizadora en el área que a su vez ha generado procesos de canalización o rectificación de cauces, cambio de uso del suelo y la introducción de prácticas agrícolas mecanizadas, siendo todos estos aspectos los que han contribuido al cambio en el régimen hidrológico de la cuenca.

Con el objeto de evaluar los cambios en la relación precipitación-escorrentía en el presente trabajo se derivaron series de tiempo estadísticamente confiables de caudales y precipitación a nivel diario para el río y la cuenca del río Geul en los últimos 50 años. Se llevaron a cabo análisis de homogeneidad, consistencia, independencia y detección de puntos de cambios en la series de tiempo de precipitación, evaporación y escorrentía y se estudio los cambios en la relación precipitación-escorrentía usando el modelo hidrológico agregado NAM. Finalmente se evaluó el balance hídrico de los últimos 50 años a efecto de ver cambios en sus componentes.

AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Geul es una cuenca internacional de aproximadamente 340 km² localizada principalmente en Bélgica (región de Walloon) y en los países bajos (parte sur de Limburg) en donde el río Geul es un tributario del río Meuse. La cuenca se encuentra localizada entre las latitudes 50°35', 50°55' (sur, norte) y 5°40', 6°10' (oeste, este) con una altitud que varía desde los 50 mts hasta los 400 mts sobre el nivel del mar (Dautrebande et al., 2000).

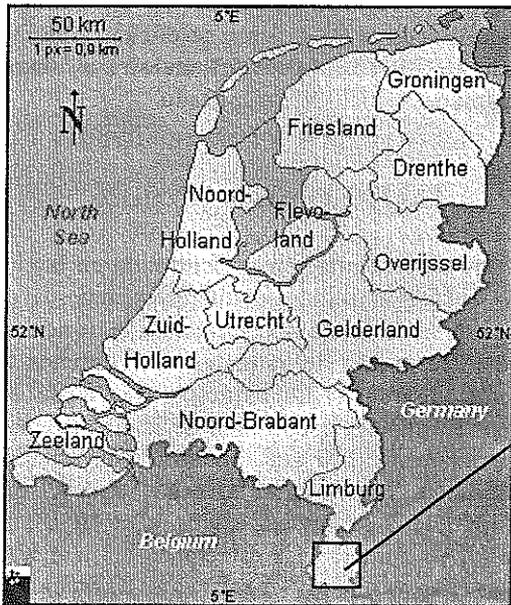
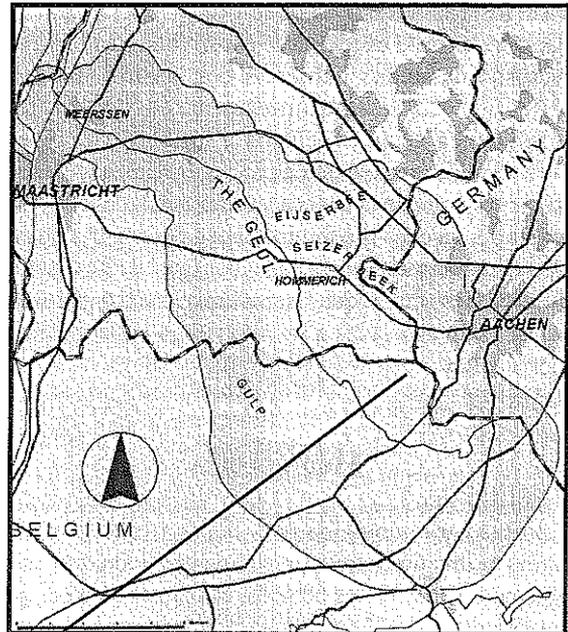


Figura 2.1 Localización de la cuenca del río Geul.

Las condiciones climáticas de las cuenca del río Geul son favorables a efecto de la producción de escorrentía en donde la precipitación se distribuye casi uniformemente a lo largo del año en un rango que varía desde los 45 mm promedio en el mes de Marzo a 75 mm en el mes de Agosto. Las intensidades de la lluvia son generalmente bajas y el promedio de precipitación anual es de 900 mm con una evapotranspiración promedio de 550 mm. La oferta hídrica está estimada en 350 mm/a concentrada principalmente en la época invernal.



Figura 2.2. Cuenca del río Geul.

El patrón del sistema de drenaje de superficie es dendrítico y caracterizado por el valle del río Geul que disecciona profundamente la formación de mesetas que lo rodean. El río Geul se alimenta por pequeñas corrientes que se originan en pequeños valles secos y hondonadas. La longitud total del río Geul es estimado en 58 Km. en donde los primeros 22 Km. se encuentran en Bélgica y los restantes 36 Km. en Holanda. El río Geul se une al río Meuse algunos kilómetros al norte de la ciudad de Maastricht y antes de su confluencia el río Geul pasa bajo el canal "Juliana".

La hidrología de la cuenca ha cambiado drásticamente desde la segunda mitad del siglo XX inducida por los cambios de los cursos meandricos originales de los ríos primarios y secundarios (canalización y rectificación), la presión agrícola sobre la cuenca (mecanización y uso intensivo) y el crecimiento de las zonas urbanas, creyéndose que dichos cambios han incrementado la frecuencia de los picos de descarga aguas abajo.



Figura 4.1. Localización de las estaciones de medición de caudales y de precipitación.

Datos de precipitación en cinco estaciones Holandesas estuvieron disponibles. Cuatro de estas estaciones se encuentran localizadas dentro de la cuenca (Epen, Vaals, Valkenburg y Ubachsberg) mientras que la quinta estación (Noorbeek) esta ubicada fuera de esta. Tres estaciones de precipitación localizadas en Bélgica fueron utilizadas, dos de ellas (Hombourg, Walhorn) dentro de la cuenca y una tercera (Thimister) sin interés para los cálculos se encuentra localizada en un punto lejano. Los datos de evaporación usados como evaporación de referencia provienen de la estación meteorológica de Beek localizada en el aeropuerto de Maastricht.

INFORMACION UTILIZADA

1. Datos de niveles y caudales: Para el análisis de la escorrentía en la cuenca del río Geul se utilizo la informacion

disponible por "Water board Roer en Oversmaas" (Entidad estatal encargada de velar por la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca Meuse) de los últimos 50 años de niveles, curvas de calibración y metadatos para diferentes periodos en formato análogo y/o digital a diferentes escalas temporales (niveles medidos cada 15 minutos y niveles medios diarios estimados con dos mediciones)

2. Datos de precipitación: Se utilizo la informacion de precipitación de las cinco estaciones Holandesas de los últimos 50 años con resolución temporal diaria.

3. Datos de evaporación: La evaporación de referencia para la cuenca fue obtenida de informacion meteorológica medida en Beek (Aeropuerto de Maastricht). Los datos diarios de evaporación fueron calculados usando la ecuación de Makkink para pasto. En el periodo de 1952 a 1964 la radiación global fue estimada usando la duración de la radiación solar relativa mientras que para el periodo posterior a 1965 se utilizo mediciones de radiación global.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCORRENTIA

El estudio de la relación precipitación-escorrentía en la cuenca no solo se centró en la cantidad de precipitación que produce escorrentía sino también en el tiempo de viaje a la salida de la cuenca. Del estudio se encontraron las siguientes conclusiones para las diferentes componentes:

Precipitación

La media mensual de precipitación para el mes de Marzo presenta una tendencia creciente significativa de acuerdo como se muestra en la Figura 6.1. Los primeros meses de primavera se presentan más húmedos.

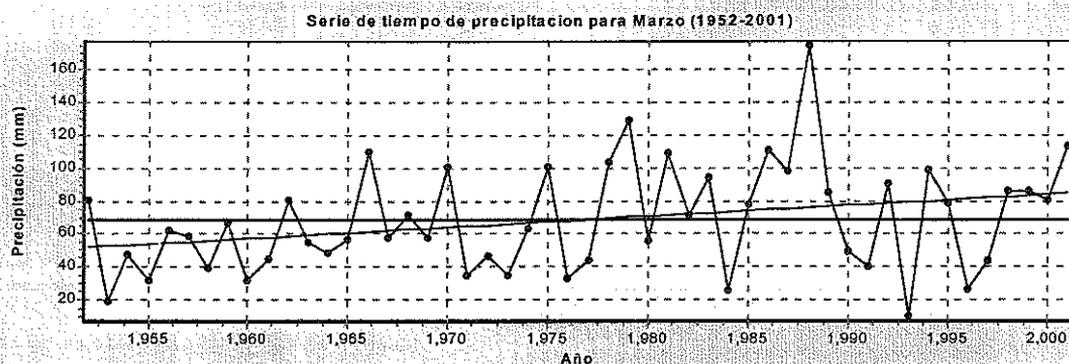


Figura 6.1. Precipitación media mensual para el mes de Marzo.

La media de precipitación mensual para el mes de Agosto muestra una tendencia decreciente y los meses de verano se muestran ahora más secos. (Figura 6.2)

No hay un cambio significativo en la precipitación en los meses de invierno exceptuando un ligero incremento en la media mensual de Diciembre la cual no es estadísticamente significativa. La precipitación en los meses de otoño no mostró un cambio significativo en los últimos 50 años excepto un ligero incremento en el mes de Septiembre el cual no fue estadísticamente significativo.

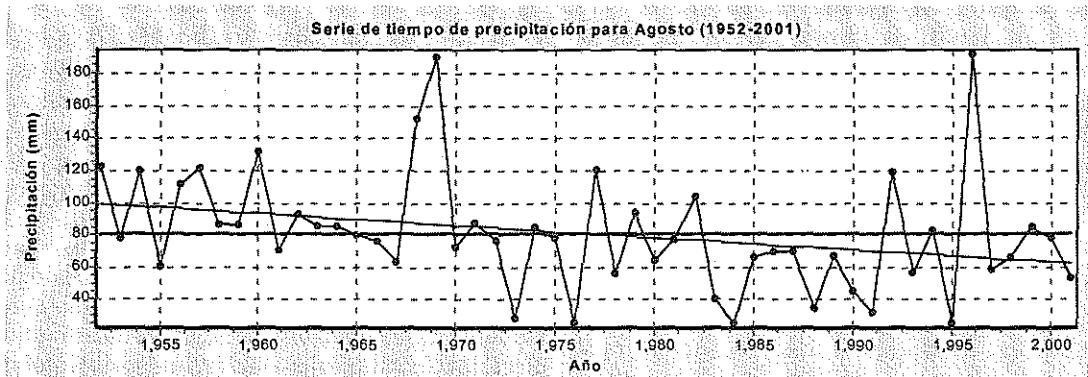


Figura 6.2. Precipitación media mensual para el mes de Agosto.

La precipitación total anual muestra una tendencia creciente aunque no es estadísticamente significativa.

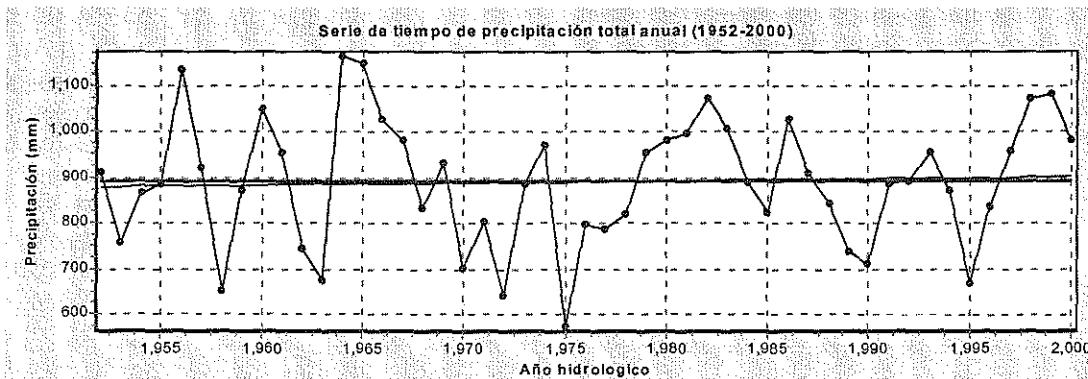


Figura 6.3. La precipitación total anual.

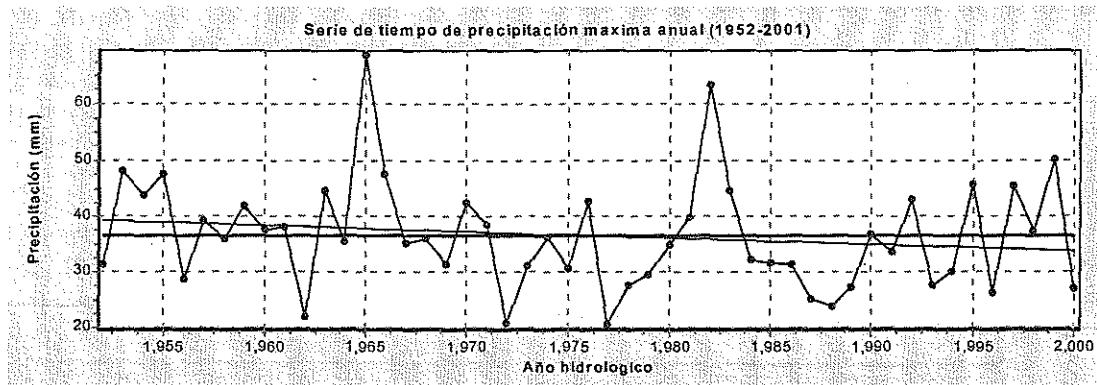


Figura 6.4. Precipitación máxima anual.

La precipitación máxima anual se presenta decreciente aunque el cambio no es estadísticamente significativo.

Escorrentía

Los caudales mínimos presentan una tendencia decreciente no estadísticamente significativa, sin embargo la media mensual de caudales del mes de Agosto presento una tendencia decreciente estadísticamente significativa (Figura 6.5) que puede ser explicada por el decrecimiento en la precipitación en los meses de verano (ver Figura 6.2)

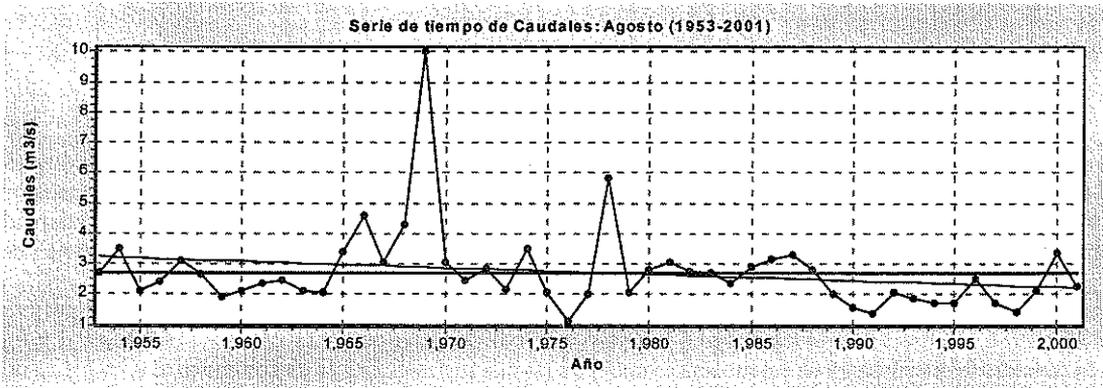


Figura 6.5. Caudales medios mensuales para Agosto.

Los caudales medios anuales no han cambiado mucho en los últimos 49 años aun cuando se presenta incremento en la precipitación. La escorrentía total anual muestra una sorprendente tendencia decreciente aunque el cambio es no estadísticamente significativo (ver Figura 6.6). El decrecimiento de la escorrentía mostrado en la Figura 6.6 puede ser explicado mediante el aumento de las perdidas aun cuando la precipitación muestra una tendencia creciente en los últimos 50 años (ver Figura 6.3)

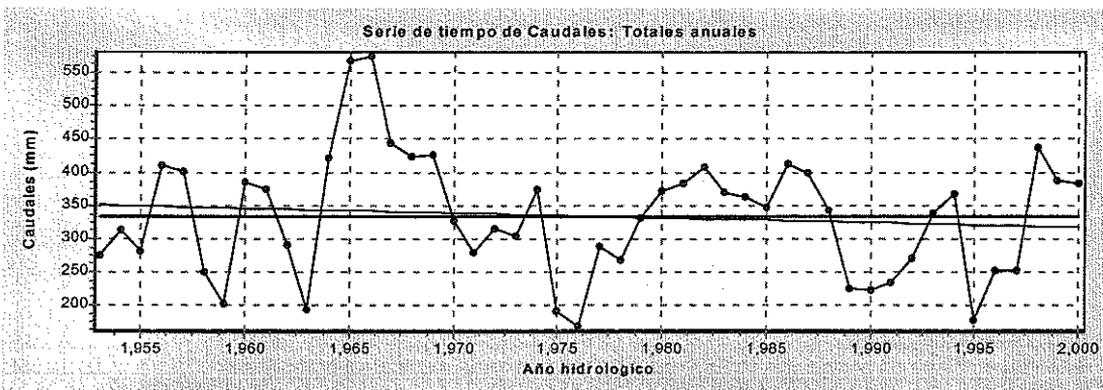


Figura 6.6. Caudales totales anuales.

Los picos anuales de caudales desde 1953 no presentan ningún cambio estadísticamente significativo

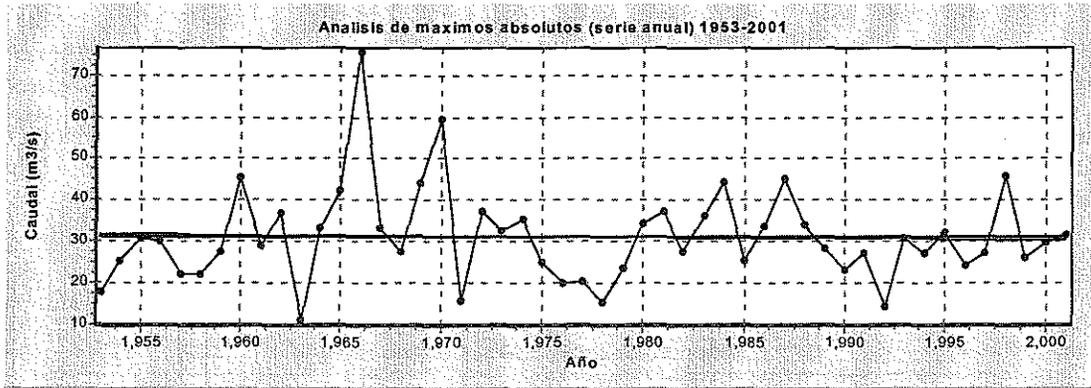


Figura 6.7. Caudales máximos absolutos anuales.

Mediciones de caudales en la estación de Meerssen con 15 minutos de resolución temporal estuvieron disponibles al final del estudio y estos datos fueron usados en el análisis de valores extremos anuales usados para investigar cualquier cambio en los caudales picos desde 1953. Para el periodo 1953 a 1969 los picos fueron tomados de dos mediciones diarias mientras que para el periodo 1970 a 2001 el caudal pico fue tomado de 96 mediciones (intervalos de 15 minutos).

Un análisis de valores extremos de escorrentía fue llevado a cabo para comparar los caudales pico en el periodo 1953-1969 y 1970-1986. Se tomaron series de igual longitud a efecto de hacer comparativos los resultados. La figura 6.8 muestra la función de distribución de frecuencia Gumbel de las dos series (Límites de confianza al 95%). Las dos series de 17 años se ajustan a la distribución Gumbel relativamente bien aun cuando las funciones son ligeramente diferentes, mostrando que los valores estimados en el periodo 1953-1969 son mayores que los estimados en el periodo 1970-1986.

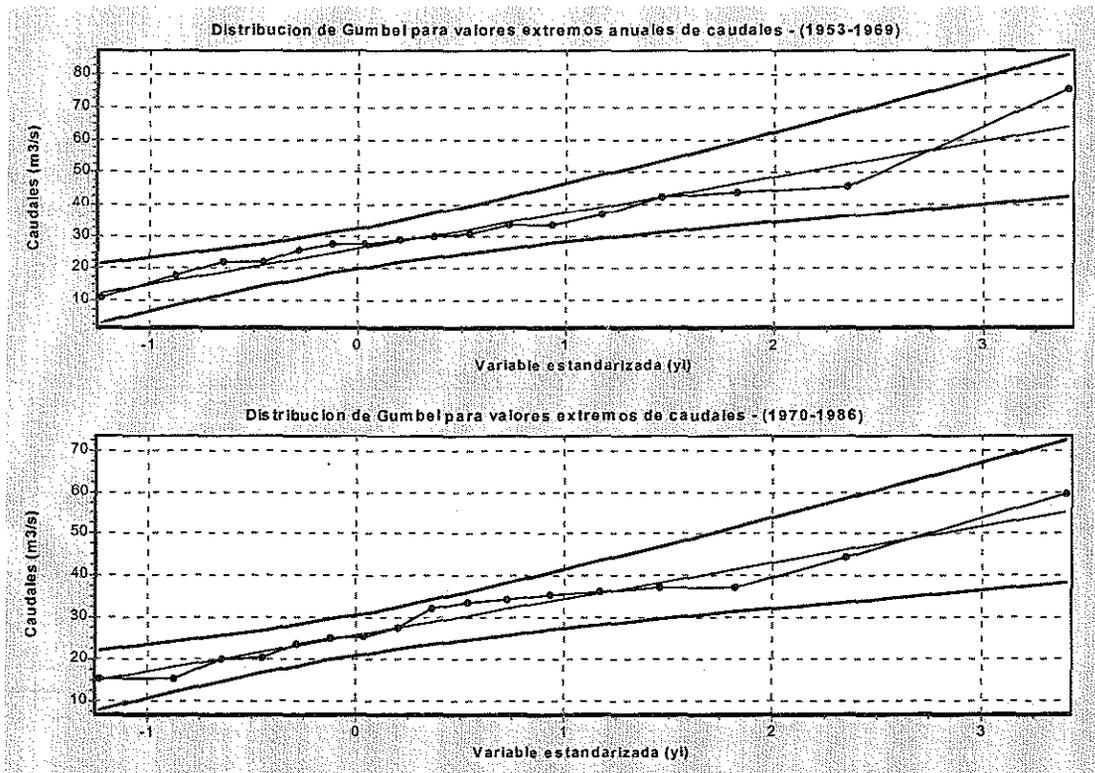


Figura 6.8. Ajuste a la función de distribución Gumbel.

La función Gumbel fue también usada para evaluar los caudales máximos en el periodo 1970-2001 para determinar si presentan un incremento desde 1986. La Figura 6.9 muestra el ajuste Gumbel del periodo 1970-2001 (Límite de confianza al 95%) en la que se puede ver que los caudales máximos en el periodo 1953-1969 siguen siendo mayores a los del periodo 1970-2001

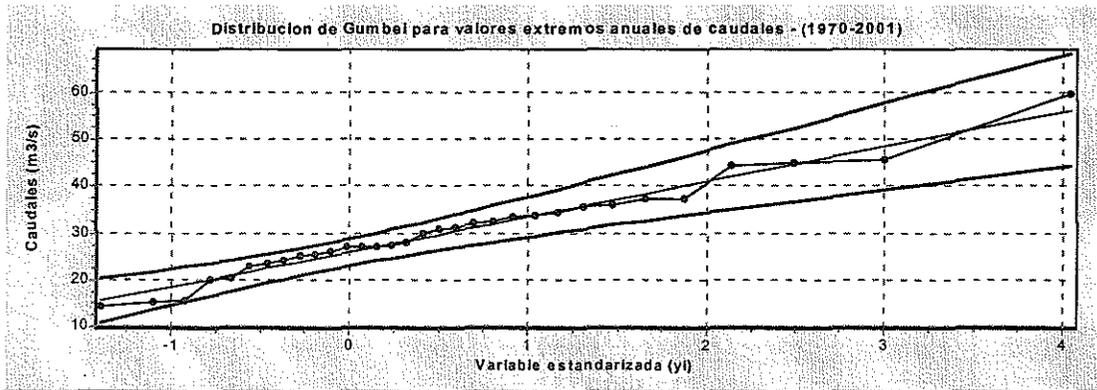


Figura 6.9. Ajuste a la función de distribución Gumbel (1970-2001).

La figura 6.10 muestra la magnitud de los eventos máximos de caudal respecto al periodo de retorno ajustados a una función Gumbel para los tres periodos analizados (1953-1969, 1970-1986, 1970-2001) en donde los límites de confianza del periodo 1953-1986 fueron usados (Límites de confianza al 95%). Se encontró que las tres series se ajustaban a dichos límites de confianza tomándose esto como un indicador de que los caudales máximos no presentan cambios significativos desde 1953.

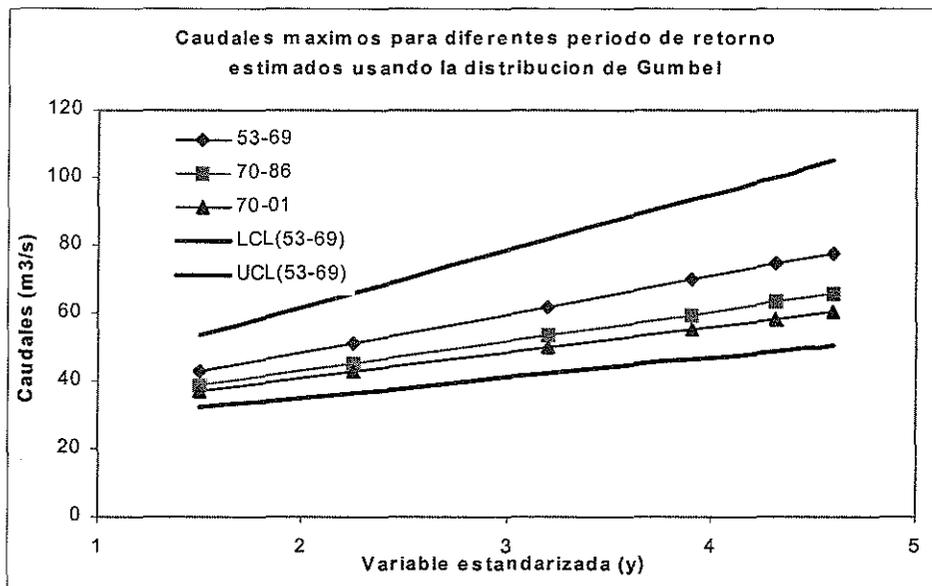


Figura 6.10. Caudales estimados para diferentes periodos de retorno.

Balance Hídrico

Para el periodo 1953-2001 el mes con la precipitación mas alta fue Julio (86.6 mm) y el mas bajo Abril (62.2 mm). La escorrentías mas altas se presentan en el mes de Enero (37.4 mm) y las mas bajas en Septiembre (21.1 mm). La precipitación media anual fue estimada en 890 mm mientras que la escorrentía media anual fue de 330 mm. Aproximadamente 560 mm están representados en "pérdidas" de agua anualmente.

El coeficiente de escorrentía presenta una tendencia decreciente aunque no es significativo estadísticamente (ver Figura 6.11). Este resultado es difícil de explicar ya que debido a la creciente presión urbanizadora se esperaría que el coeficiente de escorrentía presentase una tendencia creciente. Una posible explicación para el decrecimiento en el coeficiente de escorrentía es que el sistema de drenaje y alcantarillado de las zonas urbanas en la cuenca del Geul han sido desviados a plantas de tratamiento que entregan sus aguas fuera del río Geul. Los eventos de lluvias sobre las zonas urbanas son drenados por el sistema de alcantarillado incrementando las pérdidas como una función del incremento de las zonas urbanas.

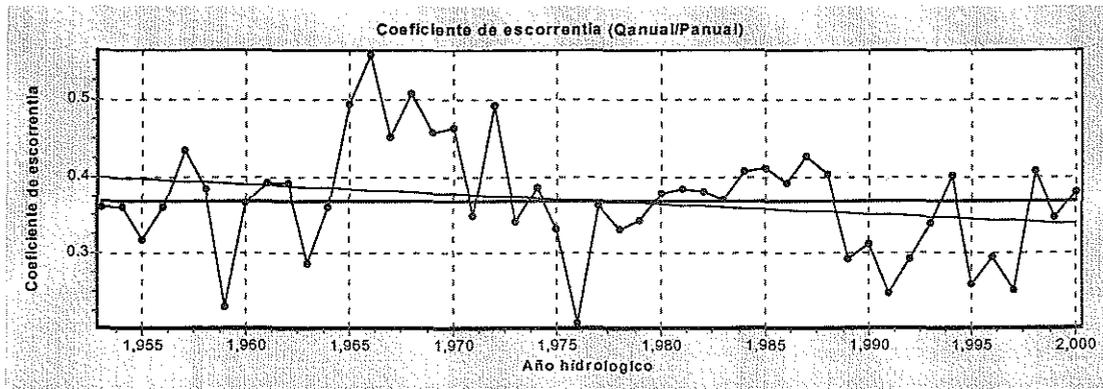


Figura 6.11. Coeficiente de escorrentía anual.

Las pérdidas en la cuenca muestran una tendencia creciente (Figura 6.12) y en particular aquellas posteriores al periodo de 1979. Las pérdidas pueden incrementarse debido a: (1) incrementos en la evaporación, (2) incremento en la utilización de agua subterránea a ser utilizada externamente a la cuenca, (3) desviación de aguas mediante el sistema de alcantarillado que descargan fuera de la cuenca (incluyendo aguas lluvias sobre zonas urbanas).

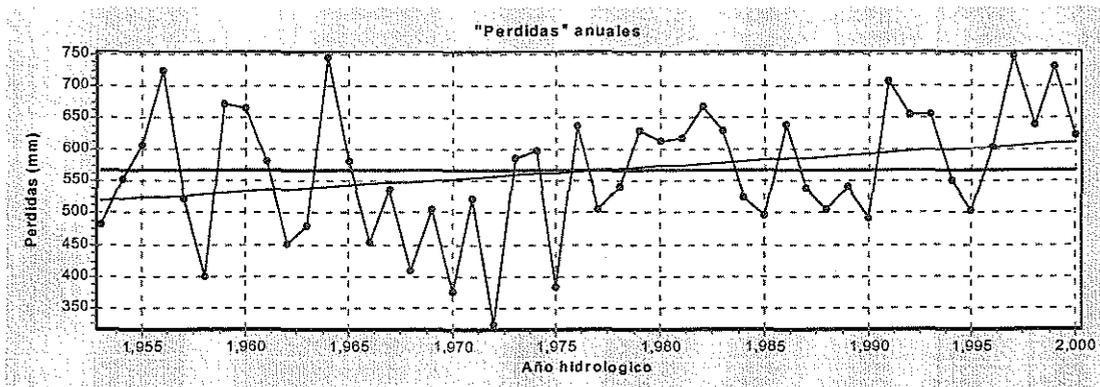


Figura 6.12. Pérdidas en la cuenca del río Geul.

El incremento en las pérdidas encontrado puede ser explicado mediante la combinación de las siguientes razones:

- Descarga de aguas de alcantarillado (negras y lluvias) llevadas a plantas de tratamiento fuera de la cuenca. Información proveniente de la entidad encargada de la calidad de agua de la provincia de Limburg (Zuiveringschap Limburg) muestra que en ciertas zonas urbanas de la cuenca del río Geul el sistema de alcantarillado es combinado, lo que permite captar aguas lluvias a la planta de tratamiento en Limmel localizada fuera de la cuenca (se descarga sobre el río Meuse en un afluente). Adicionalmente a esto existen tres zonas de retención con una capacidad mayor a 9000 m³ que descargan por medio de la planta de tratamiento Limmel al río Meuse.

- La cobertura vegetal de bosques se ha incrementado en los últimos años.
- Se ha incrementado la explotación de acuíferos por medio de pozos a lo largo del río Meuse generando la disminución de los niveles freáticos en la cuenca que ha dado como resultado la disminución en los flujos base del río Geul.
- Se ha incrementado la explotación de agua para la industria cervecera en la zona
- Se han recuperado los cursos naturales de los ríos recuperando zonas de inundación (incremento de la evaporación), meandros naturales y cauces antiguos (incremento de la capacidad de almacenamiento y reducción de los picos de descarga)

Modelo precipitación-Escorrentía

Basado en los resultados del modelo NAM los parámetros que regulan la relación precipitación escorrentía en el periodo 1960-2001 han cambiado. Estos cambios en la relación pueden ser causados por los cambios físicos en la cuenca como cambio de uso del suelo, procesos urbanizadores e intensificación de las actividades agrícolas. Debido a que los procesos de precipitación y evaporación no presentan cambios significativos sobre los 50 años los cambios en la escorrentía indicarían que las características hidrológicas han cambiado.

CONCLUSIONES

El promedio de precipitación anual en la cuenca es de 890 mm mientras que el promedio de escorrentía anual es de 330 mm encontrándose que aproximadamente 560 mm se consideran pérdidas anuales. Este valor de pérdidas estimado iguala la evapotranspiración de referencia calculada usando la ecuación de Makkink con datos del aeropuerto de Maastricht. En el estudio se encontró que la relación precipitación-escorrentía de la cuenca ha cambiado sobre los últimos 50 años.

El análisis de las series de tiempo mostró que la primavera (Marzo) muestra una tendencia a ser más húmeda mientras que el verano (Agosto) muestra una tendencia a ser más seco.

La precipitación anual sobre los últimos 50 años en la cuenca del río Geul presenta una tendencia creciente no significativa estadísticamente. Sin embargo se encontró que los caudales de verano (Agosto) presentan una

tendencia decreciente estadísticamente significativa.

Contrario a publicaciones recientes este estudio muestra que los caudales máximos del río Geul en la estación de Meerssen no se han incrementado sobre el tiempo.

El coeficiente de escorrentía multianual muestra una tendencia decreciente que puede ser explicado debido a los transvases de agua por el sistema de alcantarillado y drenajes más que a un incremento de la evapotranspiración.

REFERENCIAS

- [1] Alexandersson, H. A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data, *Journal of Climatology*, Vol. 6, p. 661-675, 1986.
- [2] Alexandersson, H. and Moberg, A. Homogeneity of Swedish Temperature Data-Part I, *International Journal of Climatology*, Vol. 17, p. 23-34, 1997.
- [3] Arknature. Flowing Storage: A nature solution for high-water problems along brooks and rivers [Online] <http://www.arknature.org/>[2002. August 8], 2000.
- [4] Beven, K.J., *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. John Wiley and Sons Ltda. Great Britain, 2001.
- [5] Box, G.E.P. and Muller, M.E. A note on the generation of random normal deviates, *Annals of Mathematical Statistics*, 29, p. 610-611, 1958.
- [6] Burn, D.H. and HagElnur, M.A. Detection of Hydrologic Trends and Variability, *Journal of Hydrology* 255, p. 107-122, 2002.
- [7] Dahmen, E.R. and Hall, M.J. Screening of Hydrological Data: Test for Stationarity and Relative Consistency, Publication 49, ILRI, Wageningen, The Netherlands, 1990.
- [8] Danish Hydraulic Institute. NAM: Technical Reference and Model Documentation, NAM-Tech-Ref/2000-01.lhj/25.01.2000/MIB/HEM/lhj [Online] <http://www.dhissoftware.com/mike11>, 1999.
- [9] Dautrebande, S., Leenaars, J.G.B., Smits, J.S. and Vanthournout, E. (Eds.). Pilot project for the definition of environment-friendly measures to reduce the risk for flash floods in the Geul River catchment (Belgium and The Netherlands): A final report. B4-3040/97/730/JNB/C4. Technum, CSO, and University of Liege, 2000.

- [10] Diermanse, F.L.M. Physically based modelling of rainfall-runoff processes. Ph. D. Thesis. TU Delft, the Netherlands, 2001.
- [11] Hall, M.J. Statistics and Stochastic Processes in Hydrology. Lecture notes HH296/02/1, IHE Delft, The Netherlands, 2002.
- [12] Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. Statistical Methods in Water Resources: New York, Elsevier Science Publishers, 1992.
- [13] Hirsch, R.M. and Slack, J.R. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence, USGS, Water Resources Research, Vol. 20, No. 6: 727-732, 1984.
- [14] International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). DATSCR: Screening for Hydrological data - A micro-computer program, Wageningen, The Netherlands, 1991.
- [15] Laar, P.J.M. Workshop in Hydrology. Lecture notes HH275/01/1, IHE Delft, The Netherlands, 2001.
- [16] Laar, P.J.M. de and Savenije, H.H.G. Principles of Hydrology. Lecture notes HH273/01/1, IHE Delft, The Netherlands, 2001.
- [17] Lanen, H.A.J. van and Dijkma, R. Water Flow and Nitrate Transport to Groundwater-fed Stream in the Belgian-Dutch Chalk Region. *Hydrol. Process.* 13: 295-307, 1999.
- [18] Leenaers, H. and Schouten, C.J. Soil erosion and floodplain soil pollution: Related problems in the geographical context of a river basin [In:] Hadley, R.F. and Ongley, E.D. (Eds), 1989. *Sediment and the Environment (Proceedings of the Baltimore Symposium, May 1989)*, IAHS Publication No. 184: 75-53, 1989.
- [19] Miller, J.E. and Frink, D.L. Changes in Flood Response of the Red River of the North Basin, North Dakota-Minnesota: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2243, 1984.
- [20] MVV (Ministerie van Verkeer en Waterstraat). Onderzoek Watersnood Maas, Deelrapport 4: Hydrologische aspecten, Waterloopkundig Laboratorium/WL, 1994.
- [21] Nash, I.E. and Sutcliffe, I.V. River flow forecasting through conceptual models, Part I, *Journal of Hydrology*, 10: 282-290, 1970.
- [22] Nota, D.G.H. and Van de Weerd, B. A Hydrogeological Study of the Gulp Creek - A Reconnaissance in a Small Catchment 1. Groundwater flow characteristics. Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen, The Netherlands, 1978.
- [23] Salas, J.D., Delleur J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L.. Applied Modelling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, Colorado, U.S.A., 1980.
- [24] Stepanek, P. ANCLIM - Software for Time Series Analysis, version 4.23.973 [Online] <http://www.sci.muni.cz/~pest>, 2002.
- [25] Stam, M.H. Effects of Land-use and Precipitation Changes on Floodplain Sedimentation in the Nineteenth and Twentieth Centuries (Geul River, The Netherlands). Unpublished paper, Free University, Amsterdam, The Netherlands, 2001.
- [26] Tarboton, D. The Scientific Aspects of Rainfall-Runoff Processes (Part 1) [Online] <http://www.engineering.usu.edu>, 2002.
- [27] Thompson, S.A. Hydrology for Water Management. A.A. Balkema Publisher, Rotterdam, The Netherlands, 1999.
- [28] USGS. Characterization of Rainfall-Runoff Response and Estimation of the Effect of Wetland Restoration on Runoff, Heron Lake Basin, southwestern Minnesota, 1991-97, Water-Resources Investigation Report 00-4095, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 1999.
- [29] WL/Delft Hydraulics. Evaluatie Debietmeetstations Waterschap 'Roer en Overmaas', Report No. Q 708, WL/Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, 1988.