




Urbanización del suelo en cuencas hidrográficas de la metrópoli de Guadalajara, México: entropía por escurrimientos superficiales.

Soil urbanization in watersheds in the metropolis of Guadalajara, Mexico: entropy by surface runoff.

Rojas Hernández J. A.¹, González Pérez, M.G.^{2*} , Flores Vilchez, F.³ ,
Soto Felix, M.⁴ 

¹ Maestría en Hidráulica. Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria, 1201, Lomas del Valle. C.P 45129, Zapopan, Jalisco, México.

² Dpto de Estudios del Agua y la Energía. Universidad de Guadalajara. Av. Nuevo Periférico 555, Ejido San José Tateposco. C.P 45425, Tonalá, Jalisco, México.

³ Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura, S/N. C.P 63000, Tepic, Nayarit, México.

⁴ Universidad Autónoma de Sinaloa. Av. De las Américas, S/N. C.P 80040, Culiacán, Sinaloa, México.

Please cite this article as/Como citar este artículo: Rojas Hernández, J. A., González Pérez, M. G., Flores Vilchez, F., Soto Félix, M. (2022). Soil urbanization in watersheds in the metropolis of Guadalajara, Mexico: entropy by surface runoff. *Revista Bio Ciencias*, 9 e1246.

<https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1246>



ABSTRACT

To consider the current scenarios in terms of urbanization, sectorial decision-making, and implementation of urban-territorial intervention plans and programs, the edaphological and hydrological conditions of the Colomos-Atemajac sub-basin in the metropolis of Guadalajara, Mexico were contrasted for the periods of 2008 and 2022, to determine the variation of the volume of water flow and its relationship with the urbanization process and the increase of impermeable areas. Data obtained in situ were processed in the Qgis geographic information system; in addition, standardized equations and methods in hydrology were used to calculate all parameters for the elaboration of precipitation hydrographs. It was found that in 2008 there were 8.44 km² of a low-density residential area, and by 2022, said value decreased to 5.56 km²; giving transition to a higher residential density, with an increase of 2.89 km².

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: June 19th 2021.

Accepted/Aceptado: July 04th 2022.

Available on line/Publicado: August 31th 2022.

RESUMEN

A efecto de considerar los escenarios actuales en materia de urbanización, toma de decisiones sectoriales e implementación de planes y programas de intervención urbano-territorial, se contrastaron las condiciones edafológicas e hidrológicas de la sub-cuenca Colomos-Atemajac en la metrópoli de Guadalajara, México en los periodos de 2008 y 2022, con el objetivo de determinar la variación del caudal y su relación con el proceso de urbanización y aumento de áreas impermeables. Para ello, se procesaron datos obtenidos in situ en el sistema de información geográfica Qgis; además, se utilizaron ecuaciones y métodos estandarizados en hidrología para el cálculo de los parámetros necesarios en la elaboración de hidrogramas de precipitación. Se encontró, que en 2008 se tenían 8.44 km² de área residencial de baja densidad, y para 2022, disminuyó a 5.56 km²; dando a su paso a una mayor densidad residencial, con un aumento del orden de 2.89 km². La información obtenida fue conceptualizada desde el modelo sistémico Entropía-Homeostasis-Negentropía; una derivación ampliada del modelo Presión-Estado-Respuesta de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. El ejercicio

*Corresponding Author:

Mario Guadalupe González-Pérez. Dpto de Estudios del Agua y la Energía. Universidad de Guadalajara. Av. Nuevo Periférico, 555, Ejido San José Tateposco. C.P 45425, Tonalá, Jalisco, México. Teléfono (33) 31342276. E-mail: mario.gperez@academicos.udg.mx

The information obtained was conceptualized from the Entropy-Homeostasis-Negentropy systemic model; an extended derivation of the Pressure-State-Response model of the Organization for Economic Cooperation and Development. In conclusion, the current hydraulic infrastructure does not satisfy the stream flow regimes and surface runoff exceeds the retention and transport capacity; as a result, floods annually affect not only the same urban areas but also new areas that have replaced their soil cover.

KEY WORDS

Land Cover, Entropy, Surface Runoff, Urbanization.

Introduction

Viewed from a systematic perspective, the urban (Thermo) dynamics related to the artificialization of land cover have as a common denominator disorderly ways of urbanization. This systemic disorder can be analyzed, from the classical concept of entropy. Similarly, it can also be conceptualized from the basis of statistical thermodynamics, which considers entropy ($S = K \log W$) as the “logarithm of the number of micro-states corresponding to a macrostate” (Varadhan, 2015). This logarithmic basis was explained by Ludwig Boltzmann more than a century ago. Indeed, the concept of entropy has transcended physics, chemistry, and biology to be used in social sciences and specifically in studies of urban housing and/or population growth, sustainability, economics, segregation, inequality, etc. (Piñuel-Raigada, 2005; Miguel-Velasco *et al.*, 2008; González-Pérez, 2018; Pacheco-Hernández *et al.*, 2021).

The formation of large urban centers has created enormous environmental stresses, both due to land transformation and disorder, as well as to the demand for services in the city system; therefore, an increase in the entropy of a system automatically increases intrinsic disorder (Bascañán-Walker *et al.*, 2011).

Currently, urban systems have accelerated land consumption for housing purposes, often irreversibly transforming land cover and the systemic functioning of the territory, compromising the sustainability of the natural resources of the watershed. Indeed, “the services provided by the watershed are usually ignored by the societies that inhabit it (...). In many cases, the importance of the ecosystem services provided by the watershed is

concluye, que la actual infraestructura hidráulica no satisface los regímenes de caudales y los escurrimientos superficiales superan la capacidad de retención y transporte; por tanto, anualmente terminan inundándose no sólo las mismas zonas urbanas, sino nuevas zonas que han sustituido su cobertura de suelo.

PALABRAS CLAVE

Coberturas de suelo, Entropía, Escurrimientos Superficiales, Urbanización.

Introducción

Desde una perspectiva sistémica, las (termo) dinámicas urbanas relacionadas con la artificialización de las coberturas del suelo tienen como común denominador formas desordenadas de hacer la ciudad. Este desorden sistémico puede analizarse desde el concepto clásico de entropía. De igual forma, también puede ser conceptualizado desde las bases de la termodinámica estadística, que considera la entropía ($S = K \log W$) como el “logaritmo del número de micro-estados que corresponde a un estado macro” (Varadhan, 2015). Esta fundamentación logarítmica fue explicada hace más de un siglo por Ludwig Boltzmann. En efecto, el concepto entropía ha trascendido la física, química y biología, para ser utilizado en ciencias sociales y concretamente en estudios de crecimiento urbano-habitacional y/o poblacional, sostenibilidad, economía, segregación, desigualdad, etc. (Piñuel-Raigada, 2005; Miguel-Velasco *et al.*, 2008; González-Pérez, 2018; Pacheco-Hernández *et al.*, 2021).

De acuerdo con Bascañán-Walker *et al.* (2011), la formación de los grandes núcleos urbanos ha generado enormes presiones medio ambientales, debido a la transformación de las cubiertas del suelo, así como por la demanda de los servicios del sistema ciudad; esto ha resultado en un incremento de la entropía y por tanto de desorden.

En la actualidad, los sistemas urbanos han acelerado el consumo de suelo para fines habitacionales, transformando muchas veces de forma irreversible las coberturas del suelo y el funcionamiento sistémico del territorio, comprometiendo la sostenibilidad de los recursos naturales de la cuenca hidrográfica. Efectivamente, “los servicios que brinda la cuenca hidrográfica usualmente son ignorados por las sociedades que la habitan (...). En muchos casos solamente se advierte

only noticed when such services are in serious danger of becoming exhausted or have already disappeared" (Aguirre-Núñez, 2011).

According to the second law of thermodynamics, every system increases its entropy as a function of time. However, living systems need to feed on negative entropy (negentropy) to reduce entropy levels (Schrödinger, 1944). The implementation of this type of negentropic action indefinite phase, i.e. with long-term effects, can reverse a phased increase of entropy. In this case, we question the upper limit in terms of artificialization of land cover and the scope of the implementation of infrastructure to minimize the entropy originated by the substitution of natural covers.

In this context, generally qualitative methodological tools have been developed in the social sciences to assess the physical impact of the intervention. Thus, from the logic of the Entropy-Homeostasis-Negentropy (EHN) model, it is possible to qualify scenarios and their corresponding affectation degree. This abstraction sub-classifies in three phases: the causal forces of entropy or systemic disorder, the homeostasis or state of the system, and the negentropy or implemented responses. Its background uses the premises of the Pressure-State-Response (PSR) model of the OECD (2003) and systemic thermodynamics (Figure 1). The difference between PSR and other derivations such as the Driving force, Pressure, State, Impact, Response (DPSIR) framework, Driving Force-State-Response (DSR) framework, Quality Flow Model (QFM); Pressure-State-Impact-Effect-Response (PEI/ER) and the Pressure-State-Impact-Effect-Response-Management (PEI/ERG) method (Polanco, 2006; Vázquez & Almada, 2018), for the EHN model, lies in the variation of phases that the latter presents, and makes it more specific for the identification of the implemented response phase (interventions) and their corresponding effects (González-Pérez, 2018).

Certainly, in urban-housing matters, the implementation of public policies has suffered from sustainability in land cover changes. For example, non-urban-urban (rural-urban) and urban-peri-urban (city-urban periphery) migration have concentrated economic, educational, and service activities (Gordillo & Castillo, 2017) and have caused destabilization by altering natural infiltration-runoff processes and consequently flooding. The negentropy implemented has been limited to

de la importancia de los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca hidrográfica cuando los mismos están en serio peligro de extinguirse o ya han desaparecido" (Aguirre-Núñez, 2011).

La segunda ley de la Termodinámica sostiene que todo sistema incrementa su entropía en función tiempo. No obstante, sistemas vivos necesitan alimentarse de entropía negativa (negentropía) para reducir los niveles de entropía (Schrödinger, 1944). La implementación de este tipo de acciones negentrópicas en fase definitiva; es decir, con efectos de largo plazo, pueden revertir un incremento de fase de la entropía. En este caso se cuestiona el límite superior en materia de artificialización de la cobertura de suelo y los alcances de la implementación de infraestructura para minimizar la entropía originada por la sustitución de las coberturas naturales.

En este contexto, en ciencias sociales se han elaborado instrumentos metodológicos generalmente cualitativos para evaluar el impacto físico que origina la intervención. De tal manera, desde la lógica del modelo Entropía-Homeostasis-Negentropía (EHN) es posible cualificar escenarios y su correspondiente grado de afectación. Esta abstracción sub-clasifica en tres fases: las fuerzas causales de entropía o desorden sistémico, la homeostasis o estado del sistema y las negentropías o respuestas implementadas. Sus antecedentes utilizan las premisas del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) de la Organization for Economic Cooperation and Development (2003) y la termodinámica sistémica (Figura 1). Las diferencias entre el modelo PER, y derivaciones tales como FPEIR (Fuerzas conductoras-Presión-Estado-Impacto-Respuesta), Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (FER), Modelo Flujo Calidad (MFC); Presión-Estado-Impacto-Efecto-Respuesta (PEI/ER) y el método Presión-Estado-Impacto-Efecto-Respuesta-Gestión (PEI/ERG) (Polanco, 2006; Vázquez & Almada, 2018), radican en la variación de fases que el modelo EHN presenta, y lo vuelve más específico para la identificación de la fase de respuesta implementada (intervenciones) y sus efectos correspondientes.

Ciertamente, en materia urbano-habitacional, la implementación de políticas públicas ha adolecido de sustentabilidad en los cambios de cobertura de suelo. Por ejemplo, la migración no urbana-urbana (campo-ciudad) y urbana-periurbana (ciudad-periferia urbana) han concentrado actividades económicas, educativas y de servicios (Gordillo & Castillo, 2017) y ha causado desestabilización, al alterar procesos naturales de infiltración-escurrimiento y en consecuencia inundaciones. Las negentropías implementadas se han limitado a intervenciones con efectos de corto plazo. Por ello, Arreguín-Cortés *et al.*

interventions with short-term effects. Therefore, people no longer have “(...)” the awareness of what happens to the rainfall volumes during precipitation, and this hinders public engagement in prevention programs (Arreguín-Cortés *et al.*, 2016). Likewise, Bascuñán-Walker *et al.* (2011), argue that in developing countries urbanization implies growth, both physical and in terms of population.

(2016) plantea que las personas ya no tienen “(...)” la noción de lo que pasa con los volúmenes de agua que caen durante la lluvia, y esto complica el compromiso de la sociedad con programas de prevención”. Asimismo, Bascuñán-Walker *et al.* (2011) sostienen que en los países en desarrollo la urbanización conlleva un crecimiento, tanto físico como en un número de población.

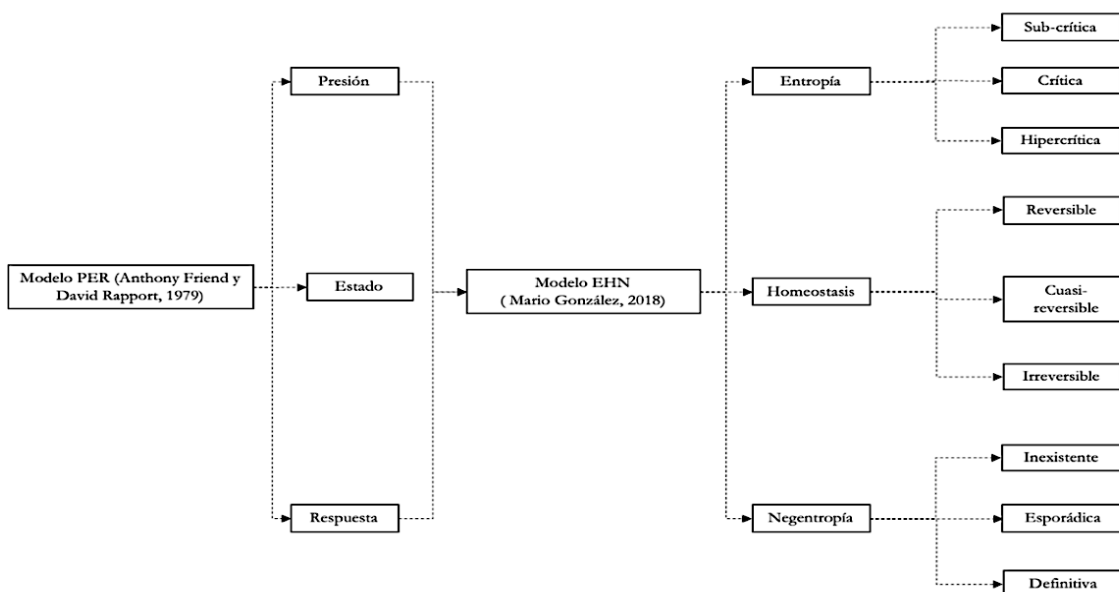


Figure 1. The phases and structure of the EHN model are derived from the PER model.
Figura 1. Fases y estructura del modelo EHN derivado del modelo PER.

Source: own elaboration based on González-Pérez (2018).

In this regard, soil analysis becomes complex due to the irreversible transformations and modifications of its initial characteristics and functions, deforesting and urbanizing the original surface cover. This pressure (entropy) on the systems (basins) has caused problems for water runoff, not only due to the increasing number of tributaries or the re-direction of runoff but also due to the increase in volume and speed of runoff, the decrease in infiltration and concentration times, erosion and sediment dragging, etc. (Mattos-Gutiérrez *et al.*, 2012; Zapperi, 2014). From the 1980s to 2019, about 18,169 relevant natural disasters have been recorded globally, of which 7,355 were hydrological (40.48%). These, in

En función de lo anterior, se torna complejo el análisis del suelo, debido a las irreversibles transformaciones y modificaciones de sus características y funciones iniciales, deforestando y urbanizando las coberturas superficiales originarias. Esta presión (entropía) a los sistemas (cuencas) han ocasionado problemas para el desajuste hídrico, no sólo por el creciente número de tributarios o la re-dirección de los escurrimientos, sino por el aumento en volumen y velocidad de estos, la disminución de la infiltración y los tiempos de concentración, erosión y arrastre de finos, entre otras (Mattos-Gutiérrez *et al.*, 2012; Zapperi, 2014). Desde 1980 al 2019 se han registrado a nivel global cerca de 18 mil 169 desastres naturales relevantes, de los cuales

turn, had overall losses of 4,798 trillion US dollars; of which, 1,046 trillion correspond to hydrological events (21.80%) (MUNICH RE, 2019).

Particularly in Mexico, only in 2016, 13,793 million pesos in damages and losses caused by natural and anthropic disasters were estimated; of these, about 87% were linked to hydrometeorological phenomena; of which, just over 70% corresponded to heavy rains, 25% to tropical cyclones and the remaining 5% to phenomena such as snowfall, frost, strong winds and severe storms (Sistema Nacional de Protección Civil, 2016). In this sense, this study aimed to contrast the edaphological conditions of the Colomos-Atemajac sub-system in the metropolis of Guadalajara, Mexico in two periods, to determine the variation of the flow and its relationship with the process of urbanization and the decrease of forest and prairie areas.

In this work, the city is understood as a thermodynamic system that consumes and expels matter and energy; in addition, it is proposed that there is an interaction of anthropic forces capable of reversibly, quasi-reversibly, or irreversibly transforming the original soil conditions, its intra-systemic structure and the characteristics of the diverse subsystems in the environment of interest. Hence, the assumption revolves around a series of causal relationships between non-systemic urban-territorial planning and increases in entropy. The research is geographically circumscribed in one of the most important metropolises in terms of population size. Here, the so-called "Los Colomos zone" was causally chosen; the name is due to the forest adjacent to the area of analysis, which in recent years has undergone a series of land-use changes to favor vertical real estate growth, without considering the areas sensitive to flooding. According to the National Institute of Statistics, Geography, and Informatics this sub-basin had a total population of 215,495 inhabitants in 2010, with just over 44% living in human settlements and 17% in the oak forest; its area is currently just over 81 km². For this reason, the use of geographic information systems is of utmost importance, since they provide data for decision-making in terms of risk and threats.

7 mil 355 fueron de carácter hidrológico (40.48% del total). Estos a su vez, tuvieron pérdidas generales por 4 mil 798 billones de dólares americanos; de los cuales, 1 mil 46 billones corresponden a eventos de carácter hidrológico (21.80%) (MUNICH RE, 2019).

En el caso de México, tan sólo en 2016 se estimaron 13 mil 793 millones de pesos en daños y pérdidas causados por desastres naturales y antrópicos; de estos, cerca del 87 % tuvo que ver con aspectos hidrometeorológicos; de los cuales, poco más del 70 % correspondió a lluvias fuertes, 25% a ciclones tropicales y el 5% restante a fenómenos como nevadas, heladas, fuertes vientos y tormentas severas (Sistema Nacional de Protección Civil, 2016). En este sentido, este estudio contrasta las condiciones edafológicas del sub-sistema Colomos-Atemajac en la metrópoli de Guadalajara, México en dos periodos de tiempo, con el objetivo de determinar la variación del caudal y su relación con el proceso de urbanización y disminución de áreas de bosque y pradera.

En este trabajo, la ciudad es entendida como un sistema termodinámico que consume y expide materia y energía; además, se plantea que ocurre una interacción de fuerzas antrópicas capaces de transformar reversible, cuasi-reversible o irreversiblemente las condiciones originarias del suelo, su estructura intra-sistémica y las características de los diversos subsistemas del entorno del sistema de interés. De ahí, el supuesto que versa en torno a una serie de relaciones causales entre la planificación urbano-territorial no sistémica y los incrementos de entropía. La investigación se circunscribe geográficamente en una de las metrópolis de mayor importancia en cuanto a magnitud poblacional. Aquí, causalmente fue elegida la denominada "zona de Los Colomos"; el nombre se debe al Bosque adyacente al área de análisis; la cual, en los últimos años ha experimentado una serie de cambios de uso de suelo para favorecer el crecimiento inmobiliario vertical, sin considerar las zonas sensibles a inundación. En esta sub-cuenca, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática se tenían en 2010 una población total de 215 mil 495 habitantes; donde poco más del 44% eran de asentamientos humanos y 17 % de bosque de encino; su área actualmente es de poco más de 81 km². Por ello, es de suma importancia la utilización de sistemas de información geográfica, dado que, proporcionan datos para la toma de decisiones en materia de riesgo y amenazas.

Materials and methods

From Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2016), data we proceeded to download the digital elevation model corresponding to the topographic charts shown in Table 1. Likewise, the *KML file* and the location of the pluviometric stations were obtained from the Servicio Meteorológico Nacional (2022). Subsequently, the stations in operation closest to the area under study were taken and analyzed to obtain the quantity and quality of data.

Materiales y métodos

Considerando los datos de 2016 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI), se procedió a la descarga del modelo digital de elevaciones correspondiente a las cartas topográficas mostradas en la Tabla 1. Asimismo, de los datos del Servicio Meteorológico Nacional (2022) se obtuvo el *archivo KML* y la ubicación de las estaciones pluviométricas. Posteriormente, se tomaron las estaciones en operación más cercanas a la zona en estudio, las cuales se analizaron para obtener la cantidad y calidad de datos de cada una de ellas.

Table 1. Continental relief charts were used.
Tabla 1. Cartas de relieve continental empleadas.

Code	Title
F13D65B1	Digital elevation terrain model with 5m resolution.
F13D65B2	Digital elevation terrain model with 5m resolution.
F13D65B3	Digital elevation terrain model with 5m resolution.
F13D65B4	Digital elevation terrain model with 5m resolution.
F13D65C1	Digital elevation terrain model with 5m resolution.

Source: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2016)

Once the most appropriate station was chosen, its maximum annual precipitation heights were obtained and the record was adjusted to different probability and statistical distributions, to achieve the best adjustment. With this data, and through isohyet maps of the Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2021), rainfall intensities were extracted for one hour, and return periods (Tr) of 10, 25, and 50 years. In this sense, the Intensity-Duration-Frequency (I-D-F) curves were elaborated using the methodology of Campos-Aranda (2008). Similarly, the length and slope of the main basin stream were obtained, necessary to obtain the time of concentration, which was obtained by the Kirpich equation for a return time of 10 years.

Then, the relevant storm intensity was chosen, and using the methodology of Chow-Ven (1994) and information from the Soil Conservation Service (1957) and the United States Department of Agriculture (1986) the peak streamflow was obtained for the current conditions of the basin before the real estate boom. Subsequently,

Una vez elegida la estación más idónea, se obtuvieron sus alturas máximas anuales de precipitación y se ajustó el registro a diferentes distribuciones de probabilidad y estadística, para obtener la que tuviera un mejor ajuste. Con los datos obtenidos de la estación y con ayuda de los mapas de isoyetas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (2019) se extrajeron las intensidades de lluvia para una duración de una hora y periodos de retorno (Tr) de 10, 25 y 50 años. En este sentido, se elaboraron las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) por medio de la metodología de Campos-Aranda (2008). De igual forma, se obtuvieron la longitud y pendiente del cauce principal de la cuenca, necesarios para obtener el tiempo de concentración, el cual se obtuvo por la ecuación de Kirpich para un tiempo de retorno de 10 años.

En base a lo anterior, se procedió a elegir la intensidad de tormenta pertinente y utilizando la metodología de Chow-Ven (1994) la información del Soil Conservation Service (1957) y el United States Department of Agriculture (1986) se obtuvieron los caudales pico para las condiciones actuales de la cuenca

synthetic hydrographs were constructed using the methodology described by Aldama-Rodríguez & Ramírez-Orozco (1998) for both watershed conditions, resulting in increases in direct runoff volumes. In addition, a visit was made to the area under study (in situ) to determine the discharge capacity of the point, as well as to obtain information on the actual field conditions. This information was used to feed the EHN conceptual model and to qualitatively evaluate the degree of impact in the area.

antes del boom inmobiliario. Posteriormente, se construyeron los hidrogramas sintéticos por medio de la metodología descrita por Aldama-Rodríguez & Ramírez-Orozco (1998) para ambas condiciones de la cuenca; lo cual resultó en los aumentos en los volúmenes de escurrimiento directo. Adicionalmente, se realizó una visita a la zona en estudio (inspección *in situ*), para conocer la capacidad de descarga del punto, así cómo obtener información de las condiciones reales en campo. Esta información permitió alimentar el modelo conceptual EHN y evaluar cualitativamente el grado de afectación en la zona.

The process to use the available pluviometric information in the form of maximum annual daily precipitation, to convert the values into 24-hour precipitation heights (), required multiplication by 1.13. "The U.S. Weather Bureau uses the empirical factor 1.13, to convert daily precipitation data into maximum precipitation in 24 h" (Ayuso *et al.*, 2010). In this sense, the coefficients R and F necessary to apply Chen's formula were obtained (Eq. 1 and Eq. 2)

El proceso para utilizar la información pluviométrica disponible en la forma de precipitación máxima diaria anual, con la intención de convertir los valores en alturas de precipitación de 24 horas (), requirió multiplicar por 1.13. "El National Weather Service de Estados Unidos, utiliza el factor empírico 1.13, para convertir los datos de precipitación diaria en precipitación máxima en 24 h" (Ayuso *et al.*, 2010). En este sentido, que se obtuvieron los coeficientes R y F necesarios para aplicar la fórmula de Chen (Ec. 1 y Ec. 2).

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}} \quad \text{Eq. 1 Ec. 1}$$

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \quad \text{Eq. 2 Ec. 2}$$

With the average value of the R ratios that can be evaluated for the return periods of 10, 25, and 50 years, parameters a, b, and c were obtained for $0.10 \leq R \leq 0.60$ (Eq. 3, Eq. 4, and Eq. 5).

Con el valor promedio de los cocientes R que se pueden evaluar para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años se obtuvieron los parámetros a, b y c para $0.10 \leq R \leq 0.60$ (Ec. 3, Ec. 4 y Ec. 5).

$$\text{Eq. 3 } a = -2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4 \quad \text{..... Ec. 3}$$

$$\text{Eq. 4 } b = -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4 \quad \text{..... Ec. 4}$$

$$\text{Eq. 5 } c = -0.06498345 + 5.069294R - 16.08111R^2 + 29.09596R^3 - 20.06288R^4 \quad \text{..... Ec. 5}$$

If $0.20 \leq R \leq 0.70$ the parameters a, b, and c can be obtained through equations 6, 7, and 8:

Y cuando $0.20 \leq R \leq 0.70$ se tiene para los parámetros a, b y c las ecuaciones 6, 7 y 8:

Eq. 6 $a = 21.03453 - 186.4683R + 825.4915R^2 - 1084.846R^3 + 524.06R^4$ Ec. 6

Eq. 7 $b = 3.487775 - 68.13976R + 389.4625R^2 - 612.4041R^3 + 315.8721R^4$ Ec. 7

Eq. 8 $c = 0.2677553 + 0.9481759R + 2.109415R^2 - 4.827012R^3 + 2.459584R^4$ Ec. 8

Subsequently, these parameters are used in Equation 9, where a and b are in millimeters; t in minutes for $5 \leq t \leq 144$ and Tr in years for $5 \leq Tr \leq 100$.

Posteriormente, estos parámetros son utilizados en la ecuación 9, donde a y b están en milímetros; t en minutos para $5 \leq t \leq 144$ y Tr en años para $5 \leq Tr \leq 100$.

Eq. 9
$$P_t^{Tr} = \frac{a \cdot P_1^{10} \log(10^{2-F} Tr^{F-1} \cdot t)}{60 \cdot (t + b)^c}$$
 Ec. 9

The time of concentration (t_{cs}) was obtained with equation 10.

El tiempo de concentración (t_{cs}) se obtuvo con la ecuación 10.

Eq. 10
$$t_{cs} = 0,0003245 \left(\frac{l_i}{\sqrt{S_{lc}}} \right)^{0.77}$$
 Ec. 10

where:

t_{cs} = Time of concentration (h)

l_i = Length of main channel (m)

S_{lc} = Mean channel slope (m/m).

To obtain the excess rainfall and stream peak flow, the method proposed by the Soil Conservation Service (1957) was used, considering Eq. 11 and Eq.12.

donde:

t_{cs} = Tiempo de concentración (h)

l_i = Longitud del cauce principal (m)

S_{lc} = Pendiente media del cauce (m/m)

Para la obtención de las precipitaciones en exceso y el caudal pico, fue utilizado el método propuesto por el Soil Conservation Service (1957) considerando las Ec. 11 y Ec.12.

Eq. 11
$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S}$$
 Ec. 11

where:

Pe = Precipitation excess in inches.

P = Precipitation height in inches.

S = Maximum potential soil retention after initiation of precipitation event in inches.

Ia = Initial abstraction in inches.

donde:

Pe = Precipitación en exceso en pulgadas.

P = Altura de precipitación en pulgadas.

S = Máxima retención potencial del suelo después de iniciado el evento de precipitación en pulgadas.

Ia = Abstracción inicial en pulgadas.

Eq. 12 $Ia = \phi S$ Ec. 12

The symbol ϕ represents the retention factor and is equal to 0.2, according to the Soil Conservation Service (1957). From this, equation 13 is obtained. However, it should be mentioned that retention factor calibration studies should be performed.

El símbolo ϕ representa el factor de retención y es igual a 0.2, de acuerdo con el Soil Conservation Service (1957). De ahí, se obtiene la ecuación 13. Sin embargo, es preciso mencionar que se deben realizar estudios de calibración del factor de retención.

Eq. 13 $Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$ Ec. 13

The maximum potential soil retention after the onset of the precipitation event uses equation 14:

La máxima retención potencial del suelo después de iniciado el evento de precipitación utiliza la ecuación 14:

Eq. 14 $S = \frac{1000}{CN} - 10$ Ec. 14

The flow rate or peak flow is obtained through equation 15 and its different parameters through equations 16 to 20:

El caudal o gasto pico es obtenido por medio de la ecuación 15 y sus distintos parámetros mediante las ecuaciones 16 a la 20:

Eq. 15 $Q_m = \frac{2.78(A \times Z \times P_e)}{d}$ Ec. 15

Eq. 16 $X = \frac{P_e}{d}$ Ec. 16

Eq. 17 $t_p = 0.00505 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$ Ec. 17

For d/tp between 0.05 y 0.4

Para d/tp entre 0.05 y 0.4

Eq. 18 $Z = 0.73 \left(\frac{d}{t_p} \right)^{0.97}$ Ec. 18

For $0.4 \leq d/tp \leq 2$

Para $0.4 \leq d/tp \leq 2$

Eq. 19 $Z = 1.89 \left(\frac{d}{t_p} \right)^{0.23} - 1$ Ec. 19

For $d/t_p > 2$

Para $d/t_p > 2$

Eq. 20 $Z = 1$ Ec. 20

where:

t_p = Time delay.

d = Duration of the selected storm.

Q_m = Amount spent for the established storm and Tr duration.

Donde:

t_p = Tiempo de retraso

d = Duración de la tormenta seleccionada

Q_m = Gasto para la duración de tormenta y Tr establecidos

In the synthetic hydrograph, we chose to construct a fifth-order synthetic hydrograph, which was obtained through Equations 21, 22, and 23:

En el hidrograma sintético se optó por construir uno sintético de quinto orden, el cual se obtuvo mediante la ecuación 21, 22 y 23:

Eq. 21 $Q_5(t; Q_p, t_p, t_b) = \left\{ \begin{array}{l} Q_p \left[10 \left(\frac{t}{t_p} \right)^3 - 15 \left(\frac{t}{t_p} \right)^4 + 6 \left(\frac{t}{t_p} \right)^5 \right]; t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[1 - 10 \left(\frac{t-t_p}{t_b-t_p} \right)^3 + 15 \left(\frac{t-t_p}{t_b-t_p} \right)^4 - 6 \left(\frac{t-t_p}{t_b-t_p} \right)^5 \right]; t \in [t_p, t_b] \end{array} \right\}$ Ec. 21

$0; t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty)$

Where:

Q_p = Expenditure peak.

t_p = Time peak.

t_b = Timebase.

t_r = Delay time.

Where:

Q_p = Gasto pico.

t_p = Tiempo pico.

t_b = Tiempo base.

t_r = Tiempo de retraso.

Eq. 22 $t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$ Ec. 22

Where:

t_p = Peak time.

d_e = Duration in excess.

t_r = Delay time.

Where:

t_p = Tiempo pico.

d_e = Duración en exceso.

t_r = Tiempo de retraso.

Eq. 23 $t_b = 3t_p$ Ec. 23

t_b = Line time.

t_b = Tiempo base.

Results and discussion

For the delimitation of the watershed, a Qgis model was fed with Digital Elevation Models with a pixel scale of 5 meters, which were extracted from the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2016) page, which is shown in Figure 2.

Resultados y discusión

Para la delimitación de la cuenca, se alimentó un modelo de Qgis con Modelos Digitales de Elevaciones con escala de pixel de 5 metros, los cuales se extrajeron de la página del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2016), la cual se muestra en la Figura 2.

Estaciones pluviométricas

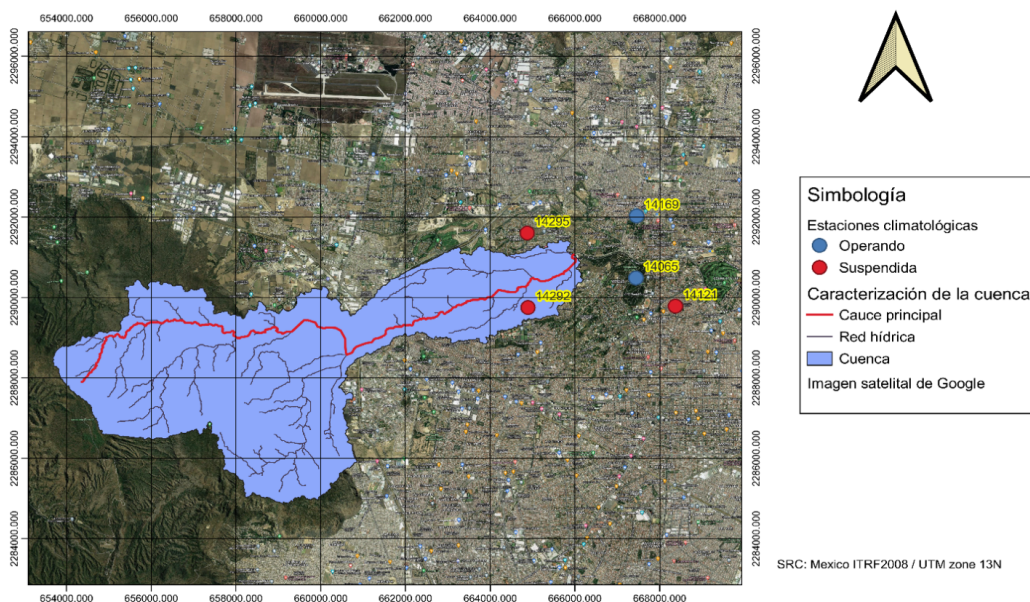


Figure 2. Delimitation of the watershed and climatological stations near the watershed.

Figura 2. Delimitación de la cuenca y estaciones climatológicas cercanas a la misma.

Source: Own elaboration with information from Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2016) and Servicio Meteorológico Nacional (2022).

Subsequently, it was performed the analysis of the pluviometric information. For this purpose, a 30 km buffer was made to the basin watershed previously obtained, which corresponds to those that have an impact on the basin. Of these stations, 14065 and 14169 were selected because they are the closest to the basin and are in operation. In this way, the daily information was processed. Tables 2, 3, and 4 and Figures 3 and 4 show information for station 14065, and tables 5, 6, and 7, and figures 5 and 6, for station 14169. This analysis

Posteriormente se procedió al análisis de la información pluviométrica. Para ello se realizó un buffer de 30 km con respecto al parteaguas de la cuenca previamente obtenido, las cuales corresponden a las que tienen una incidencia sobre la misma. De estas estaciones se seleccionaron las 14065 y la 14169 al ser las más próximas a la cuenca y estar en operación. De esta forma, se procesó la información disponible de manera diaria de cada una de ellas. Las tablas 2, 3 y 4 y figuras 3 y 4 muestran información para la estación 14065, y las tablas 5, 6 y 7, y figuras 5 y 6, para la estación

was carried out for the purification of pluviometric data. It should be mentioned that those months and years with less than 90% of information were discarded from the study.

14169. Dicho análisis se realizó para la depuración de los datos pluviométricos. Es preciso mencionar, que fueron descartados del estudio aquellos meses y años que cuentan con menos del 90% de información.

Table 2. The number of days with recorded precipitation height at station 14065.
Tabla 2. Número de días con registro de altura de precipitación en la estación 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Days/ year	Month/ year
1882	0	0	0	30	31	30	31	31	30	31	30	0	244	8
1883	31	28	31	30	31	0	31	0	0	0	30	31	243	8
1884	31	29	31	0	0	30	0	0	0	0	0	0	121	4
1890	31	0	31	30	31	30	31	31	30	31	0	31	307	10
1891	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	1
1894	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	1
1895	0	0	0	30	31	30	0	0	0	0	30	0	121	4
1896	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1897	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1898	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	1
1899	0	0	0	0	31	30	0	0	0	0	0	0	61	2
1919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	31	1
1925	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1943	0	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	334	11
1944	31	29	31	30	31	30	31	0	0	31	30	31	305	10
1945	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	0	334	11
1946	31	28	31	0	0	30	31	31	30	31	30	31	304	10
1947	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1948	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1949	31	28	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	89	3
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	31	1
1952	1	0	31	30	1	30	31	31	30	31	30	31	277	9
1953	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1954	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1955	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1956	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1957	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1958	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1959	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	0	31	335	11
1960	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1961	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1962	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1963	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1964	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1965	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12

Continuation
Table 2. The number of days with recorded precipitation height at station 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Days/ year	Month/ year
1966	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1967	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1968	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1969	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1970	31	28	31	0	0	30	31	31	30	31	30	31	304	10
1971	31	28	31	0	31	30	31	31	30	31	30	31	335	11
1972	0	29	31	30	0	30	31	31	30	31	30	31	304	10
1973	31	28	31	30	31	30	0	31	0	0	30	31	273	9
1974	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1981	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1982	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1983	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1984	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1985	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1986	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1987	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1988	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1989	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1990	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1991	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1992	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1993	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1994	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1995	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1996	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1997	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1998	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1999	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2000	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2003	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2004	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2005	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2006	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2008	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2009	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2010	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12

*Leap year. *Año bisiesto.

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Metereologico Nacional (2022).

Table 3. Monthly accumulated precipitation heights at station 14065.
Tabla 3. Alturas de precipitación acumuladas mensuales en la estación 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Annual
1896	0	0	0	0	0	0	0	0	111.5	0	0	0	111.5
1897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.4	0	0	29.4
1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	115.7	0	0	0	0	0	0	0	115.7
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.9	0	33.9
1960	0	0	0	0	0.9	0	303	0	0	0	0	31.5	335.4
1961	27.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.3
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.7	0	30.7
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	173.7	0	0	0	173.7
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	133.5	86.8	0	0	220.3
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	212.8	0	0	11.9	224.7
1968	0	0	0	0	0	137	0	0	0	0	0	0	137
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	1.9	0.5	0.1	0.3	0.1	12.3	9.6	3.8	3.6	2	0.8	0.6	35.6
1982	0	0	0	0	0	50	53.4	235.1	10.2	5.6	84	3.4	441.7
1983	22.5	0	0	8	51.2	165.1	58.7	28.6	136.8	26.3	3.1	0	500.3
1984	19	8.2	81.7	0	4.7	305.7	200.2	148.2	29	53.7	17.8	1.6	869.8
1985	4.1	0	0	0.6	4.8	55.7	184.4	220	110.3	80.2	13.8	3.2	677.1
1986	0	4.1	0	5.9	3	38.8	43.1	41.7	152.6	8.4	42	0.2	339.8
1987	3.8	1.3	0.2	0.4	6	42.5	250.9	42.1	28.2	32.2	6.5	0.1	414.2
1988	29.6	0	0.1	0	0	32.2	6.9	15.5	3.8	0.5	4	2.6	95.2
1989	0	4	23	0.2	0	40.4	52.2	304.8	163.8	47.5	2.2	38.1	676.2
1990	1.9	83.3	0	0	31.7	34.7	353.7	201.7	205.9	133.6	0	0	1046.5
1991	1	11.6	0	38.6	0	35.5	389.3	167.8	58.7	10.1	0.8	10.7	724.1
1992	254.2	9.6	1	6.2	16.8	85	284.9	64.3	114.1	91.6	20.5	15.7	963.9
1993	16.3	0	0	0.5	0.6	181.8	18	50.2	21.7	7.2	0	0	296.3
1994	0	0	0	0	1.4	262.3	172	314	238.5	104.9	2	6.6	1101.7
1995	1.5	6.5	0	0	35.8	228	22.9	272.5	164.4	29.2	2.6	18.4	781.8
1996	0	0.8	0	0.4	7.2	60.8	204.3	227.4	198.1	58.4	11.9	2.6	771.9
1997	0.9	3.5	56.6	61.3	59.3	209.1	0	213.3	43.3	72.9	19.8	7.9	747.9
1998	0	0.1	0	0	0	63.3	235	341.4	75.4	15.1	0	2.7	733
1999	0	0	0	0	7.5	251.3	195.2	255.1	26.8	47.9	0	0	783.8

Continuation
Table 3. Monthly accumulated precipitation heights at station 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Annual
2000	0	0	0	0	8.9	49.5	62.9	81.5	199.2	21.8	0	1.1	424.9
2003	5.4	0	0	0	6.9	81.7	300.5	156.4	234.3	34.4	25.2	0	844.8
2004	0	0	4.2	0	78.8	469.5	0	119.7	359.6	14.6	0	7.1	1053.5
2005	2.4	3.5	10.8	0	17.2	71.3	336.7	92.2	307.5	80.6	2.2	0	924.4
2006	0	0	8.5	0	6.4	146.9	146.9	348.6	132.8	156.8	24.6	11.5	983
2007	17.7	6.9	0	0	0.4	188.5	325.6	183	206.6	20.3	16.5	17.9	983.4
2008	0	0	0	1.1	1.8	299	245.2	163.3	270.7	88	0	0	1069.1
2009	14.5	0	0	8.5	33.7	112	234.8	125.5	198.2	71.6	0	3.9	802.7
2010	21.9	142.1	0	0	27.4	208.6	454.1	166.1	239.6	0	0	0	1259.8
2013	51	0	0	0	35.2	110.9	301.7	208	247.5	40.7	24.3	56.9	1076.2
2014	10.1	0	0.4	0	24.6	132.7	150	234.8	171.9	76.4	19.6	1.8	822.3
2015	0.6	17.4	84.8	15.8	24.2	263.8	197.2	205.9	139.1	96.4	3.1	26.4	1074.7
2018	34.4	13.1	0	0.3	60.9	365	269.7	300.6	336.1	79.2	38.4	2.1	1499.8
Promedio	10.04	5.86	5.03	2.74	12.46	88.72	112.28	102.46	101.11	31.93	8.34	5.31	

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Metereologico Nacional (2022).

Table 4. Monthly maximum precipitation heights at station 14065.
Tabla 4. Alturas de precipitación máximas mensuales en la estación 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Maximum annual rainfall
1896	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0	0	5.9
1897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10
1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	46.5	0	0	0	0	0	0	0	46.5
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.7	0	17.7
1960	0	0	0	0	0.9	0	57.2	0	0	0	0	25.6	57.2
1961	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.9	0	26.9
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	50.8	0	0	0	50.8
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	29.8	30.3	0	0	30.3

Continuation
Table 4. Monthly maximum precipitation heights at station 14065.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Maximum annual rainfall
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	25.5	0	0	9.4	25.5
1968	0	0	0	0	0	39.3	0	0	0	0	0	0	39.3
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0.8	0.4	0.1	0.2	0.1	1.7	2	0.9	0.8	0.6	0.8	0.6	2
1982	0	0	0	0	0	16.4	9.9	33.8	3.1	1.4	68.1	1	68.1
1983	14.5	0	0	8	19.4	33	11.1	6.2	56.4	14.9	1.5	0	56.4
1984	9.3	6.2	68	0	1.6	43.1	54.1	39.6	5	30	17.8	1.6	68
1985	3.5	0	0	0.6	3.2	12.1	52.2	77.5	35.3	31.1	12.8	1.5	77.5
1986	0	4.1	0	5.7	1.6	5	6.6	10.8	45.7	4.2	31.6	0.2	45.7
1987	1.7	1	0.2	0.4	3.7	15.8	34.2	5.3	12.3	32.2	3.2	0.1	34.2
1988	29.6	0	0.1	0	0	12.2	4.5	3.6	3.4	0.5	2.7	1.6	29.6
1989	0	4	23	0.2	0	9.6	10.1	44.2	41.1	25.6	1.3	15.9	44.2
1990	1.2	71	0	0	17	7.8	40	31.7	30.2	32.5	0	0	71
1991	1	10.7	0	38.6	0	7.5	51.1	27.4	12	5	0.3	4.1	51.1
1992	58.2	9.2	1	4.5	6.2	21.6	29.3	12.8	31.6	38.1	20	13.6	58.2
1993	16.3	0	0	0.5	0.6	36.3	12.3	8.2	5.4	2.7	0	0	36.3
1994	0	0	0	0	1.3	70	40.2	56.5	57.1	27.9	2	6.6	70
1995	1.5	6.5	0	0	14.9	61	4.9	60.5	22.1	25.5	1	12.5	61
1996	0	0.8	0	0.4	2.7	23.5	43.9	30.6	47	42	7.6	2.6	47
1997	0.9	2.3	26.5	27.3	36	51.4	0	54.4	12.6	27.5	19	4.2	54.4
1998	0	0.1	0	0	0	24.6	30.2	67.9	15.8	7.5	0	2.7	67.9
1999	0	0	0	0	4.8	85.2	41.7	42.7	22.6	38.4	0	0	85.2
2000	0	0	0	0	8.7	18.5	17	20.6	51.6	12.1	0	0.5	51.6
2003	3.4	0	0	0	6	41.4	35.4	32.1	58.3	17.6	24.2	0	58.3
2004	0	0	2.7	0	33.6	45.8	0	54.3	71.2	7.1	0	5.3	71.2
2005	2.4	2.7	9	0	15	40.3	50.2	35.2	60	30.6	2.2	0	60
2006	0	0	8.5	0	3.6	37	23.4	63.2	26.3	48.2	24.6	8.2	63.2
2007	8.5	4.5	0	0	0.4	53.1	68.8	26.9	40.6	12.8	7.5	13.9	68.8
2008	0	0	0	1.1	1.7	42	42.4	27.8	79.3	46.4	0	0	79.3
2009	10.9	0	0	7.3	18.9	23.7	42.2	30.2	73.3	40.2	0	2.2	73.3
2010	13.8	51.8	0	0	15.8	56.1	63.6	38.5	76.2	0	0	0	76.2
2013	40.6	0	0	0	17	22	49.9	35.6	51.4	14.3	10.5	29.9	51.4
2014	4.3	0	0.4	0	14.7	25.8	47.2	41.1	39.6	37.7	9.8	1.8	47.2
2015	0.4	9.2	44	13.8	13.4	68.2	52.3	38.7	47.8	48	1.9	26.4	68.2
2018	20.6	9	0	0.3	30.6	56.9	54.8	70.8	48.6	28.7	26.2	1.6	70.8
Average	4.79	3.58	3.40	2.02	6.29	20.52	20.05	20.92	23.99	14.29	6.32	3.59	

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

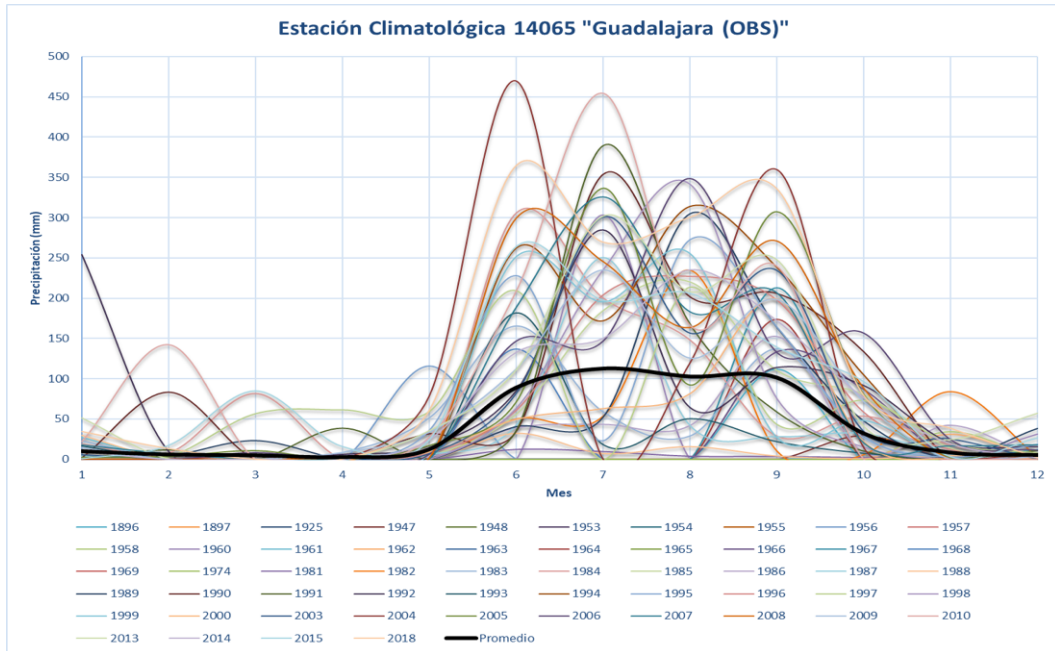


Figure 3. Monthly accumulated precipitation heights, station 14065.

Figura 3. Alturas de precipitación acumuladas mensuales, estación 14065.

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Metereologico Nacional (2022).

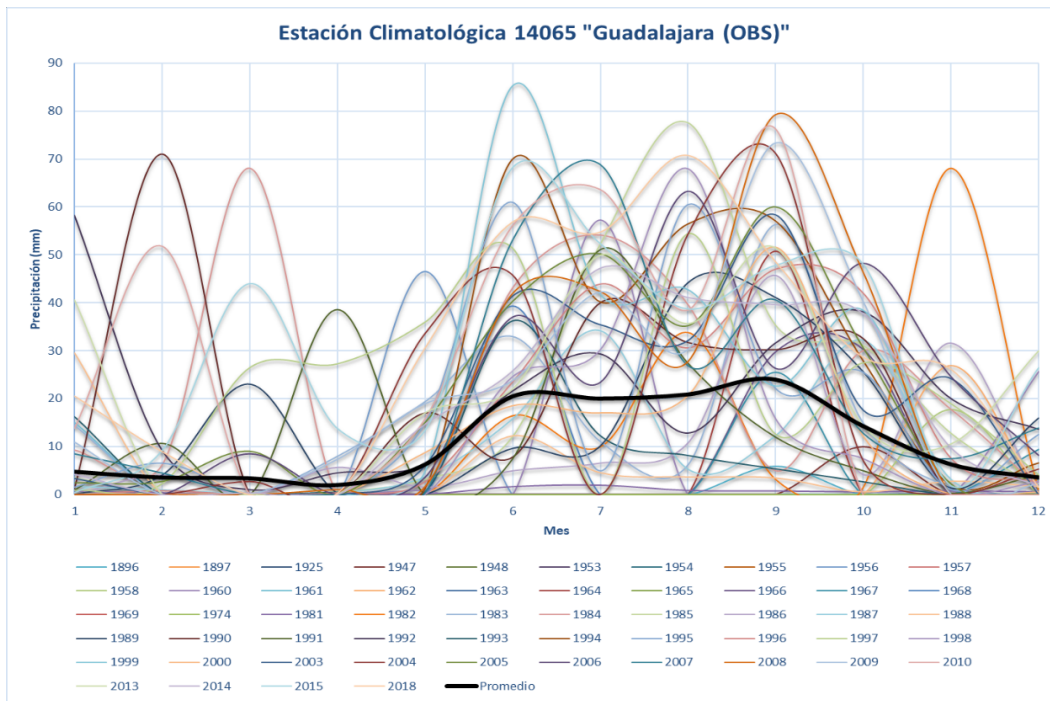


Figure 4. Maximum monthly precipitation heights, station 14065.

Figura 4. Alturas de precipitación máximas mensuales, estación 14065

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Metereologico Nacional (2022).

Table 5. The number of days with recorded precipitation height at station 14169.
Tabla 5. Número de días con registro de altura de precipitación en la estación 14169.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Days/	Months/
													Year	Year
1941	0	0	0	0	0	0	31	31	30	31	30	31	184	6
1942	31	28	31	30	0	30	31	31	30	31	30	31	334	11
1943	31	28	0	30	31	0	0	0	0	0	0	0	120	4
1944	0	0	0	0	0	0	17	31	0	0	0	0	48	1
1945	0	0	31	30	31	30	31	31	30	31	0	31	276	9
1946	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1947	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1948	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1949	31	28	31	30	31	30	31	31	30	0	0	0	273	9
1954	0	0	0	0	31	30	31	31	30	31	30	31	245	8
1955	31	28	31	0	31	30	31	31	30	31	30	31	335	11
1956	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1957	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1958	31	28	31	30	31	26	31	31	30	31	30	31	361	11
1959	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1960	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1961	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1962	31	28	31	30	31	12	31	31	30	31	30	31	347	11
1963	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1964	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1965	31	28	31	30	31	30	31	31	29	31	30	31	364	12
1966	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1967	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1968	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1969	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1970	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1971	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1972	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1973	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1974	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1975	31	0	31	30	31	30	31	31	0	31	30	31	307	10
1976	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1977	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1978	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1979	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1980	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1981	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1982	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1983	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1984	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12

Continuation
Table 5. The number of days with recorded precipitation height at station 14169.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Days/	Months/
													Year	Year
1985	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1986	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1987	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1988	31	29	31	30	31	30	31	0	30	31	30	31	335	11
1989	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1990	31	28	31	30	0	0	0	0	0	0	0	0	120	4
1991	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1992	31	0	0	0	0	0	22	31	30	31	30	31	206	6
1993	31	28	29	30	31	30	0	0	0	31	30	31	271	9
1994	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1995	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1996	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
1997	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1998	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
1999	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2000	31	29	31	30	31	30	31	31	29	31	29	0	333	11
2001	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31	364	12
2002	31	28	31	30	31	0	31	31	30	31	30	31	335	11
2003	0	28	31	30	31	30	31	0	30	31	30	31	303	10
2004	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2005	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2006	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	0	334	11
2007	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2008	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2009	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2010	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2011	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2012	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2013	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2014	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2015	31	27	31	30	31	30	31	31	30	31	29	31	363	12
2016	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366*	12
2017	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2018	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	12
2019	31	28	31	30	0	0	0	0	0	0	0	0	120	4

*Leap year. *Año bisiesto.

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

Table 6. Monthly accumulated precipitation heights at station 14169.
Tabla 6. Alturas de precipitación acumuladas mensuales en la estación 14169

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Annual
1946	15.1	9	0	8.9	20.2	361.6	211.3	192.5	95.7	186	48.2	40	1188.5
1947	50	6.5	0	0	22	140.4	228.5	205.5	177	57.5	0.5	5.5	893.4
1948	69.1	0	1	33	13.5	228.5	169.7	142.7	49	38	12.5	3.5	760.5
1956	0	0	0	0	98	123	242.4	208.1	105.3	4	0	0	780.8
1957	0	0	0	0	10	32.5	131.5	127.7	65.1	39.5	0	2.5	408.8
1959	8	0	0	14.9	14.2	174.9	308.2	223.6	113.3	67.2	0	5	929.3
1960	8.2	0	0	0	40	26	258	302	50	17	8	30	739.2
1961	16	0	0	0	30	212	264	143	145	28	0	0	838
1963	0	8.6	0	5	55.7	229.3	334.9	197.4	115	24	1.6	104.3	1075.8
1964	62	0	0	0	10.8	175.1	251.7	317.2	109.7	38	39.7	100.5	1104.7
1965	1.3	94.1	0	4.4	33.3	179.1	269	290.4	95.5	50.2	0	24.4	1041.7
1966	8.8	35.5	35.8	52.2	83.2	219.3	241.7	269.9	147.5	77.5	0	0	1171.4
1967	79.8	0	3.5	0.3	31	227	295	253.5	226.7	109.9	56	10.2	1292.9
1968	1.6	37.5	125.4	20.9	10.9	181.6	267.8	183.5	166.7	9.2	0.7	33.9	1039.7
1969	0.6	0	1	0	9.7	96.3	128.9	140.4	148.5	48.5	0	5.9	579.8
1970	1	25.6	0	0	0	294.7	275	182.3	130.8	48.2	22.3	0	979.9
1971	7.2	0	0	0	48.8	297.7	196.1	231.4	224	66	0.5	0.8	1072.5
1972	3.3	0	0	0	30.2	274.9	237.1	221.7	164	4	27.4	0.3	962.9
1973	13.4	7.1	0	0.4	10.1	127.8	355.5	378.4	134	80.1	0	0	1106.8
1974	1.6	0	0	11.6	67.5	177	253.9	202.4	214.3	11.9	1.3	14.9	956.4
1976	0.5	0.3	1.8	4.1	10.8	60.6	408	224.2	113.4	55.5	69.7	2	950.9
1977	1.4	0	0	14.9	37.8	243.8	271.6	191.7	192.6	85.3	26.3	3.5	1068.9
1978	0	13.8	0	0	14.9	200.5	292.9	175	231.7	143.8	39.2	2.4	1114.2
1979	1.8	15	0	0	11.5	73	255.3	260.6	75.7	0	0	37.1	730
1980	24.8	1.2	0	3.4	3.7	181	250.7	279	211.3	64.8	32.2	34.1	1086.2
1981	59	15.5	3.5	15.5	6.7	364.2	286.1	94.9	116	57	22.7	14.7	1055.8
1982	0	0	0	2.3	15.5	89.4	319	244.1	69.5	30.5	92.9	46.8	910
1983	20.9	0	0	0	48.7	71.8	375.8	162.3	100.1	31.2	26.5	0	837.3
1984	21.9	13.1	1.5	0	10.6	311.1	193.9	119.7	154.8	48.2	0	11.9	886.7
1985	18.9	0	0	0	14.5	321.4	172.4	133.7	115.3	86.4	18	2.8	883.4
1986	0	5.5	0	4.8	10	240	156	212.3	130.3	64.2	30.5	0.4	854
1987	4.2	28.5	4.4	9	34.3	282.2	243.3	249.1	223.4	0	3.5	2.1	1084
1989	0	9.8	0	0	0	52.2	289.7	253.8	166	51.6	10.5	48.7	882.3
1991	0.5	12.8	0	0	0	156.7	465.2	131.9	108.9	34.6	17	11.7	939.3
1994	0.2	0	0	1.5	0	160	184.5	214.5	322.5	90	4.5	0	977.7
1995	2	0	0	0	32	257	156.5	316	153.5	18	7	20.3	962.3
1996	0	0	0	0	12.6	192	213	256.5	166	56	10	0	906.1
1997	1	2	58.5	58	20.5	190.5	399	196	122.5	108.5	27	3	1186.5
1998	0	0	0	0	0	121.5	363	307	231	99	0	0	1121.5
1999	0	0	0	0	5	303.5	293	184.5	91.5	36	3	0	916.5
2001	0	0	2.5	0	59	212.5	331	218	92.5	37.5	0	0	953

Continuation

Table 6. Monthly accumulated precipitation heights at station 14169.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Annual
2004	40.5	0	1.5	0	55	425.1	141.5	239.5	441	27	0	6.5	1377.6
2005	4	0	0	0	12	25.3	364	113.5	226.6	95.2	3.5	0	844.1
2007	17.5	13	0	0	1.5	178.5	283.5	232	185.5	40.7	12.5	3	967.7
2008	0	0	0	0	2.5	434.8	315.8	221.9	221.5	81.1	0	0	1277.6
2009	15.5	0	0	0	60.3	173.7	244.2	132.2	196.9	56.5	0	3	882.3
2010	48.5	137.8	0.1	0	18.4	236.5	353.8	125.1	311.5	0	0	0	1231.7
2011	10	0	1	0	24	75.3	399	239.8	118.5	97	0	0	964.6
2012	0	88	0	0	1.5	194	246	321.5	132.5	29	0	0	1012.5
2013	62	0	0	0	53.5	162.5	341	169.5	302.5	42.5	25.5	75	1234
2014	4.5	0	0	0	63	161.5	178.5	269	202.5	52.5	28	5	964.5
2015	3.5	24	70.5	21	23	259	314	130	186	107	2	28.5	1168.5
2016	0	6.5	13	0	17.5	246	377	182	149.9	15.5	42.5	0	1049.9
2017	0	1	0	0	10	162.5	163.5	218.8	227	22.5	0	30	835.3
2018	27.5	18.5	0	5	58	249.5	148	269.8	267	44	32.5	8	1127.8
Average	13.41	11.46	5.91	5.29	25.23	197.23	267.45	212.78	164.26	52.97	14.65	14.22	

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

Tabla 7. Maximum monthly precipitation heights at station 14169.**Tabla 7. Alturas de precipitación máximas mensuales en la estación 14169.**

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Maximum annual precipitation
1946	11	9	0	7.2	12	100	52	35	35	72	23.5	10	100
1947	16	6.5	0	0	14.5	40	83.5	62	68	16.5	0.5	3	83.5
1948	51.5	0	0.5	24.5	6	60	35	38	19	15	6.5	1	60
1956	0	0	0	0	34.1	37.5	30.2	41	24.5	4	0	0	41
1957	0	0	0	0	10	26.5	35.5	38.5	12.5	25	0	2.5	38.5
1959	8	0	0	5	8	25	40	42.3	25.4	9.3	0	3	42.3
1960	3	0	0	0	8.3	9	37	50	18	8	8	18	50
1961	7	0	0	0	9	32	45	42	25	15	0	0	45
1963	0	8.6	0	3.8	26.5	42.6	48.3	58.6	39.6	10.1	1.4	62.4	62.4
1964	24.7	0	0	0	10.8	32.5	43.5	52.5	38.3	20	18.3	24.8	52.5
1965	1.3	51.4	0	4.2	33.3	62.2	41.2	50.5	25.4	22.4	0	17.7	62.2
1966	5.5	34.1	32.7	19.1	38.2	52.7	48.3	58.8	24.8	25.2	0	0	58.8
1967	49.5	0	3.5	0.3	16	52.6	53.1	39.2	54.8	33.1	56	9.7	56
1968	1.6	23.5	81	14.3	10.9	31.4	38.5	37.5	38.2	3	0.7	13.1	81
1969	0.6	0	0.8	0	8.1	43.7	48.5	41	30	40	0	3.6	48.5
1970	1	11.7	0	0	0	72.1	68.5	34.3	22.5	47.3	17.5	0	72.1
1971	5.7	0	0	0	29.3	53.5	26.3	48.2	31	23.4	0.5	0.8	53.5
1972	2.4	0	0	0	14.7	44.4	53.7	67.9	39.8	3	14.5	0.3	67.9
1973	9.4	4.2	0	0.4	5.2	35.2	52.8	51	23.8	22.3	0	0	52.8

Continuation
Tabla 7. Maximum monthly precipitation heights at station 14169.

Year	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Maximum annual precipitation
1974	1.3	0	0	9	24.8	31.2	46.8	36.1	76.8	10.3	1.3	7.9	76.8
1976	0.5	0.3	1.8	3.1	10.8	15	64	48.5	38.9	30	19.2	0.8	64
1977	1	0	0	7	26	72.2	54.5	29.5	60.5	32	9.9	2.5	72.2
1978	0	8.5	0	0	8.9	55.2	43	28.1	38	41.7	32.5	2.4	55.2
1979	1.8	7.8	0	0	11.5	21	41.8	47.5	18	0	0	22	47.5
1980	7.2	1.2	0	1.8	2.7	35.2	28	66	49.4	44	19.5	16.9	66
1981	21.5	10.5	3	6.9	5.2	74.9	56.2	12.6	40	22	22.7	13.3	74.9
1982	0	0	0	2.3	11.4	24.8	62.9	43.8	25.6	11	78	15.8	78
1983	13.2	0	0	0	21.5	14.2	48.8	26.8	23.3	18.4	9	0	48.8
1984	13.5	10.8	1.5	0	6	50.5	50.2	26.2	38	24.8	0	10.1	50.5
1985	15.8	0	0	0	13.5	72	30.2	20	42	25.5	16.9	1.5	72
1986	0	5.5	0	4.8	2.8	35.6	29	42	23.1	32.2	20.5	0.4	42
1987	3	17.1	4.2	6.4	18	96	43	49.3	56.5	0	3.5	1.2	96
1989	0	9.8	0	0	0	17.7	45.7	46.5	49.3	42.4	10	16.8	49.3
1991	0.5	12.8	0	0	0	72.7	65.1	27.3	46.5	16	16.8	4.8	72.7
1994	0.2	0	0	1.5	0	33.5	32	34.5	66	30.5	4.5	0	66
1995	2	0	0	0	21.5	53	28.5	53	40.5	18	7	14	53
1996	0	0	0	0	6.5	54	51	50	39	32.5	6.5	0	54
1997	1	2	24	24	10	48	62	38	36	33.5	26	3	62
1998	0	0	0	0	0	45	68	85	72	43	0	0	85
1999	0	0	0	0	2.5	88	40	29	26	20.5	3	0	88
2001	0	0	1.5	0	29	48	35	29	17	15	0	0	48
2004	13	0	1.5	0	24	63	42	57	91	15	0	5	91
2005	4	0	0	0	12	16	42	38	45.5	59	3.5	0	59
2007	10.5	11.5	0	0	1.5	34	74.5	43	48.5	15	8.5	3	74.5
2008	0	0	0	0	2.5	56	54	32	34.7	39	0	0	56
2009	15.5	0	0	0	34	32	56.5	37.5	50	22.5	0	2	56.5
2010	21	45	0.1	0	18.4	70	49	20	91	0	0	0	91
2011	10	0	1	0	24	29.5	57	41	30.5	29	0	0	57
2012	0	30	0	0	1.5	42	44	42	62	20	0	0	62
2013	50	0	0	0	40	35.5	57	32	60	21	9	35	60
2014	3.5	0	0	0	46	31	36	50	51	26	10.5	2.5	51
2015	3.5	13.5	46	16	15	84	68	44	35.5	49.5	2	28.5	84
2016	0	6.5	9.5	0	9.5	42	66	32	48	12	17	0	66
2017	0	1	0	0	10	71	32	51	33	14	0	17	71
2018	13.5	13	0	5	31	42	32	37.5	48	12.5	24	8	48
Average	7.73	6.47	3.87	3.03	14.49	46.52	47.57	42.07	40.85	23.50	9.61	7.35	

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

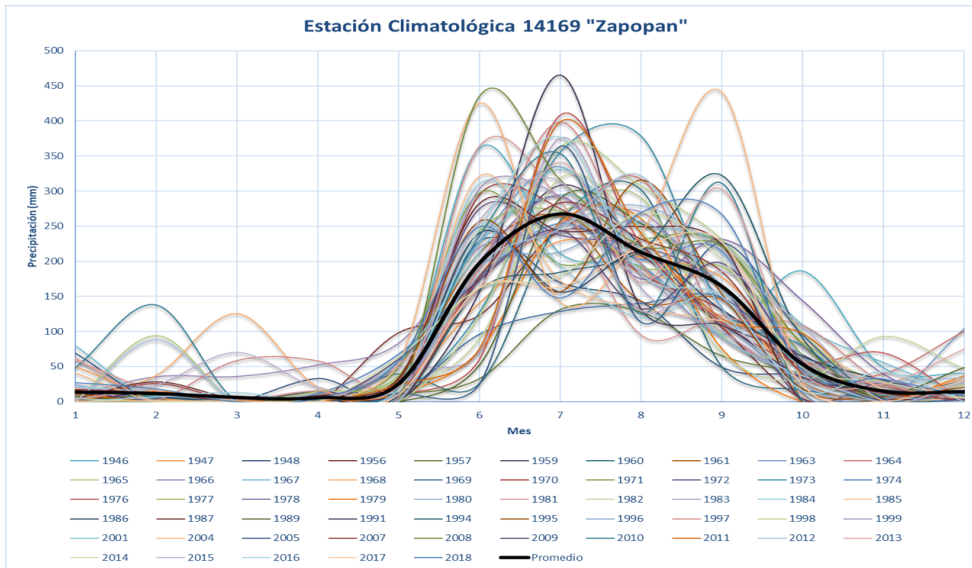


Figure 5. Monthly accumulated precipitation heights, station 14169.

Figura 5. Alturas de precipitación acumuladas mensuales, estación 14169

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

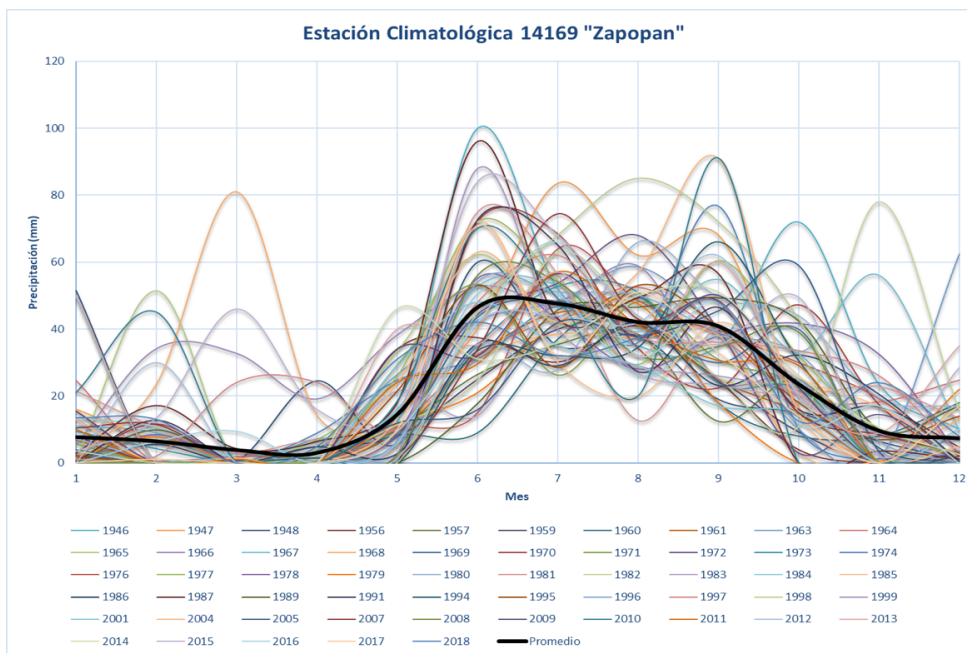


Figure 6. Maximum monthly precipitation heights, station 14169.

Figura 6. Alturas de precipitación máximas mensuales, estación 14169

Source: Own elaboration based on information from the Servicio Meteorológico Nacional (2022).

Through analyzed data, it was observed that station 14169, also known as "Zapopan", has a higher quality of data, as it has a greater tendency towards the average. In this way, we proceeded to data cleansing and analysis, then, we proceeded to the analysis using different probability distributions to get a better fit. The standard errors obtained by each of the distributions analyzed are shown in Table 8. It can be seen that the distribution with the best fit is the Double Gumbel function, which is why it was used and the parameters were chosen in Table 9.

Por medio de la información obtenida, se pudo observar que la estación 14169, también denominada "Zapopan", cuenta con una mayor calidad de datos, al tener estos una mayor tendencia hacia el promedio. De esta manera se procedió a su análisis y depuración de los mismos, y una vez tenida la muestra de datos se procedió al análisis mediante diferentes distribuciones de probabilidad para ver cuál de ellas cuenta con un mejor ajuste. Asimismo, se muestran los errores estándar obtenidos mediante cada una de las distribuciones analizadas en la tabla 8. En ella se puede observar que la distribución que cuenta con un mejor ajuste es la función de Doble Gumbel, por lo cual se procedió a su empleo y elección de los parámetros en la tabla 9.

Table 8. Standard error analysis.
Tabla 8. Resumen de errores estándar

Function	Periods		Maximum Likelihood	
	2 parameters	3 parameters	2 parámetros	2 parameters
Normal	3.374	-----	Normal	3.374
Lognormal	1.997	1.998	Lognormal	1.997
Gumbel	1.936	-----	Gumbel	1.936
Exponential	3.314	-----	Exponential	3.314
Gamma	2.310	1.900	Gamma	2.310
Double Gumbel		1.398		

Source: Own elaboration (2020).

Table 9. Summary of standard errors.
Tabla 9. Resumen de errores estándar

Parameter	Alpha 1	Beta 1	Alpha 2	Beta 2	p
Valor	0.11315	51.311	0.11227	81.235	0.82

Source: Own elaboration (2020)

Subsequently, to obtain the daily precipitation heights and their respective conversions to 24-hour precipitation heights using the factor 1.13, as well as the 1-hour precipitation from the Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2019) isohyet maps.

Posteriormente, se procedió a obtener las alturas de precipitación diarias y sus respectivas conversiones a alturas de precipitación en 24 horas mediante el factor 1.13, así como las precipitaciones en 1 hora de los mapas de isoyetas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2019).

Table 10. Precipitation heights for different return periods.
Tabla 10. Alturas de precipitación para diferentes periodos de retorno.

Recovery period, Tr (years)	Precipitation (mm per day)	Precipitation (mm 24h)	Precipitation, mm 1 hr (SCT)
10	85.5	96.62	50
25	95.1	107.46	60
50	101.7	114.92	75
100	108	122.04	

Source: Own elaboration based on information from Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2019).

The results of the parameters used in Chen's formula can be seen in table 11.

Los resultados de los parámetros utilizados en la fórmula de Chen se pueden observar en la Tabla 11.

Table 11. R, F, a, b, and c parameters for use in Chen's formula.
Tabla 11. Parámetros R, F, a, b y c para su uso en la fórmula de Chen.

Estación	Parámetro				
	R	F	a	b	c
14169. Zapopan	0.5762	1.2631	38.6397	11.6499	0.8715

Source: Own elaboration based on Campos-Aranda (2008).

Once the parameters of the previous table were obtained, the precipitation intensities of climatological station 14169 were obtained (Table 12 and Figure 7).

Una vez obtenidos los parámetros de la Tabla anterior, se obtuvieron las intensidades de precipitación de la estación climatológica 14169 (Tabla 12 y figura 7).

Table 12. Intensities for different durations and Tr of climatological station 14169.
Tabla 12. Intensidades para diferentes duraciones y Tr de la estación climatológica 14169.

Tr (years)	Intensities (mm/hr) for station 14169, Zapopan.										
	Duration (min)										
	5	10	15	25	30	45	60	80	100	120	1440
2	135.91	108.11	90.20	68.33	61.13	46.75	38.10	30.74	25.88	22.42	2.77
5	153.35	121.98	101.78	77.10	68.97	52.75	42.99	34.69	29.21	25.30	3.13
10	166.54	132.48	110.53	83.73	74.90	57.29	46.69	37.67	31.72	27.48	3.40
20	179.74	142.97	119.29	90.37	80.84	61.83	50.38	40.66	34.23	29.65	3.66
25	183.98	146.35	122.11	92.50	82.75	63.29	51.57	41.62	35.04	30.35	3.75
50	197.18	156.84	130.86	99.13	88.68	67.83	55.27	44.60	37.55	32.53	4.02
100	210.37	167.34	139.62	105.77	94.61	72.37	58.97	47.58	40.06	34.71	4.29

Source: Own elaboration based on Campos-Aranda (2008).

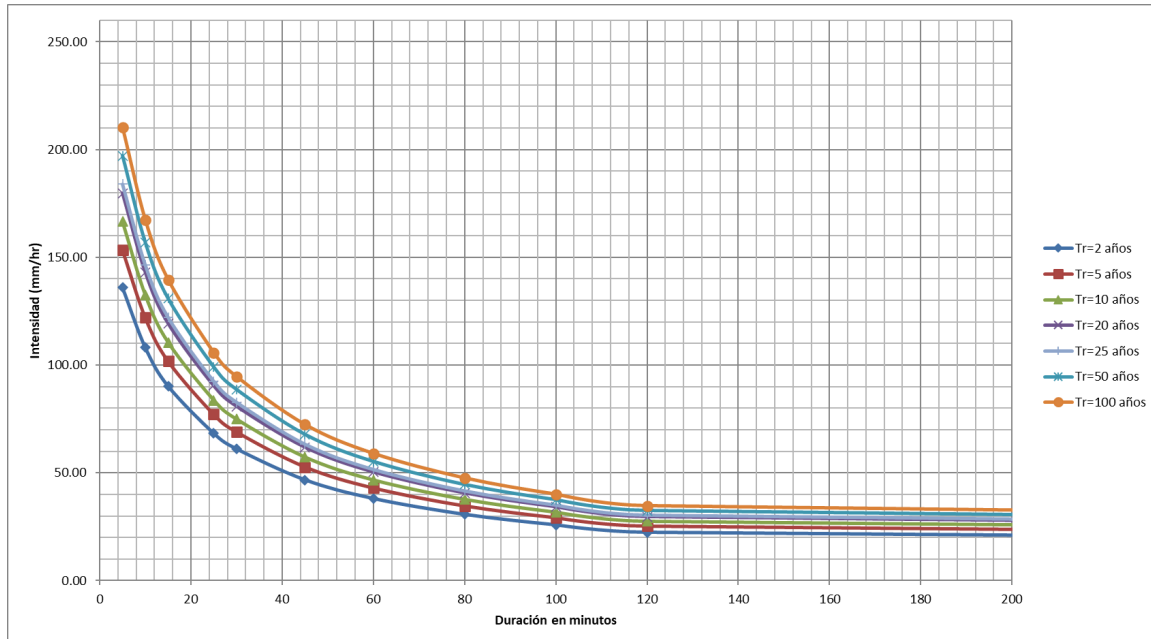


Figure 7. Intensity-Duration-Frequency curves, station 14169.

Figura 7. Intensity-Duration-Frequency curves, station 14169.

Source: Own elaboration based on Campos-Aranda (2008).

The length and slope of the main channel were obtained using the model previously made in Qgis. The latter through the average slope method, whose length of the channel was 16,494.2479 m and the slope was 0.0209 (m/m). The concentration-time was 2.54 hours by Kirpich. Subsequently, the Curve Number was obtained for each of the conditions to be analyzed. Satellite images from the EarthExplorer platform of United States Geological Survey (2022) were used on May 27, 2008, and February 19, 2022, the first of which was obtained by the LANDSAT 5 satellite and the second by LANDSAT 9. Obtained results are shown in Figures 8 and 9. The curve numbers proposed by Chow-Ven (1994) were used for this procedure.

Por medio del modelo realizado previamente en Qgis se obtuvo la longitud y pendiente del cauce principal. Esta última a través del método de la pendiente media, cuya longitud del cauce resultó en 16,494.2479 m y la pendiente de 0.0209 (m/m). El tiempo de concentración fue de 2.54 horas por Kirpich. Posteriormente se obtuvo el Número Curva para cada una de las condiciones a analizar. Para ello se emplearon imágenes satelitales de la plataforma *EarthExplorer* del United States Geological Survey (2022) para el 27 de mayo del 2008 y el 19 de febrero del 2022, siendo la primera de ellas obtenidas por el satélite LANDSAT 5 y la segunda por LANDSAT 9. Con dichas fotografías se obtuvieron las coberturas del suelo para ambos escenarios. Se muestran los resultados obtenidos en las figuras 8 y 9. Para este procedimiento se emplearon los números de curva propuestos por Chow-Ven (1994).

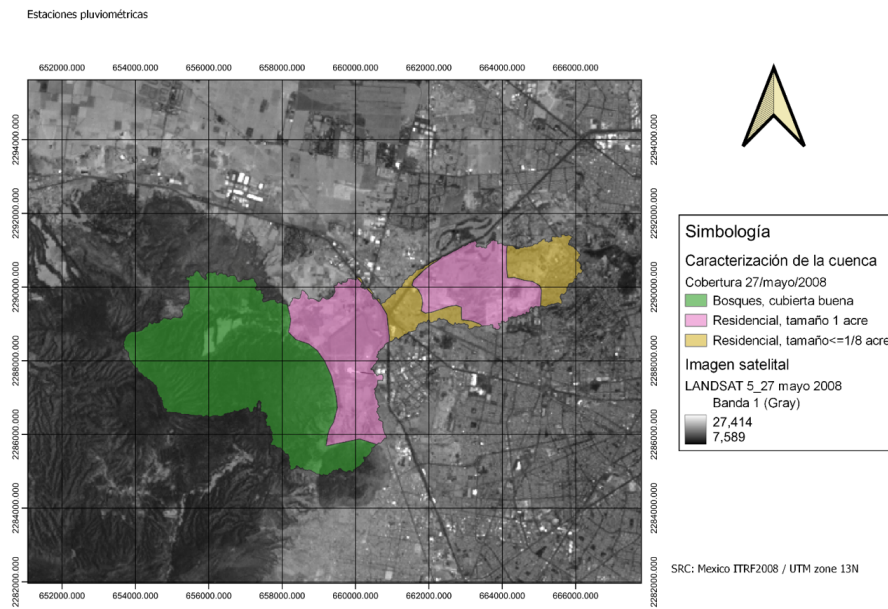


Figure 8. Land cover for May 27, 2008.

Figura 8. Coberturas del suelo para el 27 de mayo del 2008.

Source: Own elaboration based on data obtained from United States Geological Survey (2022).

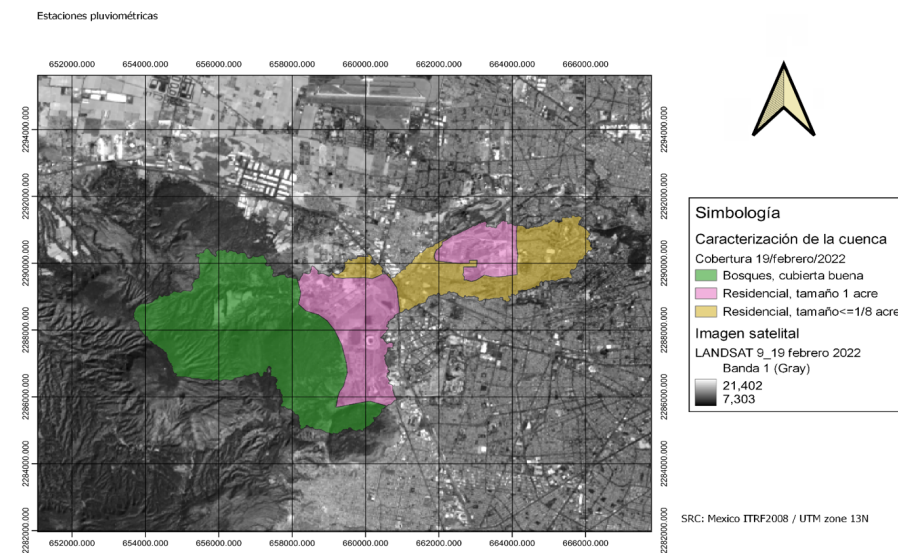


Figure 9. Land cover for February 19, 2022.

Figura 9. Coberturas del suelo para el 19 de febrero del 2022.

Source: Own elaboration based on data obtained from United States Geological Survey (2022)

The Curve Number (CN) weights the background land conditions, the cover, and the type of soil where runoff occurs to determine the effective runoff produced by a given event. This methodology is usually the most widely used "to transform total precipitation into effective precipitation, arose from the observation of the hydrological phenomenon in different soil types in various states and for different antecedent humidity conditions" (Lavao-Pastrana & Corredor-Rivera, 2014).

In this context, the edaphology of the study area was obtained using the Edaphology charts with scales 1: 250,000 and 1: 1,000,000 dated 2001 (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, 2001). Figure 10 shows the soils of the basin along with the texture of each of the polygons obtained.

El Número Curva o Curve Number (CN) toma en cuenta las condiciones y antecedentes del terreno, la cobertura y el tipo de suelo dónde se produce el escurrimiento para poder determinar el escurrimiento efectivo que se produce ante un evento dado. Esta metodología suele ser la más utilizada "para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente" (Lavao-Pastrana & Corredor-Rivera, 2014).

En este contexto, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (2001) se obtuvo la edafología de la zona del estudio mediante con escalas 1:250,000 y 1:1,000,000. En la figura 10, se muestra la edafología de la cuenca junto con la textura de cada uno de sus polígonos obtenidos.

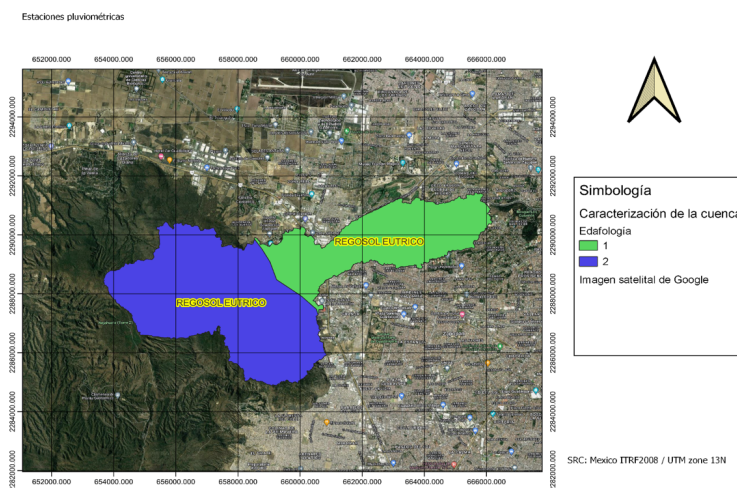


Figure 10. Edaphology of the basin.

Figura 10. . Edafología de la cuenca

Source: Own elaboration based on data obtained from Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (2001).

It is important to note that this analysis was carried out with photographs with a pixel size of 30 meters, so it is a large-scale analysis and could vary if photographs with a higher pixel quality were used. In this sense, once the data from the previous illustrations were obtained, we proceeded to merge both the coverages and the edaphology of each of the polygons for both scenarios to obtain the results shown in Figures 11 and 12, and Table 13.

Es importante destacar que este análisis se realizó con fotografías con tamaño de pixel de 30 metros, por lo cuál es un análisis a gran escala y pudiera variar si se emplearan fotografías con una mayor calidad de pixel. En este sentido, una vez obtenidos los datos de las ilustraciones anteriores, se procedió a superponer tanto las coberturas como la edafología de cada uno de los polígonos para ambos escenarios para así obtener los resultados mostrados en las figuras 11 y 12, y la Tabla 13.

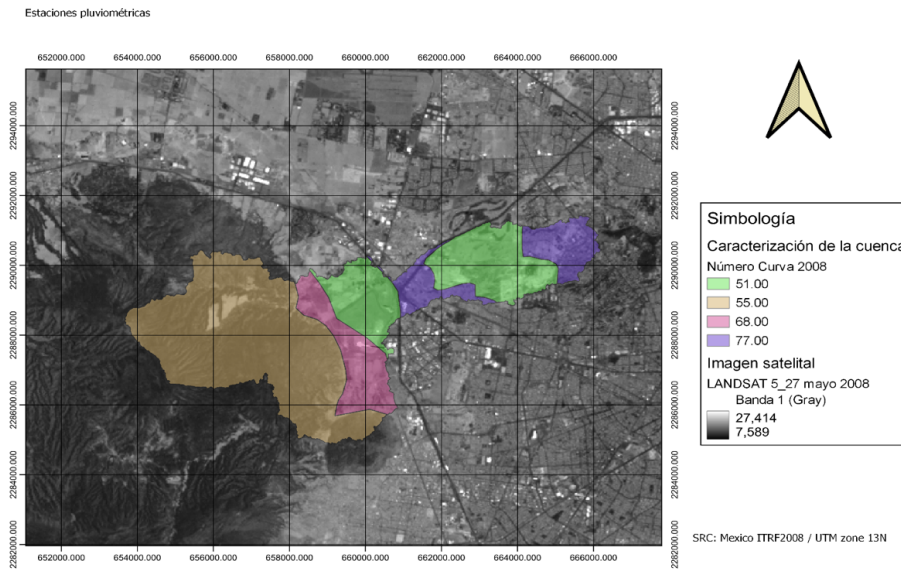


Figure 11. Number Curve for May 27, 2008.

Figura 11. Número Curva para el 27 de mayo del 2008.

Source: Own elaboration based on data obtained from United States Geological Survey (2022).

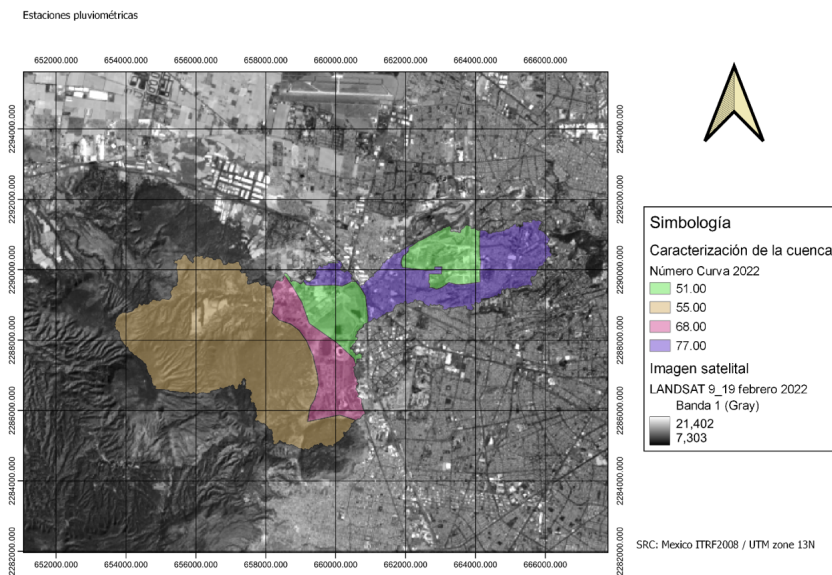


Figure 12. Curve number for February 19, 2022.

Figura 12. Número Curva para el 19 de febrero del 2022.

Source: Own elaboration based on data obtained from United States Geological Survey (2022).

Table 13. Curve number for normal humidity conditions.
Tabla 13. Número de curva para condiciones normales de humedad.

Use	Area (km ²)		NC	(Area) X (Curve number)	
	27/05/2008	19/02/2022		27/05/2008	27/05/2008
Forest with canopy in good condition, with B-grade soil	18021366.03	18021366.03	55	Forest with canopy in good condition, with B-grade soil	18021366.03
Residential, average plot size 1/8 acre or less, A-grade soil	4196205.18	7084438.05	77	Residential, average plot size 1/8 acre or less, A-grade soil	4196205.18
Residential, average plot size 1 acre or less, A-grade soil	8442541.28	5556037.46	51	Residential, average plot size 1 acre or less, A-grade soil	8442541.28
Residential, average plot size 1 acre or less, B-grade soil	3850573.16	3850573.16	68	Residential, average plot size 1 acre or less, B-grade soil	3850573.16
Σ	34510685.65	34510685.65		Σ	34510685.65

Source: Own elaboration based on United States Department of Agriculture (1986)

From the above analysis, it was possible to obtain a Curve Number of 58.15 for the conditions in 2008 and 60.32 for 2022. Subsequently, stream peak flows for antecedent wet conditions (CN, III) were obtained for both scenarios (May 27, 2008, and February 19, 2022), which are shown in Tables 14 and 15, respectively.

Del análisis anterior fue posible obtener un Número Curva de 58.15 para las condiciones en el 2008 y uno de 60.32 para el 2022. Posteriormente se obtuvieron los caudales pico para condiciones antecedentes húmedas (CN, III) para ambos escenarios (27 de mayo del 2008 y 19 de febrero del 2022), los cuales se muestran en las tablas 14 y 15 respectivamente.

Table 14 .Peak flows for different storm durations and wet antecedent conditions (CN, III) for May 27, 2008.
Tabla 14. Caudales pico para diferentes duraciones de tormenta y condiciones antecedentes húmedas (CN, III) para el 27 de mayo del 2008

d (hrs)	Tr	CN	i (cm/hr)	P (cm)	Pe (cm)	X	tr (hrs)	d/tr	Z	Q (m ³ /s)
0.60	10	58.15	6.66	4.00	0.01	0.01	1.99 h	0.301	0.228	0.226
0.80	10	58.15	5.48	4.38	0.03	0.03	1.99 h	0.401	0.302	1.002
1.00	10	58.15	4.67	4.67	0.05	0.05	1.99 h	0.501	0.383	1.950
1.20	10	58.15	4.08	4.89	0.08	0.07	1.99 h	0.602	0.452	2.836
1.40	10	58.15	3.63	5.08	0.10	0.07	1.99 h	0.702	0.512	3.613
1.60	10	58.15	3.27	5.24	0.13	0.08	1.99 h	0.802	0.567	4.280
1.80	10	58.15	2.99	5.37	0.15	0.08	1.99 h	0.903	0.616	4.847
2.00	10	58.15	2.75	5.50	0.17	0.08	1.99 h	1.003	0.661	5.334
2.20	10	58.15	2.55	5.60	0.19	0.08	1.99 h	1.103	0.703	5.734
2.40	10	58.15	2.38	5.70	0.21	0.09	1.99 h	1.204	0.742	6.096
2.60	10	58.15	2.23	5.79	0.22	0.09	1.99 h	1.304	0.779	6.395

Continuation

Table 14 .Peak flows for different storm durations and wet antecedent conditions (CN, III) for May 27, 2008.

2.80	10	58.15	2.10	5.87	0.24	0.09	1.99 h	1.404	0.813	6.656
3.00	10	58.15	1.98	5.94	0.25	0.08	1.99 h	1.504	0.846	6.878
3.20	10	58.15	1.88	6.01	0.27	0.08	1.99 h	1.605	0.877	7.075
3.40	10	58.15	1.79	6.08	0.28	0.08	1.99 h	1.705	0.907	7.234
3.60	10	58.15	1.71	6.14	0.30	0.08	1.99 h	1.805	0.935	7.390
3.80	10	58.15	1.63	6.19	0.31	0.08	1.99 h	1.906	0.962	7.513
4.00	10	58.15	1.56	6.25	0.32	0.08	1.99 h	2.006	1.000	7.717
4.20	10	58.15	1.50	6.30	0.33	0.08	1.99 h	2.106	1.000	7.628
4.40	10	58.15	1.44	6.35	0.35	0.08	1.99 h	2.206	1.000	7.537
4.60	10	58.15	1.39	6.40	0.36	0.08	1.99 h	2.307	1.000	7.459
4.80	10	58.15	1.34	6.44	0.37	0.08	1.99 h	2.407	1.000	7.359
5.00	10	58.15	1.30	6.49	0.38	0.08	1.99 h	2.507	1.000	7.272
5.20	10	58.15	1.26	6.53	0.39	0.07	1.99 h	2.608	1.000	7.182
5.40	10	58.15	1.22	6.57	0.40	0.07	1.99 h	2.708	1.000	7.099
5.60	10	58.15	1.18	6.60	0.41	0.07	1.99 h	2.808	1.000	7.004
5.80	10	58.15	1.15	6.64	0.42	0.07	1.99 h	2.909	1.000	6.928
6.00	10	58.15	1.11	6.67	0.43	0.07	1.99 h	3.009	1.000	6.827
6.20	10	58.15	1.08	6.71	0.44	0.07	1.99 h	3.109	1.000	6.756
6.40	10	58.15	1.05	6.74	0.44	0.07	1.99 h	3.209	1.000	6.668
6.60	10	58.15	1.03	6.77	0.45	0.07	1.99 h	3.310	1.000	6.592
6.80	10	58.15	1.00	6.81	0.46	0.07	1.99 h	3.410	1.000	6.533
7.00	10	58.15	0.98	6.83	0.47	0.07	1.99 h	3.510	1.000	6.441

Source, Own elaboration (2022).

Table 15. Peak flows for different storm durations and wet antecedent conditions (CN, III) for February 19, 2022.**Tabla 15. Caudales pico para diferentes duraciones de tormenta y condiciones antecedentes húmedas (CN, III) para el 19 de febrero del 2022**

d (hrs)	Tr	CN	i (cm/hr)	P (cm)	Pe (cm)	X	tr (hrs)	d/tr	Z	Q (m ³ /s)
1.00	10	60	4.67	4.67	0.10	0.10	1.99 h	0.501	0.383	3.585
1.20	10	60	4.08	4.89	0.13	0.11	1.99 h	0.602	0.452	4.769
1.40	10	60	3.63	5.08	0.16	0.12	1.99 h	0.702	0.512	5.754
1.60	10	60	3.27	5.24	0.19	0.12	1.99 h	0.802	0.567	6.570
1.80	10	60	2.99	5.37	0.22	0.12	1.99 h	0.903	0.616	7.241
2.00	10	60	2.75	5.50	0.25	0.12	1.99 h	1.003	0.661	7.804
2.20	10	60	2.55	5.60	0.27	0.12	1.99 h	1.103	0.703	8.253
2.40	10	60	2.38	5.70	0.29	0.12	1.99 h	1.204	0.742	8.655

Continuation
Table 15. Peak flows for different storm durations and wet antecedent conditions (CN, III) for February 19, 2022.

d (hrs)	Tr	CN	i (cm/hr)	P (cm)	Pe (cm)	X	tr (hrs)	d/tr	Z	Q (m ³ /s)
2.60	10	60	2.23	5.79	0.31	0.12	1.99 h	1.304	0.779	8.976
2.80	10	60	2.10	5.87	0.33	0.12	1.99 h	1.404	0.813	9.253
3.00	10	60	1.98	5.94	0.35	0.12	1.99 h	1.504	0.846	9.482
3.20	10	60	1.88	6.01	0.37	0.12	1.99 h	1.605	0.877	9.682
3.40	10	60	1.79	6.08	0.38	0.11	1.99 h	1.705	0.907	9.837
3.60	10	60	1.71	6.14	0.40	0.11	1.99 h	1.805	0.935	9.989
3.80	10	60	1.63	6.19	0.42	0.11	1.99 h	1.906	0.962	10.103
4.00	10	60	1.56	6.25	0.43	0.11	1.99 h	2.006	1.000	10.328
4.20	10	60	1.50	6.30	0.44	0.11	1.99 h	2.106	1.000	10.164
4.40	10	60	1.44	6.35	0.46	0.10	1.99 h	2.206	1.000	10.003
4.60	10	60	1.39	6.40	0.47	0.10	1.99 h	2.307	1.000	9.860
4.80	10	60	1.34	6.44	0.49	0.10	1.99 h	2.407	1.000	9.696
5.00	10	60	1.30	6.49	0.50	0.10	1.99 h	2.507	1.000	9.550
5.20	10	60	1.26	6.53	0.51	0.10	1.99 h	2.608	1.000	9.404
5.40	10	60	1.22	6.57	0.52	0.10	1.99 h	2.708	1.000	9.268
5.60	10	60	1.18	6.60	0.53	0.10	1.99 h	2.808	1.000	9.121
5.80	10	60	1.15	6.64	0.54	0.09	1.99 h	2.909	1.000	8.999
6.00	10	60	1.11	6.67	0.55	0.09	1.99 h	3.009	1.000	8.850
6.20	10	60	1.08	6.71	0.56	0.09	1.99 h	3.109	1.000	8.737
6.40	10	60	1.05	6.74	0.57	0.09	1.99 h	3.209	1.000	8.606
6.60	10	60	1.03	6.77	0.58	0.09	1.99 h	3.310	1.000	8.491
6.80	10	60	1.00	6.81	0.60	0.09	1.99 h	3.410	1.000	8.397
7.00	10	60	0.98	6.83	0.60	0.09	1.99 h	3.510	1.000	8.266

Source, Own elaboration (2022).

The peak flow obtained is highlighted in green shading and in bold. In both scenarios, stream peak flows were obtained for a 4 hours storm, with values of 7,717m³/s and 10,328 m³/s, respectively. Finally, synthetic hydrographs were obtained for both scenarios, which are shown in Figure 13. These hydrographs were made using the methodology described by Aldama-Rodríguez & Ramírez-Orozco (1998) and using a peak time of 3.99 hours and a base time of 11.98 hours. In them we could observe that the volume of direct runoff for May 27, 2008, was 169121.27 m³ and 226345.656 m³ for February 19, 2022, thus having an increase between them of 57224.39 m³. It would be necessary to court them with the

En ellas se resalta en sombreado de color verde y en negritas el caudal pico obtenido. En ambos escenarios se obtuvieron caudales pico para 4 horas de duración de tormenta, con valores de 7.717 m³/s y 10.328 m³/s, respectivamente. Finalmente, se obtuvieron los hidrogramas sintéticos para ambos escenarios, los cuales se muestran en la figura 13. Estos hidrogramas se realizaron mediante la metodología descrita por Aldama-Rodríguez & Ramírez-Orozco(1998) y empleando un tiempo pico de 3.99 horas y uno base de 11.98 horas. En ellos pudimos observar que el volumen de escurrimiento directo para el 27 de mayo del 2008 fue de 169121.27 m³ y de 226345.656 m³ para el 19 de febrero del 2022, teniendo así un aumento entre ellos de 57224.39 m³. Sería necesario cortejarlos con las

measures currently used by the municipality and carry out a simulation with the existing infrastructure and the runoff volumes to observe the reaction of the system in the event of an eventuality.

medidas que actualmente emplea el municipio y realizar una simulación con la infraestructura existente y los volúmenes escurridos para observar la reacción del sistema ante una eventualidad.

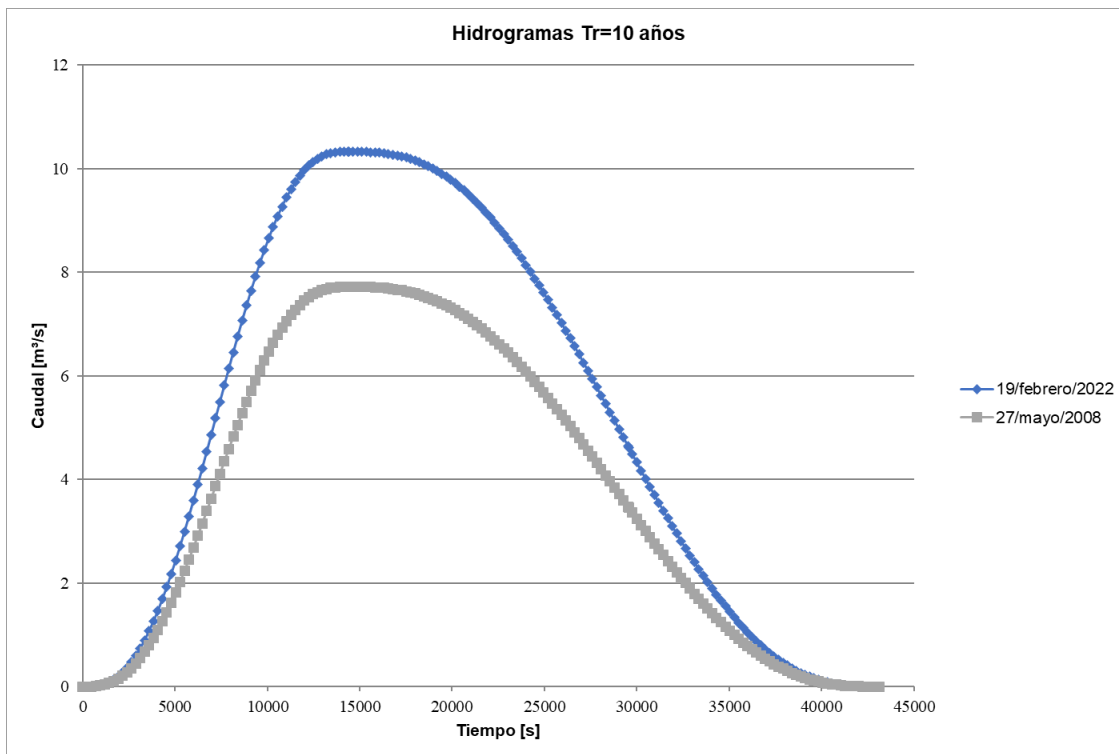


Figure 13. Number Curve for February 19, 2022.
Figura 13. Número Curva para el 19 de febrero del 2022

Source, Own elaboration (2022).

Based on the above results, a visit in situ was made, and the infrastructure was found to be in deteriorated condition and inadequately implemented. Since a hydraulic subsystem that emulates the behavior of storm regulating basins does not allow the water to evacuate in a considerable time. This leads to entropic conditions within the subsystem itself (Figure 14).

En función de los resultados anteriores, se procedió a realizar una visita *in situ*, y se encontró con una infraestructura en condiciones deterioradas y una inadecuada implementación. Toda vez que un subsistema hidráulico que emula el comportamiento de los vasos reguladores de tormentas no permite que el agua evacue en un periodo considerable de tiempo. De esta manera, se propician condiciones entrópicas dentro del mismo subsistema (Figura 14).

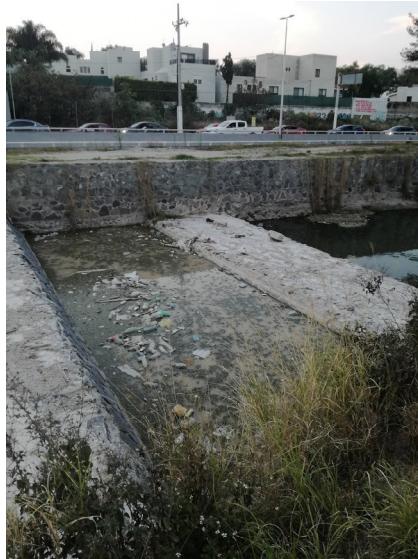


Figure 13. Number Curve for February 19, 2022.
Figura 13. Número Curva para el 19 de febrero del 2022

Source, Own elaboration (2022).

There was also considerable dragging of sand, weeds, and solid urban waste along the canal. These reach the retention basins, sewers, and manholes (Figure 5).

Se encontró también, un arrastre considerable de arenas, maleza y desechos sólidos urbanos a lo largo del canal. Estos llegan a colmatar los vasos de retención, registros y pozos de visita (Figura 5).



Figure 15. Sewers and manholes inside the Patria Avenue canal.
Figura 15. Registros y pozos al interior del canal de Avenida Patria.

Source, Own elaboration (2022).

From the results obtained, it is possible to observe that runoff has increased considerably in recent years. This increase in runoff flow is around 33.84% considering the Chow-Ven (1994) method in wet soil conditions, for the flow estimated in 2008; that is, it went from 7.72 m³/s to 10.33 m³/s. This modification has caused a systemic disorder increased urban social entropy, as reported by Bascuñan-Walker *et al.* (2011), due to the transformation and disorder of the soil, and in concordance with Gordillo & Castillo (2017), confirming that migration has extended the urban stain, altering natural processes of infiltration-runoff and consequently flooding.

Figures 8 and 9 show the spread of urbanization, a significant decrease in the lower density residential area (1 acre), for the passage to a densification of the same (residential with plots size less than or equal to 1/8 acre). Thus, we have a decrease in the residential area with an average lot size of 1 acre from 8.44 km² to 5.56 km², causing greater land consumption and greater demand for urban services, which, according to Aguirre-Núñez (2011), tends to extinguish the ecosystem services provided by the watershed.

In this context, it is necessary to build a model that contemplates the existing rainwater infrastructure and also to contrast them in future research with the capacity of the system, since maybe it does not have enough to contain stream flows.

Nevertheless, it is possible to affirm that in the metropolis of Guadalajara the urbanization process is occurring and increasing regardless of the knowledge, structural and thermodynamic functioning of the systems. In other words, this phenomenon is occurring without planning, or under non-systemic planning premises. This conceptual category (non-systemic planning) refers to factors related to an absence of the fundamentals of systems theory, a lack of knowledge of the causes of entropy, and a lack of implementation of negentropy with long-term effects. In sum, the homeostasis of this urban system is the result of the action of entropies of anthropic origin identified in the critical and hypercritical phase, with morphological conditions that are difficult to reverse (Table 16).

De los resultados obtenidos es posible observar que el orden de los escurrimientos se ha incrementado de manera considerable en los últimos años. Este aumento del caudal escurrido ronda el 33.84% considerando el método de Chow-Ven (1994) en condiciones húmedas del suelo, respecto al caudal estimado en 2008; es decir, se pasó de 7.72 m³/s a 10.33 m³/s. Esta modificación ha provocado un desorden sistémico aumentado la entropía social urbana, de acuerdo a lo expuesto también por Bascuñan-Walker *et al.*, (2011), por la transformación y desorden del suelo, y a lo expuesto por Gordillo & Castillo (2017), confirmando que la migración se han extendido la mancha urbana, alterando procesos naturales de infiltración-escurrimiento y en consecuencia inundaciones.

Las figuras 8 y 9 muestran el avance de la urbanización, una disminución significativa de la zona residencial de menor densidad (1 acre), para el paso a una densificación de la misma (residencial con tamaño de lote menor o igual a 1/8 de acre). De esta manera tenemos una disminución del área residencial con tamaño de lote promedio de 1 acre del orden de 8.44 km² a 5.56 km², ocasionando mayor consumo de suelo y mayor demanda de servicios urbanos, que de acuerdo con lo encontrado con Aguirre-Núñez (2011), tiende a extinguir los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca hidrográfica.

En este contexto, es necesario ampliar el estudio de estos valores con un modelo que contemple la infraestructura pluvial existente y también contrastarlos en investigaciones futuras con la capacidad con la que cuenta el sistema, ya que es posible que no se cumpla con las características necesarias para conducir los caudales.

No obstante, es posible afirmar que en la metrópoli de Guadalajara el proceso de urbanización está ocurriendo e incrementándose al margen del conocimiento, funcionamiento estructural y termodinámico de los sistemas. En otros términos, este fenómeno ocurre carente de planificación, o bajo premisas de una planificación no sistémica. Esta categoría conceptual (planificación no sistémica) hace referencia a factores relacionados con una ausencia de los fundamentos de la teoría de los sistemas, un desconocimiento de las causales de entropía y una falta de implementación de negentropías con efectos de largo de plazo. En suma, la homeostasis de este sistema urbano es el resultado de la acción de entropías de origen entrópico identificadas en fase crítica e hiper crítica, con condiciones morfológicas difícilmente reversibles (Tabla 16).

Table 16. Considerations in the application of the EHN model.
Tabla 16. Consideraciones de la aplicación del modelo EHN.

Entropy	Homeostasis	Negentropy
Land development tends to replace the original surfaces with impervious coverings (concrete pavements, asphalt, cobblestones, stone, platforms for horizontal serial housing, etc.). These reduce the infiltration rate and increase the velocity and volume of runoff.	A higher concentration of fine material is identified adjacent to the mouths of circular channels and in open channels. Water flows exceed the free edge and consequently cause flooding in the surrounding areas.	It is a priority to determine exclusive use zones for phreatic recharge, through hydraulic infrastructure for rainwater detention and retention, to rethink horizontal housing, and to prioritize sustainable urban mobility.
There are limitations, omissions, permits, or violations of the regulatory frameworks for real estate and land use. Likewise, regarding the management and final disposal of water resources and/or urban solid waste.	Excessive urban-housing growth, insufficient and deficient hydraulic infrastructure. In addition, obstruction and clogging of subway conduits (pipes) and surface conduits (canals and/or sewers).	Establishment of public policies under a systemic conception, and implementation of citizen awareness programs for land use, care of hydraulic infrastructure, and the management and final disposal of rainwater runoff and domestic waste.

Source: Own elaboration based on González-Pérez (2018).

Conclusions

According to the EHN model, anthropic forces have destabilized the homeostasis of the city and its environment. Entropy, in this case, results from urbanization, and negentropy refers to the set of reactions that have not been able to minimize the levels of entropy generated by the urban-habitat growth and consequently in the increase of the streamflow.

In hydraulic matters, the volumes of water inflow and outflow at different time intervals experienced in this area of the metropolis of Guadalajara exceed the storage and transport capacity of the urban pipelines. Therefore, it is imperative to control the quality, quantity, and magnitude of rainwater discharges into the receiving bodies and to avoid affecting houses and the population. However, the *in situ* inspection showed quantities of fines and flow rates above the reception capacities. In this sense, the current sizing and conditions in this specific area no longer meet the requirements for receiving, detaining, retaining, and transporting rainwater together with household discharges. In other words, the increase in urbanization

Conclusiones

De acuerdo con el modelo EHN las fuerzas antrópicas han desestabilizado la homeostasis de la ciudad y su entorno. La entropía en este caso, tiene que ver con el resultado de estas acciones urbanizadoras y la negentropía hace referencia al conjunto de reacciones que no han sido capaces de minimizar los niveles de entropía generados por el crecimiento urbano-habitacional y consecuentemente en el incremento del caudal.

En materia hidráulica, los volúmenes de agua de entrada y salida en distintos intervalos de tiempo que se experimentan en esta zona de la metrópoli de Guadalajara superan la capacidad de almacenamiento y transporte de las conducciones urbanas. De ahí, se vuelve imperativo controlar la calidad, cantidad y magnitud de las descargas pluviales que se realizan en los cuerpos receptores y no inducir afectaciones de índole habitacional y poblacional. No obstante, la inspección *in situ* mostró cantidades de finos y caudales superiores a las capacidades de recepción. En este entendido, el dimensionamiento y condiciones actuales en diversas de esta zona en específico ya no satisface los requerimientos en materia de recepción, detención, retención y transporte de agua pluvial aunada a las descargas domiciliarias. Es decir, el

has led to a greater number of discharges and consequently greater entropy in the system.

Urban-housing growth is unsustainable in the face of excessive demand for land and housing, where systemic premises are not considered in watershed management. In this sense, it is inadequate to omit or allow areas that are sensitive to the infiltration of rainwater runoff to be urbanized. Likewise, it has become a modus operandi to evacuate rainwater runoff in the shortest possible time, without taking into account the various surrounding subsystems. This exercise does not solve the underlying problem, but rather displaces it downstream.

Land cover change and runoff management imply a multidisciplinary and transdisciplinary exercise. The thermodynamics of urban systems, through anthropic pressure, is increasing entropy levels, with often irreversible effects in the main urban centers.

The contribution of this work lies in the qualitative and quantitative measurement of current conditions, identifying the cause of these conditions, and the magnitude of possible interventions to minimize systemic entropy. In the case study, over 14 years, there have been increases in the residential area with a higher density of more than 2,886,503.82 m³. thus increasing the volume of runoff produced. Hence, the need to consider systemic land planning and integrated watershed management; that is, the initial assumption that relates non-systemic urban-territorial planning with an increase in the entropy phase is confirmed to the extent that the original conditions of land cover are affected.

Contribution of the authors

Conceptualization of the study, GPMG; SFM; methodology development, RHJA; software management and experimental validation, RHJA, FVF; results analysis, FVF, GPMG; data management, FVF writing and preparation of the manuscript, GPMG, SFM; writing, proofreading and editing, GPMG.

"All authors of this manuscript have read and accepted the published version of it."

incremento de la urbanización ha originado un mayor número de descargas y consecuentemente mayor entropía al sistema.

El crecimiento urbano-habitacional es insostenible ante una demanda desmedida de suelo y vivienda, donde las premisas sistémicas no son consideradas en el manejo de cuencas. En este sentido, resulta inadecuado al omitir o permitir que zonas sensibles a la infiltración de las escorrentías pluviales sean urbanizadas. Asimismo, se ha vuelto un modus operandi evacuar en el menor tiempo posible los escurrimientos pluviales, sin tomar en cuenta los diversos subsistemas circundantes. Toda vez que este ejercicio no resuelve el problema de fondo, sino lo desplaza aguas abajo.

El cambio en la cobertura del suelo y el manejo de los escurrimientos implica un ejercicio multidisciplinar y transdisciplinar. La termodinámica de los sistemas urbanos, a través de la presión antrópica están incrementando los niveles de entropía, con efectos muchas veces irreversibles en los principales centros urbanos.

El aporte de este trabajo radica en la medición cualitativa y cuantitativa de las condiciones actuales, la causal de dichas condiciones y la magnitud de las posibles intervenciones tendientes a minimizar la entropía sistémica. En el caso de estudio, en un periodo de 14 años, se han tenido incrementos del área residencial con mayor densidad en más de 2,886,503.82 m³. aumentando con ello el volumen de los escurrimientos producidos. De ahí, la necesidad de considerar una planificación sistémica del territorio y un manejo integral de la cuenca hidrográfica; es decir, la suposición inicial que relaciona la planificación urbano-territorial no sistémica con un incremento de fase de entropía se constata en la medida que se ven afectadas las condiciones originarias de las coberturas de suelo.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, GPMG; SFM; desarrollo de la metodología, RHJA; manejo de software y validación experimental, RHJA, FVF; análisis de resultados, FVF, GPMG; manejo de datos, FVF; escritura y preparación del manuscrito, GPMG, SFM; redacción, revisión y edición, GPMG.

"Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo."

Conflict of interests

"The authors declare no conflict of interest."

Conflicto de interés

"Los autores declaran no tener conflicto de interés".

References

- Aguirre-Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual Redesma*, 5(1), 10-20. http://www.siaqua.org/sites/default/files/documentos/%20documentos/cuencas_m_%20aguirre.pdf
- Aldama-Rodríguez, A. A., & Ramírez-Orozco, A. I. (1998). Parametrización de hidrogramas mediante interpolantes hermitianos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 13(3), 19-28. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/806>
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 5-13. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00005.pdf>
- Ayuso, P., Ayuso, J. L., García, A., & Taguas, E. (2010). Relaciones entre los máximos anuales de la precipitación diaria y de la precipitación máxima en 24 h en Andalucía oriental. XIV International Congress on Project Engineering, Madrid. https://www.aepro.com/es/files/congresos/2010madrid/%20ciip10_0809_0818.2797%20.pdf
- Bascuñán-Walker, F., Bordones-Gana, D. & Reyes-Fernández, J. (2011). Efectos de la entropía urbana en el coste energético del transporte. *Urbano*, 14(23), 20-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19818886003>
- Campos-Aranda, D. F. (2008). Calibración del método racional en ocho cuencas rurales menores de 1,650 km² de la región hidrológica No. 10 (Sinaloa), México. *Agrociencia*, 42(6), 615-627. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000600002
- Chow-Ven, T. (1994). *Hidrología aplicada*. Mc-Graw Hill.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (2001). Edafología. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- González-Pérez, M. G. (2018). Entropy and negentropy of private electric vehicles in urban systems: homeostasis of mobility in Mexico. *DYNA*, 85(206), 171-177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.72509>
- Gordillo, M. C., & Castillo, M. A. (2017). Cambio de uso de suelo en la cuenca del Río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 39-49. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.803>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. <https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2016). Relieve continental. <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>
- Lavao-Pastrana, S. A., & Corredor-Rivera, J. L. (2014). Aplicación de la teoría del Número de Curva (CN) a una cuenca de montaña. Caso de estudio: Cuenca del Río Murca, mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Diplomado en SIG y sensores remotos aplicados a recursos hídricos. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13331/Trabajo%20de%20%20Gra%20do%20Sergio%20Lavao.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mattos-Gutiérrez, S. R., Parodi, G.N., & Damiano, F. (2012). Análisis de amenaza por inundación en área urbana empleando modelos hidrodinámicos y herramientas SIG (Pergamino, Argentina). INTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-analisis_de_amenaza_por_inundacin_en_rea_urbana_emplea.pdf
- Miguel-Velasco, A. E., Maldonado-Cruz, P., Torres-Valdéz, J. C., & Cruz-Atayde, M. (2008). La entropía como indicador de las desigualdades regionales en México. *Economía, sociedad y territorio*, 8(27), 693-719. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212008000200006#:~:text=La%20hip%C3%B3tesis%20que%20se%20propone,periodo%201950%E2%80%932003%20y%20que%20
- MUNICH RE (2019). NatCatSERVICE. Natural catastrophe statistics. <https://www.munichre.com/en/%20reinsurance/business/non-life/natcatservice/index.html>
- Organization for Economic Cooperation and Development (2003). Core set of indicators for environmental performance

- reviews. A synthesis report. by the Group on the State of the Environment. Environment monographs. [https://one.oecd.org/document/OCDE/GD\(93\)179/En/pdf](https://one.oecd.org/document/OCDE/GD(93)179/En/pdf)
- Pacheco-Hernández, P. R., Salini-Calderón, G. A., & Mera-Garrido, E. M. (2021). Entropía y neguentropía: una aproximación al proceso de difusión de contaminantes y su sostenibilidad. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 37, 167–185. <https://doi.org/10.20937/RICA.53688>
- Piñuel-Raigada, J. L. (2014). De la Pragmática a la Dialéctica: Cognición, Sociedad y Lengua. *Anuario Electrónico de Estudios en Comunicación Social "Disertaciones"*, 7(2), 210-217. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=511555580010>
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 9 (2), 27-41. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986007.pdf>
- Schrödinger, E. (1944). *What is life?*. Cambridge University Press.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2019). Isoyetas de Intensidad-duración-periodo de retorno para la república mexicana. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>
- Servicio Meteorológico Nacional (2022). Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Sistema Nacional de Protección Civil (2016). Impacto Socioeconómico de los desastres en México durante 2016. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/368-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2016.PDF>
- Soil Conservation Service (1957). Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application. U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
- United States Department of Agriculture (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf
- United States Geological Survey (2022). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Varadhan, R.S.S. (2015). Entropy and its many Avatars. *Journal of the Mathematical Society of Japan*, 67(4), 1845-1857. <https://doi.org/10.2969/jmsj/06741845>
- Vázquez-Valencia, R., & García-Almada, R. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27 (53-1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.20983/noesis.2018.3.1>.
- Zapperi, P. A., (2014). Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 125-150. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383239105004>