

ESTIMACIÓN MENSUAL DE INTENSIDAD DE LA LLUVIA EN 30 MINUTOS A PARTIR DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Estimation of Monthly 30 Minute Rainfall Intensity Based on Pluviometric Data

Hilario Ramírez Cruz¹, Osiel López Velasco¹ y Laura Alicia Ibáñez Castillo^{2*}

RESUMEN

Algunos modelos de simulación hidrológica para el estudio de erosión hídrica, como el Soil and Water Assessment Tool (SWAT), requieren como dato de entrada la intensidad de lluvia máxima mensual en 30 min (I_{30}), a obtenerse de preferencia a partir de pluviógrafo o de una estación meteorológica automática (EMA). En ausencia de pluviógrafo o de una EMA, el objetivo de este trabajo fue obtener el I_{30} mensual a partir de información pluviométrica. Se aplicaron las ecuaciones de lluvia intensa generalizada, propuestas por Bell (1969), Chen (1983) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2009), para obtener el I_{30} a partir de precipitaciones máximas en 24 h de cuatro estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca del río Copalita, Oaxaca: Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec, San Miguel Suchixtepec y La Hamaca. Como parte de la metodología se obtuvieron las alturas de precipitaciones máximas mensuales con duración de 30 min, para periodos de retorno T de 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los resultados se validaron con las isoyetas de intensidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), obtenidas a partir de pluviógrafo (SCT, 2000), (SCT, 2014) para diferentes duraciones y periodos de retorno. El análisis de varianza y comparación de medias para T de 10 años (Tukey, $P > 0.05$) indicó que los datos de la SCT no exhiben diferencia significativa en comparación con aquellos obtenidos por los métodos de Chen y OMM, pero no así en contraste con el método de Bell. Finalmente se dejaron factores recomendados para obtener el I_{30} de 10 años de periodo de retorno a partir de lluvia en 24 h y

10 años de periodo de retorno para cada una de las estaciones bajo estudio.

Palabras clave: *lluvias de corta duración; erosión hídrica; SWAT; cuenca Costa de Oaxaca.*

SUMMARY

Some hydrological models for the evaluation of water erosion, such as the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), require input data such as monthly half-hour rainfall intensity (I_{30}), which should be obtained preferentially based on historical pluviographic records or an automatic meteorological gage (AMG). However, in absence of a pluviograph or AMG, the objective of this work was to obtain the monthly I_{30} based on pluviometric data. In order to calculate I_{30} based on 24-hour rainfall data, the following equations were applied: Bell (1969), Chen (1983), and the World Meteorological Organization (WMO, 2009). These equations were applied in the Copalita, Oaxaca, watershed using data from the four rainfall gaging stations: Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec, San Miguel Suchixtepec, and La Hamaca. Part of the methodology consisted of obtaining maximum monthly rainfall depths for half-hour duration and return periods, T , over 10, 20, 25, 50, and 100 years. The results were validated with intensity isohyets from the Mexican Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), which were based on pluviograph data (SCT, 2000), (SCT, 2014) for several return periods. The statistical variance analysis and average comparison for T of 10 years (Tukey, $P > 0.05$) showed that the SCT data are not significantly different from those of Chen y OMM, but they are different from those of Bell. Finally we recommend factors for calculating the I_{30} of 10 years of return based on 24-hour, 10-year rainfall depth, for each meteorological station included in the study.

Index words: *short duration rainfalls; water erosion; SWAT; coast of Oaxaca watershed.*

¹ Hidrociencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

² Postgrado en Ingeniería Agrícola y uso del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

* Autor responsable (libacas@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

En México se han aplicado metodologías para determinar las relaciones de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de lluvias, considerando valores máximos anuales (SCT, 2000; Campos, 2011; Ibáñez *et al.*, 2011), ya que estas son de gran utilidad en el diseño del drenaje urbano, carretero, agrícola y en la estimación de caudales máximos en cuencas pequeñas. El Programa Hidrológico Internacional (PHI, 2007) recomienda que se generen a partir de información del pluviógrafo, condición que no siempre ocurre por su escasa disponibilidad y actualización (SCT, 2000; Campos, 2010). Ante esta situación, se han desarrollado ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias anuales máximas de corta duración a partir del registro de precipitaciones máximas en 24 h (Pereyra *et al.*, 2005; Del Ángel y Domínguez, 2013). Sin embargo, en algunos estudios con modelos para la simulación de la erosión hídrica, como el Soil and Water Assessment Tool (SWAT), se requiere de la intensidad máxima de lluvia en 30 min para cada mes (Arnold *et al.*, 2012).

Uno de los parámetros clave para encontrar las ecuaciones que explican el comportamiento de las lluvias de corta duración a partir de datos diarios de pluviómetro es el cociente lluvia-duración (R). El parámetro R se define como la relación entre una precipitación máxima de 1 h y de 24 h, ambas en un periodo de retorno (T) de 2 años (Chen, 1983). Campos y Gómez (1990), Domínguez y Franco (2002), Del Ángel y Domínguez (2013) estimaron el cociente anual R para la República Mexicana, considerando diferentes periodos de retorno. En este trabajo, se calculan valores mensuales de R .

Nuestro objetivo fue aplicar las ecuaciones de lluvia intensa generalizada propuestas por Bell (1969), Chen (1983) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2009) para obtener la intensidad mensual máxima de lluvia en 30 min a partir de datos de precipitación máxima en 24 h en las estaciones meteorológicas de Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec, San Miguel Suchixtepec y La Hamaca, ubicadas en la cuenca del río Copalita, Oaxaca. Los resultados se validaron con las isoyetas de intensidad-duración-periodo de retorno de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), obtenidas con datos de pluviógrafo (2000 y 2014). En este trabajo se puso especial interés en el I_{30} de 10 años de periodo de retorno, ya que dicho periodo es el recomendado para

diseñar las obras y prácticas de conservación de suelo y agua en México (SAGARPA, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La cuenca del río Copalita comprende una superficie de 1523 km², se ubica al sur del estado de Oaxaca (Figura 1), en colindancia con el Océano Pacífico, entre los 15° 47' 17.6" y 16° 14' 0.5" N y los 96° 02' 23" y 96° 36' 8.8" O. La cuenca pertenece a la región hidrológica 21 Costa de Oaxaca.

Datos de Precipitaciones Diarias

Los datos de precipitación diaria se obtuvieron de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2014) que se encuentran dentro del área de estudio de la cuenca del río Copalita y en sus inmediaciones (Cuadro 1). Se completó la base de datos de la serie histórica donde existían datos faltantes por el método del U. S. National Weather Service o del cuadrado del inverso de la distancia (Campos, 1998; McCuen, 2005).

Se obtuvieron los máximos mensuales de cada año y se ajustaron a una función de distribución de probabilidad con el menor error estándar que permitiera estimar la precipitación máxima mensual en 24 h para T de 2, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

Cociente Lluvia-Duración (R) para cada Mes

Las precipitaciones mensuales obtenidas se multiplicaron por 1.13 debido a la corrección por intervalo fijo de observación (Hershfield, 1961; Hargreaves, 1988). Como un paso previo para la obtención de R mensual, se estimó la precipitación máxima en una hora y periodo de retorno de 2 años (P_1^2) a partir de la Figura 2; como un marco de referencia mensual. Inicialmente, se consideró obtener R a partir del mapa nacional publicado por Del Ángel y Domínguez (2013), pero, dado que este R fue obtenido para un intervalo de tiempo anual, se descartó esa alternativa.

Para cada mes, se estimó el cociente lluvia-duración (R) con la lluvia de una hora y periodo de retorno de 2 años (P_1^2), dividido entre la lluvia de 24 h (P_{24}^2) para el mismo periodo de retorno (Ecuación 1).



Figura 1. Localización del área de estudio.

$$R = \frac{P_1^2}{P_{24}^2} \quad (1)$$

Para obtener la precipitación máxima en una hora y T mayores de 2 años, se multiplicó el valor de R por la precipitación máxima en 24 h para el T correspondiente (Ecuación 2):

$$P_1^T = R \times P_{24}^T \quad \text{Para } T > 2 \text{ años} \quad (2)$$

donde: P_1^T es la lluvia de 1 h para un periodo de retorno T , y P_{24}^T es la lluvia de 24 h para un periodo de retorno T .

Cálculo de Precipitaciones Máximas Menores a una Hora por Varios Métodos

Los métodos explicados a continuación se aplican para estimar las alturas de precipitación para varias duraciones, todas menores de 1 h, en particular para una duración de 30 min.

Método de la organización meteorológica mundial (OMM). Se calcularon las alturas de precipitaciones para los tiempos t de duraciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, y periodos de retorno T de 10, 20, 25, 50 y 100 años con el método de la OMM (WMO, 2009), multiplicando los coeficientes C_t véase el Cuadro 2 para

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas del área de estudio.

Clave	Nombre	Años de registros considerados	Longitud de registro	Longitud	Latitud	Altitud	Precipitación media anual
			Años	- - - Grado decimal - - -		m	mm
20089	Pluma Hidalgo	1970-1995	26	-96.433	15.917	1300	2368
20106	San Francisco Ozolotepec	1970-1985	16	-96.217	16.083	2000	1340
20120	San Miguel Suchixtepec	1970-1998	29	-96.465	16.091	2500	1223
20206	La Hamaca	1973- 1992	20	-96.188	15.893	200	1248

† Los años considerados son para compararse con las isoyetas de intensidad de SCT (2000; 2014).

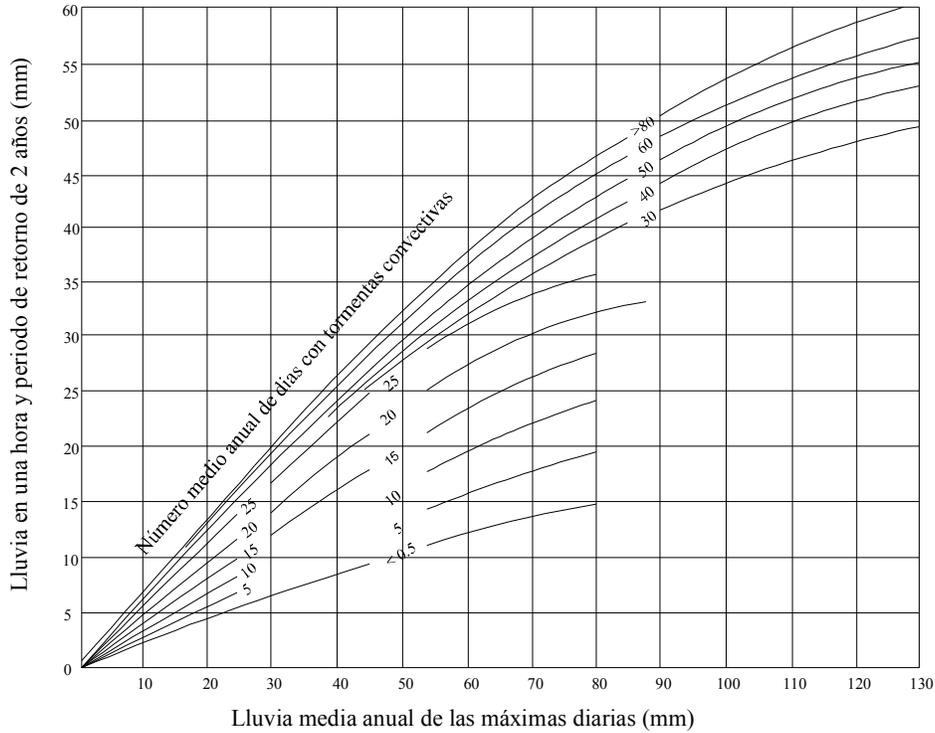


Figura 2. Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno de 2 años (P_1^2). Fuente: Reich (citado por Campos, 1998).

las duraciones indicadas por la precipitación en una hora del T correspondiente, P_1^T , según se muestra en la Ecuación 3:

$$P_t^T = C_t \times P_1^t, \text{ para duraciones } t \text{ menor de 1 hora} \quad (3)$$

Método de Chen. Se calcularon las alturas de precipitaciones para las duraciones t de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min para periodos de retorno T de 10, 20, 25, 50 y 100 años con el método de Chen (1983), mediante la Ecuación 4.

$$P_t^T = \frac{aP_1^{10} \log(10^{(2-X)} T^{(X-1)})}{(t+b)^c} * \left(\frac{t}{60}\right) \quad (4)$$

donde: P_t^T es la altura de precipitación en mm para un T en años y una lluvia de t minutos; a , b y c son parámetros que dependen del cociente de lluvia-duración R (Ecuación 1), el cual es específico para cada lugar o estación climatológica (Campos, 2007). En la Ecuación 4,

las variables a , b y c se calculan con las Ecuaciones 5, 6 y 7, respectivamente.

$$a = -2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4 \quad (5)$$

$$b = -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4 \quad (6)$$

$$c = -0.06498345 + 5.069294R - 16.08111R^2 + 29.09596R^3 - 20.06288R^4 \quad (7)$$

P_1^{10} es la altura o lámina de lluvia en mm asociada a un T de 10 años y duración de una hora. X es la relación de frecuencia que se calcula dividiendo P_{24}^{100} entre P_{24}^{10} ,

Cuadro 2. Coeficientes para duraciones menores a una hora.

Duración, t	10	20	30	40	50	60
C_t	0.32	0.54	0.71	0.82	0.91	1.00

Fuente: WMO, 2009.

precipitaciones máximas en 24 h y T de 100 y 10 años, respectivamente. La ecuación de Chen es válida para $T > 1$ año y $5 \text{ min} \leq t \leq 24 \text{ h}$.

Método de Bell. Se calcularon las alturas de precipitaciones para tiempos t de duraciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, y T de 10, 20, 25, 50 y 100 años con el método de Bell (1969), a través de la Ecuación 8.

$$P_t^t = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.5) P_2^{60} \quad (8)$$

donde: P_t^t es la precipitación en mm para una duración de t minutos y T en años; P_2^{60} es la precipitación en mm para una duración de 60 min y T de 2 años; t es la duración de la lluvia entre 5 y 120 min, en minutos; y T el periodo de retorno en años. La ecuación de Bell es válida para $2 \text{ años} \leq T \leq 100 \text{ años}$ y $5 \text{ min} \leq t \leq 120 \text{ min}$.

Método de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. Se obtuvieron las alturas de precipitación para una duración de 30 min y periodos de retorno T de 10, 20, 25, 50 y 100 años, de las isoyetas de intensidad de la SCT publicadas en línea (SCT, 2014).

Validación

Para la validación se obtuvo el valor máximo de los alcances mensuales de la intensidad de lluvia en 30 min

Cuadro 3. Promedio de lluvias máximas en el mes (mm).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20089	12	19	17	25	42	72	58	68	60	42	23	22
20106	4	9	13	18	35	74	47	62	59	36	14	7
20120	4	10	10	16	31	40	37	45	39	39	17	6
20206	1	6	10	20	26	63	45	64	58	35	13	7

Cuadro 4. Número de días con lluvia.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total de días
20089	2	2	3	4	10	20	18	20	21	12	5	3	120
20106	1	2	2	5	9	18	14	14	18	8	3	1	95
20120	1	2	2	5	11	19	18	20	19	11	4	1	113
20206	1	1	1	3	8	16	12	13	15	10	3	1	84

para un T de 10 años, y se le comparó con el valor reportado por la SCT (2014), suponiendo que reporta en el año el mes más crítico (máximo), mediante un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey con una significancia de 0.05. En este trabajo se puso especial interés en el I_{30} para un periodo de retorno de 10 años, recomendado para el diseño de obras y prácticas de conservación de suelo y agua en México (SAGARPA, 2011).

Factor de Intensidad Máxima en 30 Minutos

Para cada una de las estaciones meteorológicas de la cuenca de estudio, se derivó un factor para estimar la intensidad de lluvia máxima en 30 min en un periodo de retorno de 10 años a partir de la lluvia máxima mensual en 24 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cociente Lluvia-Duración (R) para cada Mes

Los valores obtenidos para R mensual a partir del promedio de lluvias máximas en el mes (Cuadro 3) y el número de días con lluvia (Cuadro 4) se presentan en el Cuadro 5. Después de conseguir los valores de R mensuales, se obtuvo un valor de R promedio anual ponderado por los días con lluvia (Cuadro 5, R ponderado). Finalmente, esos R anual ponderados para

Cuadro 5. Valores de R mensual (adimensional).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	R anual ponderado	R anual Baeza† (2013)
20089	0.11	0.17	0.13	0.16	0.30	0.50	0.38	0.42	0.44	0.35	0.21	0.15	0.37	<0.37
20106	0.44	0.25	0.21	0.24	0.30	0.33	0.32	0.33	0.39	0.27	0.26	0.26	0.32	<0.37
20120	0.34	0.22	0.23	0.25	0.32	0.39	0.39	0.44	0.39	0.32	0.21	0.27	0.36	<0.37
20206	0.31	0.31	0.28	0.22	0.24	0.34	0.33	0.32	0.37	0.31	0.28	0.38	0.32	<0.37

† Baeza citado por Del Ángel y Domínguez (2013).

cada estación se compararon con los valores R anuales reportados por Baeza, citado por Del Ángel y Domínguez (2013) para la zona de estudio, donde el valor estimado de cada estación se encuentra dentro del rango reportado ($R < 0.37$).

Intensidades Máximas en 30 Minutos

Se presentan las intensidades máximas en 30 min estimadas por los cuatro métodos (Bell, 1969; Chen, 1983; WMO, 2009; SCT, 2014) para diferentes periodos de retorno en las Figuras 3, 4, 5, y 6. Para las estaciones 20089 y 20106, los métodos de Chen (1983) y OMM (WMO, 2009), sobrestiman las intensidades de lluvia y lo hacen cada vez más, a medida que el periodo de retorno aumenta, mientras que el de Bell (1969) y SCT (2014) la subestiman. Para periodos de retorno de 10 años, el método de la OMM (WMO, 2009) se acerca más al de la SCT (2014) para estimar la intensidad de

lluvia máxima en 30 min. De acuerdo con lo mostrado en las Figuras 3, 4, 5, y 6, puede observarse que, en las estaciones 20120 y 20206, los valores de I_{30} obtenidos por los métodos de Chen (1983) y OMM (WMO, 2009) se aproximan más a los reportados por la SCT (2014). Una posible explicación es que la estación 20120 es la de mayor longitud de años de registro (29 años), y la estación 20206, aunque solo tiene 20 años de registro, es la más cercana al mar (altitud 200 m). Es decir, mientras que en la estación 20120 la longitud de registro es la más larga, la estación 20206 está más cerca de la costa, lo cual, de acuerdo con la OMM (2011), hace más fácil encontrar un patrón menos diverso en la distribución de las lluvias. Esta última sentencia se deduce a partir de lo que la OMM recomienda en cuanto a la densidad de pluviómetros en regiones costeras (1 cada 900 km²) y en regiones de montaña (1 cada 250 km²). Una explicación adicional para la tendencia de los valores I_{30} en las estaciones 20120 y 20206 es

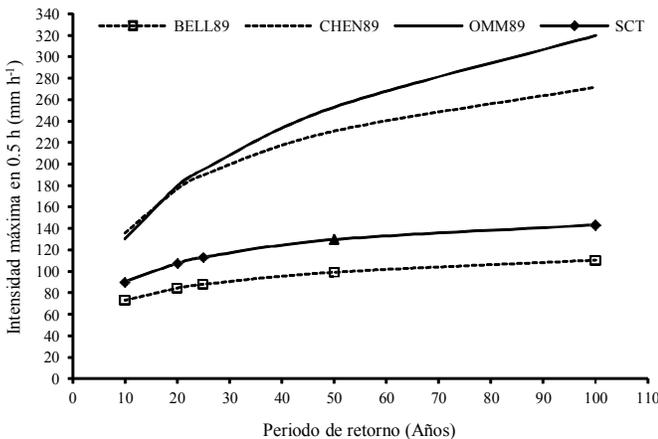


Figura 3. Intensidades máximas en 30 min para la estación 20089, Pluma Hidalgo.

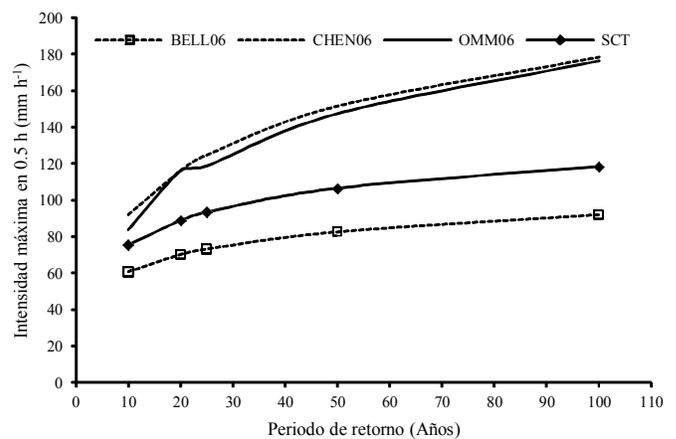


Figura 4. Intensidades máximas en 30 min para la estación 20106, San Francisco Ozolotepec.

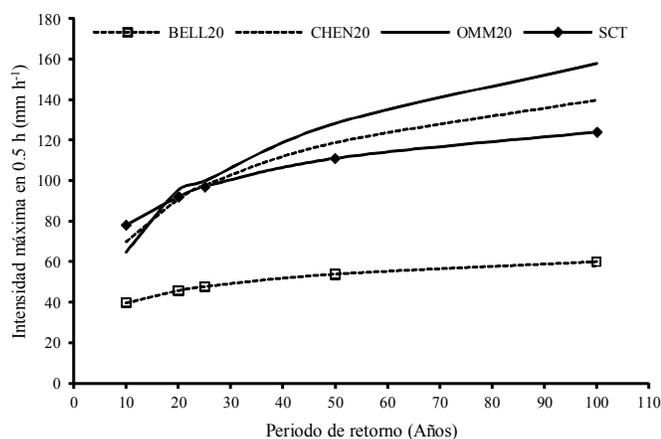


Figura 5. Intensidades máximas en 30 min para la estación 20120, San Miguel Suchixtepec.

que en ambos sitios las tormentas predominantes son de tipo convectivo, lo cual se refleja en la Figura 2.

Para las estaciones 20120 y 20206, el método de Bell (1969) sigue subestimando de forma notable la intensidad de lluvia máxima en media hora al mantener una tendencia paralela a los valores reportados por la SCT (2014). Los métodos de Chen (1983) y OMM (WMO, 2009), con periodos de retorno T menores de 25 años, subestiman ligeramente la intensidad máxima, mientras que los valores de T mayores a 25 años la sobrestiman y se disparan de manera notable.

En general, el método de Chen (1983) y el de OMM (WMO, 2009) son semejantes con respecto a los valores reportados por la SCT (2014) hasta un periodo de retorno T de 25 años. Después de este punto, sobrestiman la intensidad de lluvia máxima en media hora, mientras que el método de Bell (1969) subestima la intensidad máxima, manteniendo una tendencia paralela a la de la SCT (2014).

Análisis de Varianza

Considerando que la intensidad de lluvia máxima utilizada en SWAT es mensual, se realizó un análisis de varianza para una intensidad de lluvia máxima con una duración de 30 min, en un periodo de retorno de 10 años para cada método de estudio. De esta forma, se obtiene que para la estimación de datos de intensidad máxima mensual de lluvia en 30 min se puede usar el método de Chen (1983) o el de la OMM (WMO, 2009), con una significancia del 0.05 (Cuadro 6).

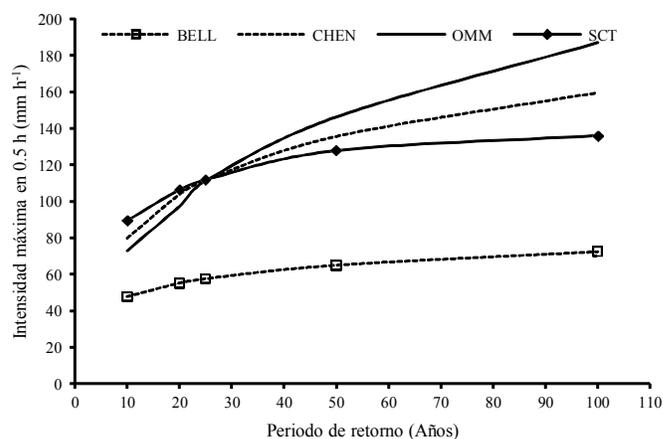


Figura 6. Intensidades máximas en 30 min para la estación 20206, La Hamaca.

Factor de Intensidad de Lluvia Máxima en Media Hora y Periodo de Retorno de Año Años, FI_{30}^{10}

Considerando la precisión y la popularidad del método de Chen (1983), para cada una de las estaciones meteorológicas de la cuenca de estudio se emplearon los resultados logrados por medio de dicho método para obtener factores de conversión de precipitación máxima mensual en 24 h con intensidad de lluvia máxima en media hora para un periodo de retorno de 10 años (I_{30}^{10}). El valor mínimo se encontró en el mes de noviembre para la estación 20120 (0.10), y el máximo en enero para la estación 20106 (0.80) (Cuadro 7).

Esto significa que, para periodos de retorno de 10 años en la cuenca del río Copalita, el I_{30} puede estimarse por medio de la Ecuación 9.

$$I_{30}^{10} = FI_{30}^{10} \times P_{24}^{10} \quad (9)$$

Cuadro 6. Comparación de métodos para estimar intensidad de lluvia máxima en 30 minutos.

Método	Medias	Muestras	Error estándar	
BELL	55.28	4	5.56	A
SCT	83.34	4	5.56	B
CHEN	87.96	4	5.56	B
OMM	94.37	4	5.56	B

† Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey, $P > 0.05$).

Cuadro 7. Factores de intensidad máxima en 30 min para periodo de retorno de 10 años, FI_{30}^{10} en las estaciones de estudio (adimensional).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20089	0.19	0.24	0.21	0.25	0.41	0.45	0.52	0.48	0.55	0.51	0.32	0.25
20106	0.80	0.32	0.24	0.29	0.47	0.48	0.47	0.33	0.48	0.31	0.42	0.46
20120	0.39	0.14	0.24	0.31	0.43	0.37	0.56	0.32	0.62	0.24	0.10	0.25
20206	0.48	0.34	0.52	0.20	0.26	0.34	0.47	0.38	0.47	0.27	0.28	0.66

CONCLUSIONES

- Se utilizaron las ecuaciones de lluvia intensa generalizada propuestas por Bell (1969), Chen (1983) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2009), y se obtuvo la intensidad máxima de lluvia mensual en 30 min en las cuatro estaciones meteorológicas de la cuenca del río Copalita, Oaxaca a partir de datos de precipitación durante 24 h.
- La validación de los resultados con uso del plano de las isoyetas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT, 2000), (SCT, 2014) resultó satisfactoria para los métodos de Chen (1983) y OMM (WMO, 2009).
- Se recomienda emplear los métodos de Chen (1983) y OMM (WMO, 2009) para estimar la intensidad de lluvia máxima mensual de corta duración en periodos de retorno T menores a 25 años, o utilizar los factores generados por el método de Chen para calcular la intensidad de lluvia máxima en media hora para un periodo de retorno de 10 años en la cuenca del río Copalita, dato requerido por el modelo hidrológico SWAT.
- Se recomienda implementar la metodología desarrollada en este trabajo en otras cuencas donde se carece de la información pluviográfica o de Estación Meteorológica Automática para obtener la intensidad máxima de la lluvia en 30 min para cada mes.

LITERATURA CITADA

- Arnold, J. G., J. R. Kiniry, R. Srinivasan, J. R. Williams, E. B. Haney, and S. L. Neitsch. 2012. Soil and water assessment tool input/output Documentation. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 439. Texas A&M University System. College Station, TX, USA.
- Bell, F. C. 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *J. Hydraul. Div.* 95: 311-328.
- Campos A., D. F. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Ed. Universitaria Potosina. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Campos A., D. F. 2007. Parámetros hidrológicos de la cuenca. pp. 41-50. Aspectos de seguridad hidrológica en embalses. pp. 411-429. *In*: D. F. Campos A. (ed.). Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Ed. Universitaria Potosina, UNAM, Instituto de Ingeniería. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Campos A., D. F. 2010. Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana. *Ing. Invest. Tecnol.* 11: 179-178.
- Campos A., D. F. 2011. Identificación del número N mediante el método del HUT, en siete cuencas del alto río Grijalva, México. *Ing. Invest. Tecnol.* 12: 269-276.
- Campos A., D. F. y R. Gómez de Luna. 1990. Procedimientos para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos. *Ing. Hidrául. Méx.* 2: 39-52.
- Chen, C. 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *J. Hydraul. Div.* 109: 1603-1621.
- Del Ángel G., M. y R. Domínguez M. 2013. Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración. *GEOS* 33: 1-18.
- Hargreaves, G. H. 1988. Extreme rainfall for Africa and other developing areas. *J. Irrig. Drain. Eng.* 114: 324-333.
- Hershfield, D. M. 1961. Rainfall frequency atlas of the U.S. for duration from 30' to 24 h and return periods from 1-100 years. U.S. Weather Bureau. Technical paper N° 40. Washington, DC, USA.
- Ibáñez C., L. A., A. Lorenzo C., R. Arteaga R. y M. A. Vázquez P. 2011. Relaciones intensidad-duración-frecuencia de la lluvia registrada en Chapingo, México. *Ing. Agric. Biosist.* 3: 25-32.
- McCuen, R. H. 2005. Hydrologic analysis and design. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2011. Guía de prácticas hidrológicas, Vol. 1. Hidrología-De la medición a la información hidrológica. OMM-No. 168. Ginebra, Suiza.
- Pereyra D., D., C. A. Ochoa M. y J. A. A. Pérez S. 2005. Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración. *GEOS* 25: 340-351.
- PHI (Programa Hidrológico Internacional). 2007. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile. Documento Técnico no. 7. UNESCO. Washington, DC, USA.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Lineamientos operativos específicos para la aplicación de recursos del componente conservación y uso sustentable de suelo y agua (COUSSA). México, D. F.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). 2000. Isoyetas de intensidad–duración-periodo de retorno para la República Mexicana. Tomo II. México, D. F.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). 2014. Isoyetas de intensidad-duración-periodo de retorno para la República Mexicana. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Isoyetas/oaxaca.pdf> (Consulta: octubre 25, 2014).

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2014. Datos diarios de precipitación. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&vie=article&id=183&tmpl=component. (Consulta: septiembre 25, 2014).

WMO (World Meteorological Organization). 2009. Manual for estimation of probable maximum precipitation (PMP). WMO-No. 1045. Geneva, Switzerland.