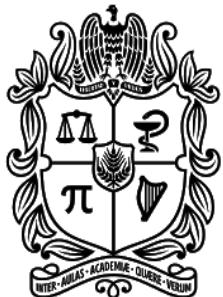


# ESTIMACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS COMO APOYO A LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA AMENAZA POR CLIMA Y FUERZAS EXTERNAS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE

Jorge Vélez, Oscar Correa, Manuel Botia, Sergio Gutiérrez,  
Francisco García, Joan Quintero



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA



Grupo de trabajo académico en  
Ingeniería Hidráulica y Ambiental

**OCENSA**



## Objetivo

- Estimar los posibles eventos extremos diarios de lluvia en la zona de influencia del STH del Oleoducto Central S.A.

Pregunta de investigación:

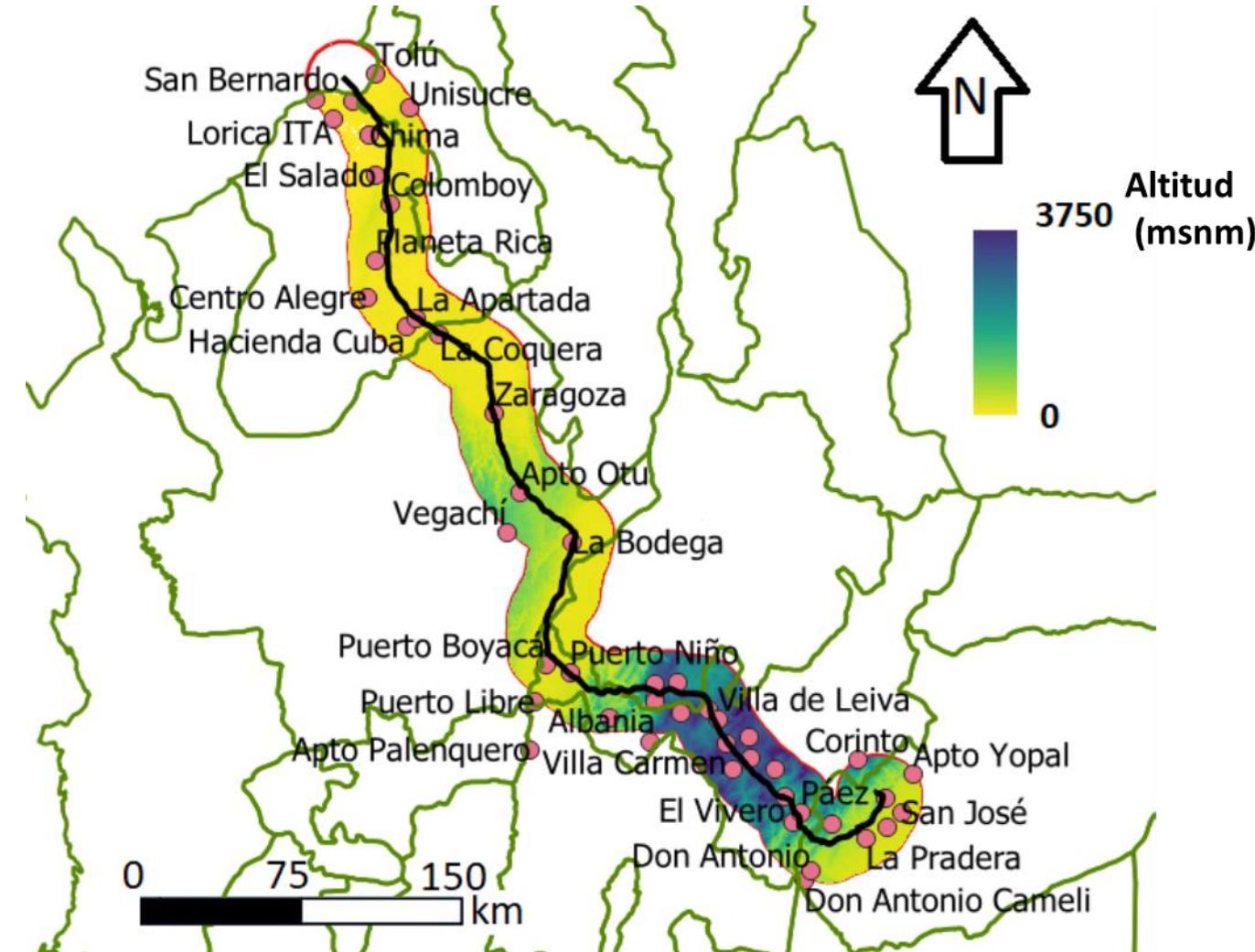
**¿Cuál sería la máxima lluvia diaria que se presente en la zona de influencia del STH?**

- Bajo el supuesto de que un aumento en las lluvias máximas aumentan la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.
- Sirve de apoyo para los tomadores de decisiones en gestión integral del riesgo, que pueden hacer uso de la estimación de lluvias extremas diarias para incluirlo en estudios de deslizamientos, de crecientes y socavación en los sitios de cruce con las corrientes naturales.



## Caso de estudio

- Zona de influencia del STH de Oleoducto Central S.A.S.
- Franja de 25 km a o largo de los 836 km de recorrido del STH
- Zona con alta variabilidad climática a los largo del STH (Poveda, 2004, IDEAM, 2019)
- Baja densidad de estaciones





## Metodología

- Se utiliza la información se series temporales disponible en la zona por el IDEAM.
- No se incluyen otras fuentes de información por tratarse de series cortas.
- No se trata en esta etapa, de un análisis de variabilidad climática ni de un estudio detallado de Cambio Climático (pendiente por realizar)

### 1. Recopilación de Información

- Análisis de calidad de información
- Selección de las estaciones y relleno de datos

### 2. Lluvias máximas anuales

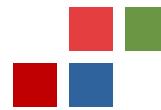
- Ajuste de la mejor FDP para la estimación de lluvias máximas diarias anuales
- Estimación de la PMP
- Relación de la lluvia con la altitud

### 3. Proyección al año 2050

- Búsqueda de tendencias en los estadísticos principales
- Busqueda de tendencias en ventana de 5 años en los parámetros de la GEV

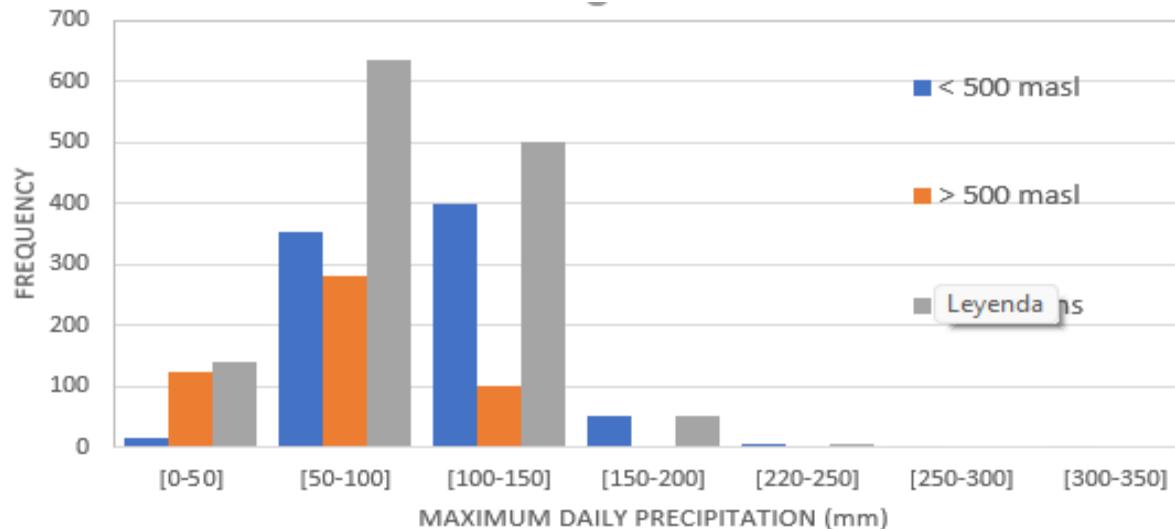
### 4. Análisis de resultados

- Obtención de mapas utilizando el IDC
- Comparación de los resultados

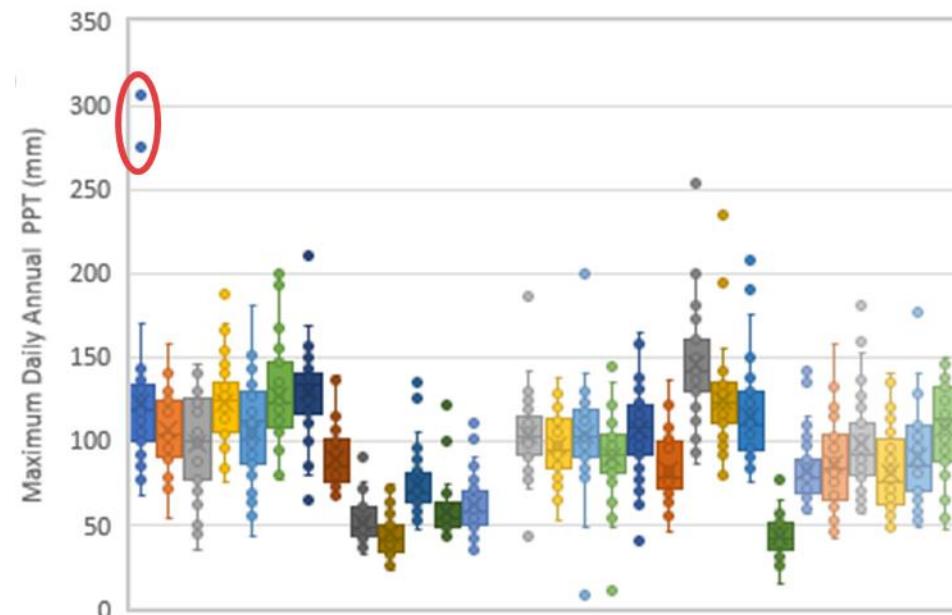


## 1. Recopilación de información

- Las series de datos de lluvias máximas anuales del IDEAM presentan alta variabilidad espacial y temporal de las lluvias extremas en la zona de influencia del STH



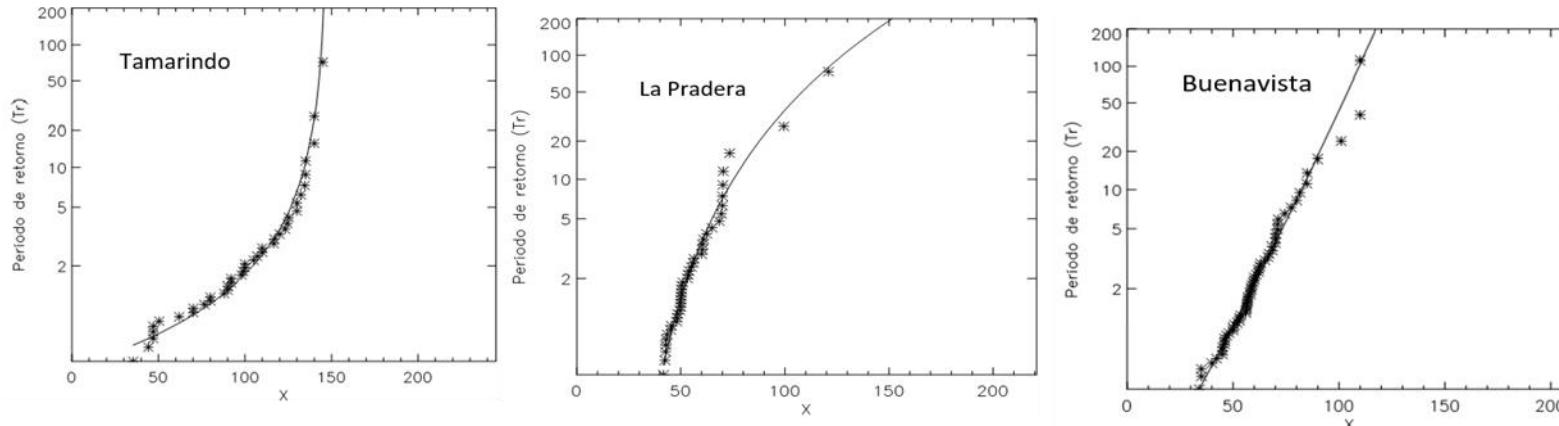
Apto Yopal	San José	Tamarindo	Aguazul
La Pradera	Tauramena	Don Antonio	Páez
El Vivero	Villa Carmen	Jesu María	La Pradera
Buenavista	La Bodega	Pto Niño	Pto Boyaca
Pto Lbre	Apto Palenq	Apto Otu	Vegachi
Zaragoza	La C Área del gráfico partada	La Esperanza	
Unisucre	Colombøy	Planeta Rica	Lorica ITA
Villa Marcela	Tolu		



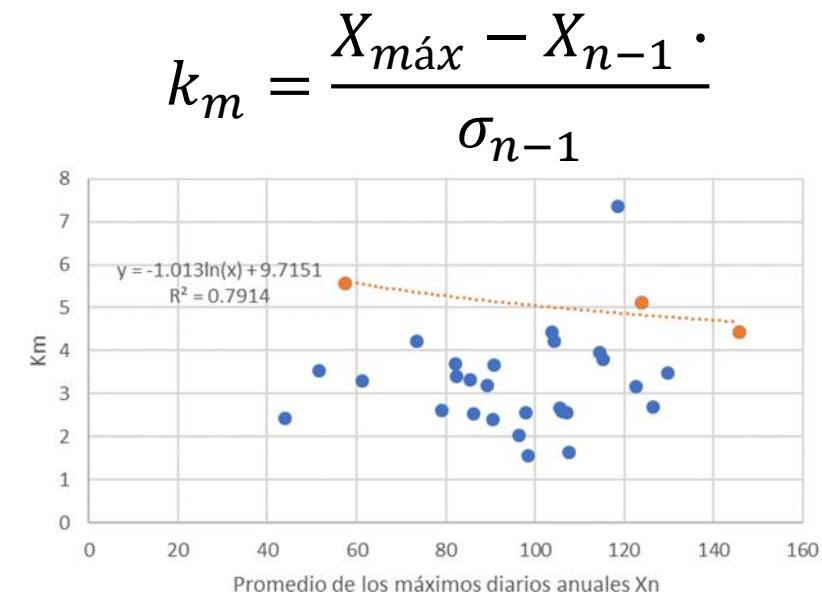


## 2. Lluvias máximas diarias anuales

- Se realiza el análisis de frecuencia de máximos y se busca el mejor ajuste entre las FDP: Gumbel, Log-Normal, GEV, TCEV y Log-Gumbel.
- Se selecciona GEV y Tr=1000 años como valor de referencia a comparar
- Se realiza estimación de la PMP (Herschfield, 1962):  $PMP = X_n + k_m \cdot \sigma_n$

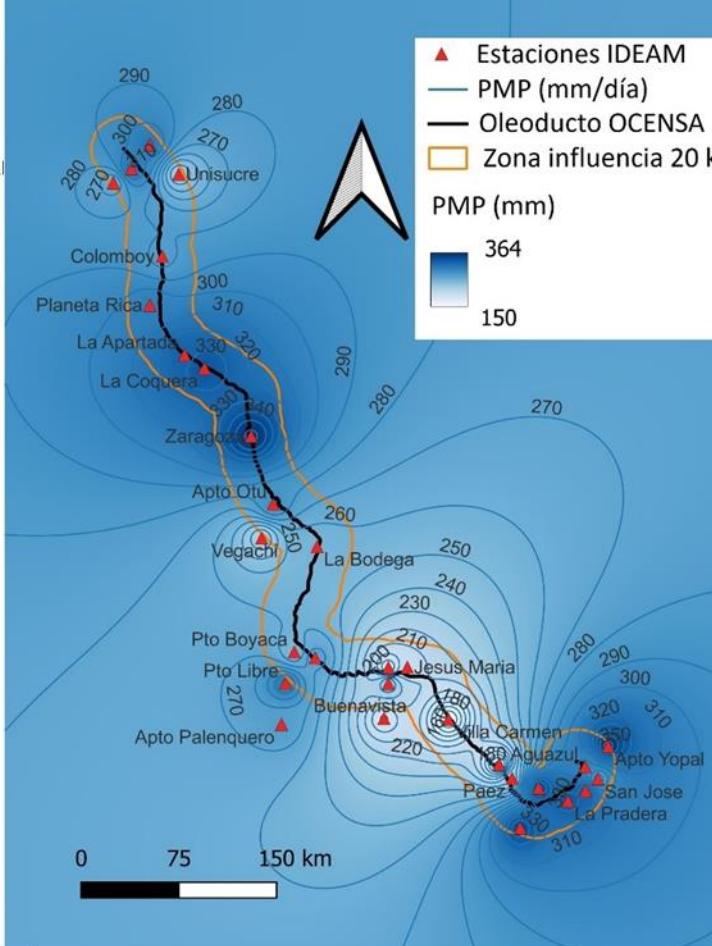
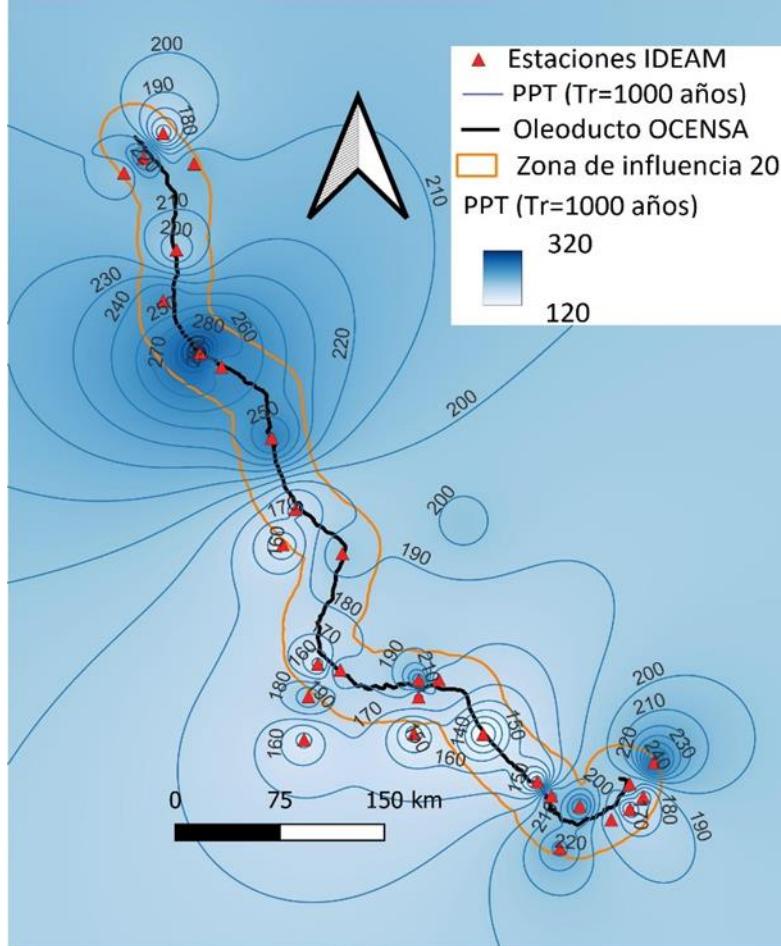


Se utiliza el software AFINS (UPV, 2008)





## 2. Lluvias máximas diarias anuales



Se utiliza el método de interpolación del IDC (Cifuentes, 2016)

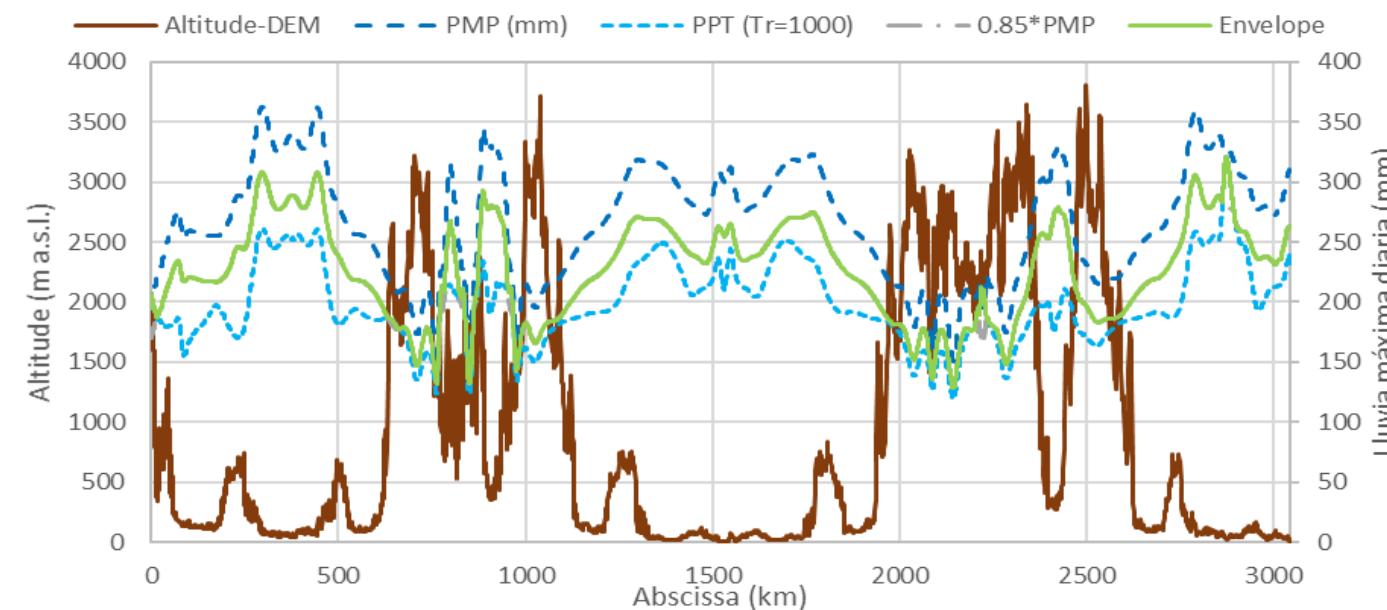
Estación	Tr=1000	Estación	Tr=1000
San José	163.8	Pto Niño	186.8
Tamarindo	146.5	La Bodega	197.4
La Pradera	187	Vegachí	152.2
Don Antonio	222.8	Albania	203.4
Tauramena	240.4	Apto Otu	168.9
Páez	213.3	Zaragoza	260.9
Aguazul	200.6	La Coquera	251.8
El Vivero	123.1	La Apartada	320.8
Apto Yopal	276.6	Planeta Rica	248.7
Apto Palenquero	147.4	Colomboy	192.5
Villa Carmen	119.2	Lorica ITA	201.7
Buenavista	134.6	Unisucre	216.6
Pto Libre	140.9	Villa Marcela	246.7
Albania	167.4	Tolú	153
Jesus María	171.7	La Esperanza	80.6
La Pradera	155.5	Agronomía	183
Pto Boyacá	146.4	Apto La Nubia	194.3

Alta variabilidad en lluvia para Tr=1000 años

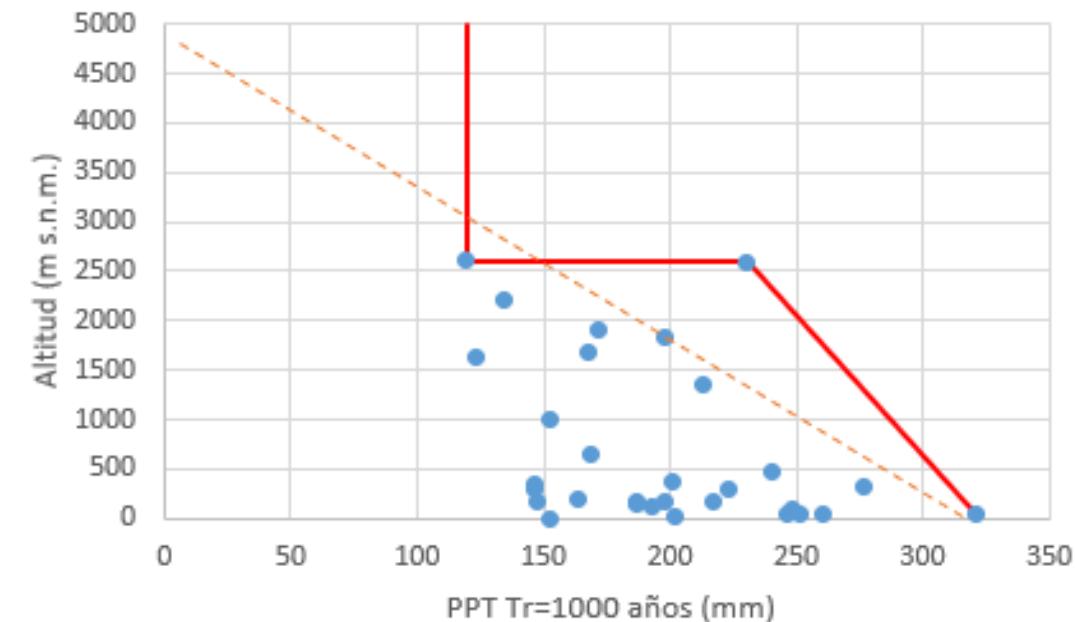


## Relación lluvia vs. elevación

- Relación de descenso con la elevación para el ajuste de una FDP GEV con un Tr=1000 años.
- La envolvente de la relación de la lluvia con la altitud sobrevalora gran parte de los valores máximos diarios



Se propone  $0.85 * \text{PMP}$  como lluvia máxima diaria

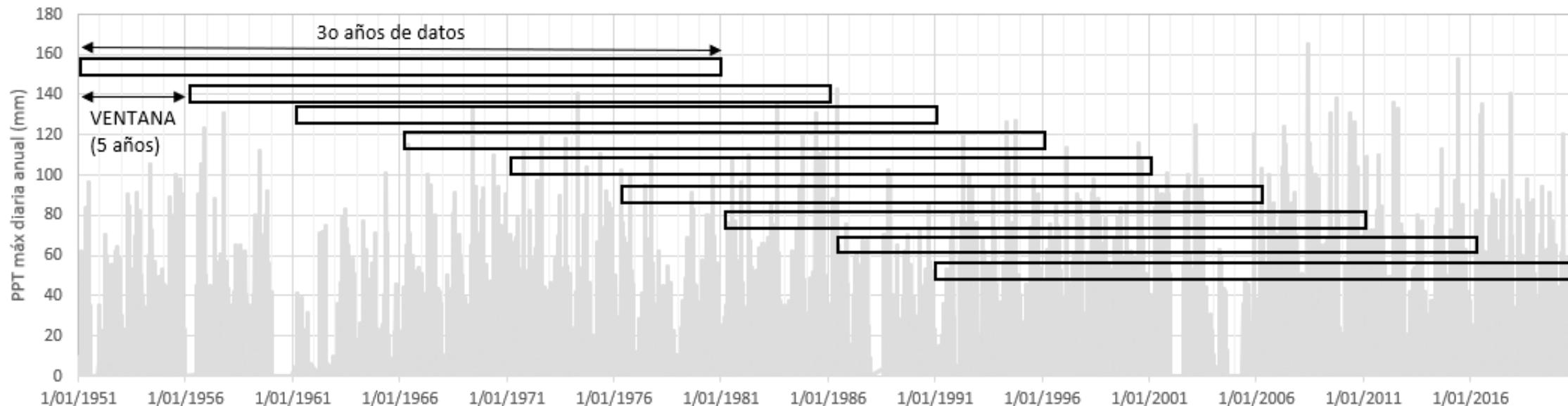


Se observa una disminución de la lluvia máxima diaria con la altitud, pero no es claro



## 3. Proyección al año 2050

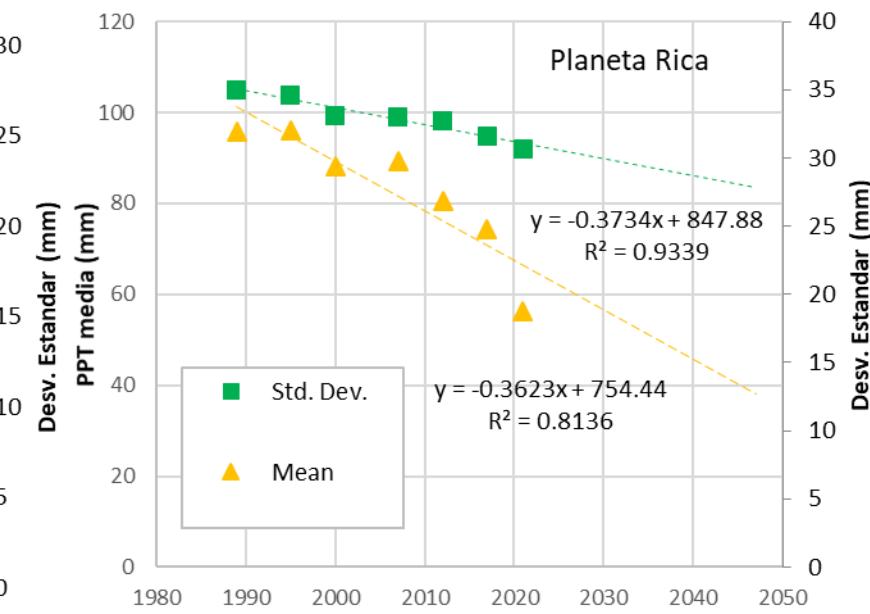
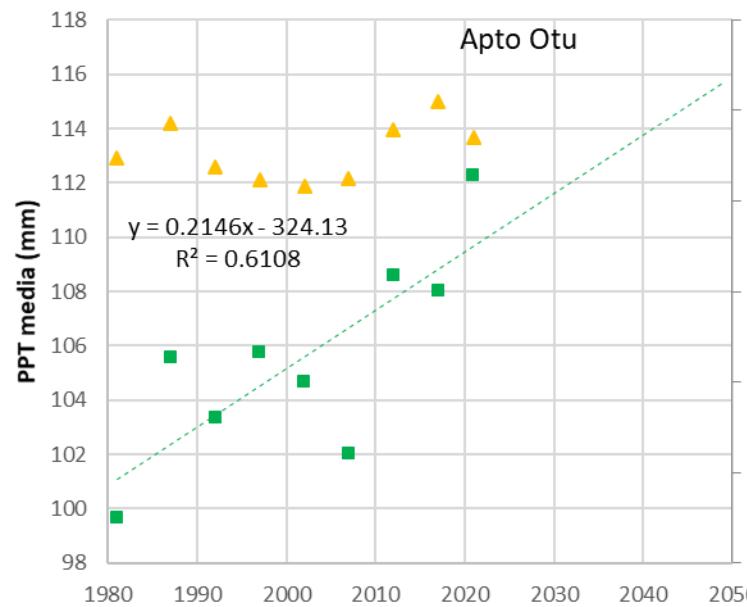
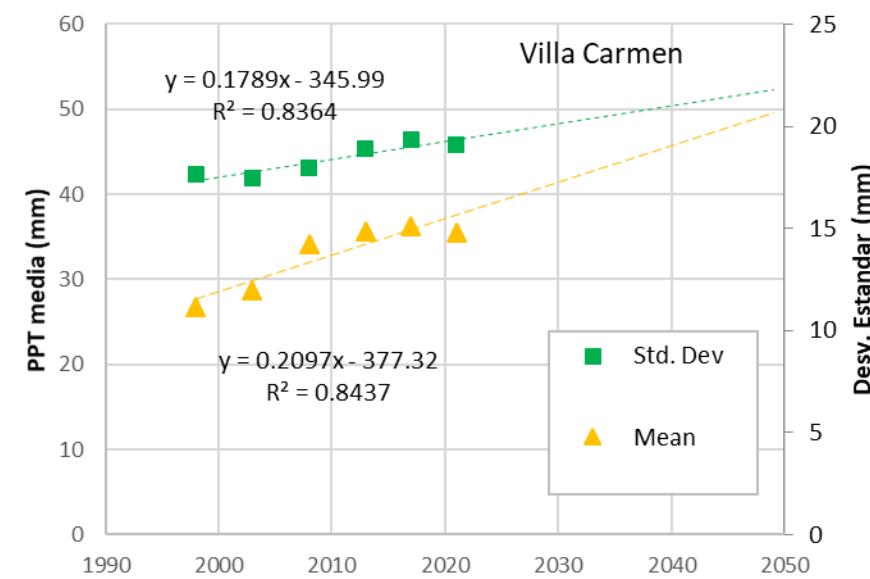
- Ventanas de 30 años de datos (OMM, 2017), que cambian cada 5 años, de esta manera se obtienen conjuntos de datos que pueden ser analizados conjuntamente y detectar variabilidad en el tiempo.



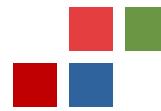


## 3. Proyección al año 2050

- Se analizan las tendencias de los ajustes lineales a partir de las ventanas temporales de 30 años, desplazadas cada 5 años para la series más largas del IDEAM.



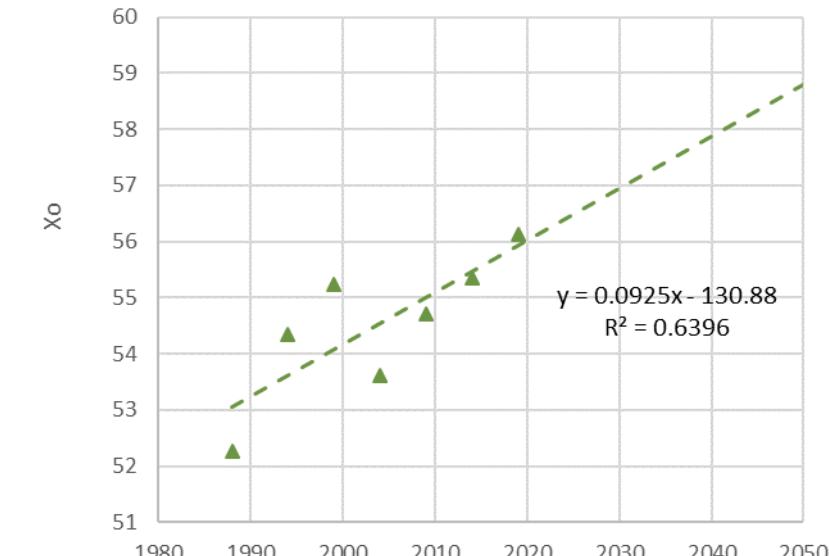
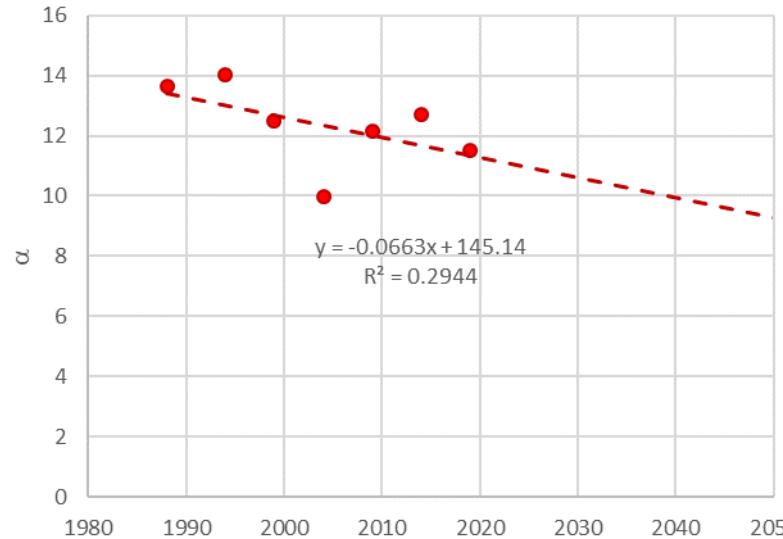
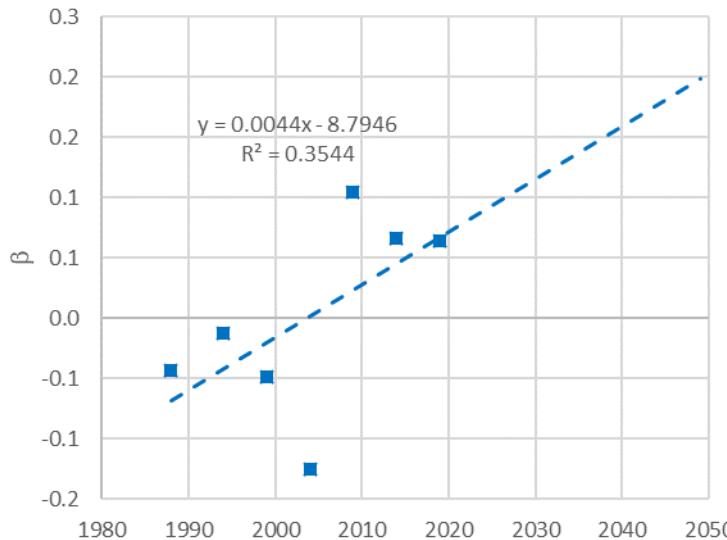
Se considera factible realizar el pronóstico de los estadísticos principales al año 2050



## 3. Proyección al año 2050

- Se analiza la variación de los parámetros de forma, localización y escala de la GEV para la ventana móvil de 30 años de datos cada 5 años.

$$F(x) = \exp \left\{ - \left( 1 - \frac{k(x - x_o)}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right\}$$



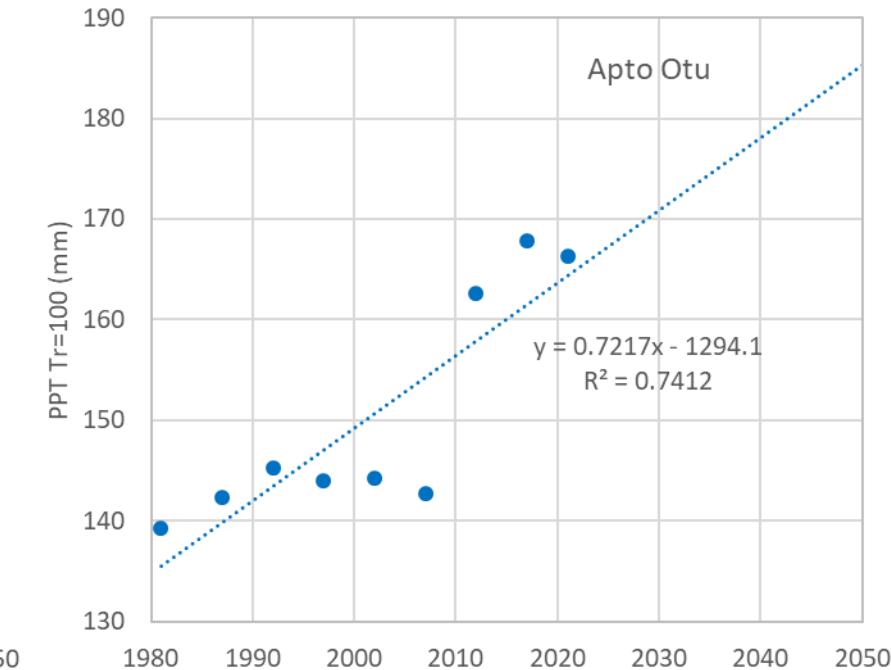
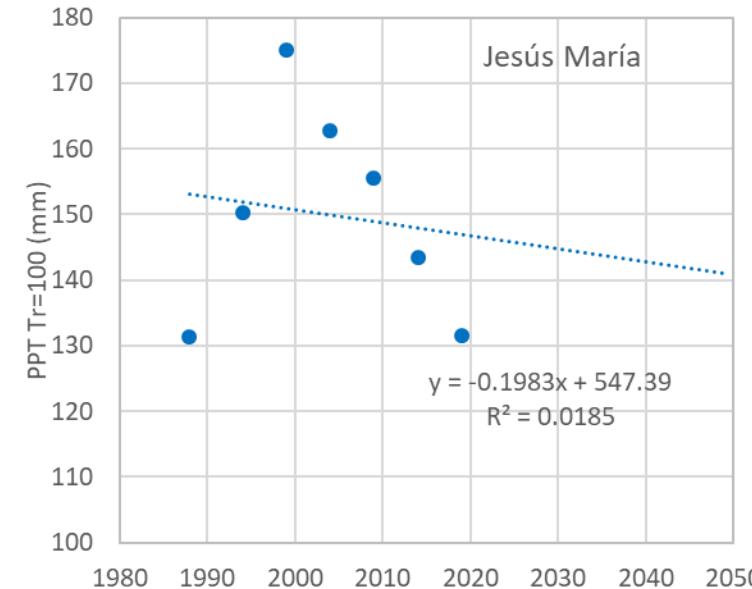
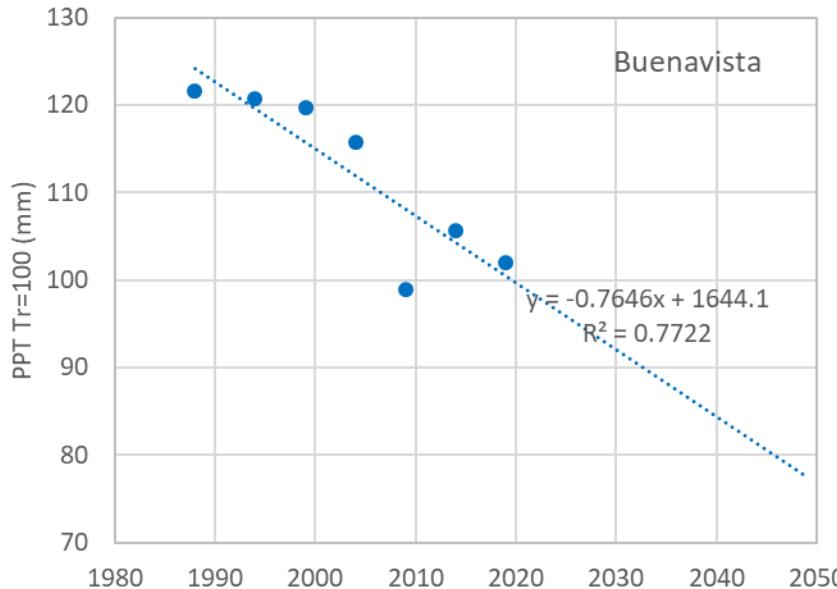
**Se considera factible realizar el pronostico de los parámetros de la GEV al año 2050**





## 3. Proyección al año 2050

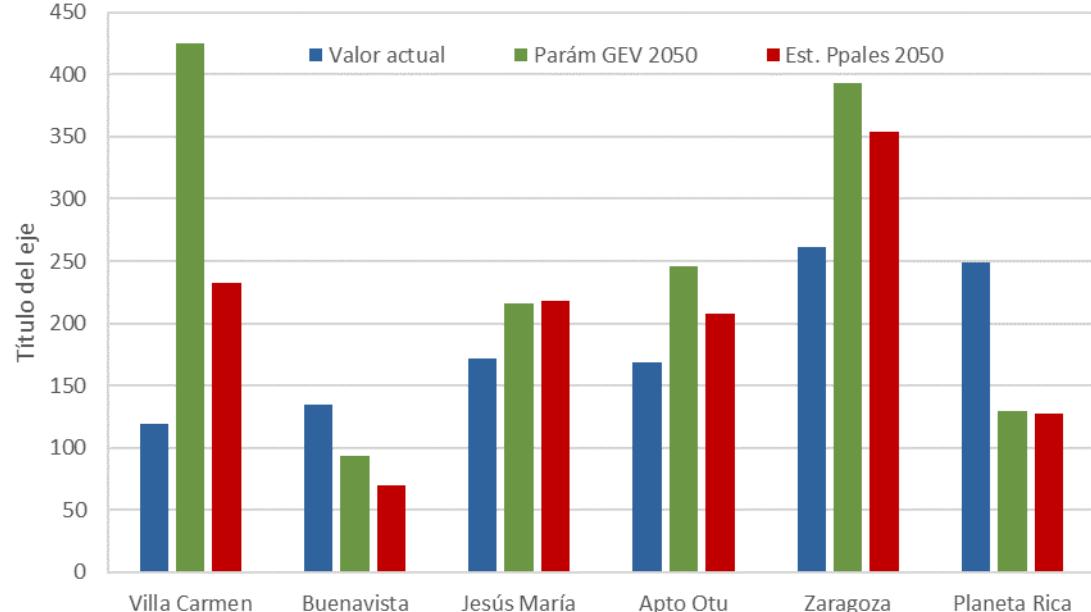
- Se analizan los resultados del análisis de frecuencia para las estaciones con series largas del IDEAM.



Se considera factible realizar el pronóstico de los parámetros de la GEV al año 2050



## 4. Análisis de resultados



No hay un patrón uniforme para lluvias diarias al año 2050, unas estaciones crecen y otras disminuyen

Según estadísticos principales

Según parámetros de GEV

Estación	Período de retorno, Tr (años)					
	5	25	50	100	500	1000
Villa Carmen	66	104	124	145	203	232
Buenavista	70	76	77	76.8	72.7	69.5
Jesus María	79	108	124	141	191	218
Apto Otu	136	166	176	185	202	208
Zaragoza	178	228	251	274	329	354
Planeta Rica	91	103	108	112	123	127
Tolú	122	127	127	127	126	126
Apto Yopal	182	278	324	372	496	553
Estación	Período de retorno, Tr (años)					
	10	50	100	200	500	1000
Villa Carmen	87	152	193	245	335	425
Buenavista	76	84	86.6	88.9	91.6	93.3
Jesus María	91	124	142	161	190	216
Apto Otu	152	186	200	214	233	246
Zaragoza	201	258	285	315	358	393
Planeta Rica	98	110	115	120	126	130
Apto Yopal	257	493	656	876	1289	1731



## Conclusiones

- Los patrones espaciales observados para las lluvias máximas diarias anuales estimadas con la metodología PMP y el análisis de frecuencia para un  $T_r=1000$  años **muestran el posible rango de variación de las lluvias extremas** en la región de STH.
- El análisis de no-estacionariedad de las lluvias máximas diarias con una ventana móvil muestran cambios en la media y en la varianza en todas las estaciones, aunque **no se identifica un patrón regional, ya que son pocas estaciones**, pero unas presentan aumento y otras disminución, confirmando la alta variabilidad, y esto hace pensar en cambios en los usos y cobertura de la tierra (efectos asociados al cambio climático, mencionados en el IPCC).



## Conclusiones

- **Existen diferencias en las proyecciones de la lluvia máxima diaria anual a 2050**, si se emplea la metodología de la extrapolación directa de los estadísticos principales de las lluvias máximas, con respecto a los valores obtenidos con la extrapolación de los parámetros de la FDP - GEV.
- En general, las lluvias máximas diarias anuales van a aumentar para el año 2050 en algunas regiones y disminuir en otras, por lo que **se requieren estudios adicionales para poder regionalizar de forma más precisa** y consistente la zona de influencia del STH de OCENSA S.A.S.



## Trabajos futuros

- Tomar resultados del IPCC (2021) de los diferentes escenarios propuestos para obtener series de lluvia en la zona de influencia del STH de OCENSA S.A. hasta el año 2050 y al 2100, y con base en ellos estimar las lluvias máximas.
- Se requiere de una exploración de diferentes estrategias de “downscaling” para cambiar de la escala de los MCG a la escala regional utilizada por proyectos lineales como el STH.
- Buscar relaciones entre los índices de variabilidad climática del ENOS (ONI, BEST, NIÑO3-4, etc.) con datos históricos de lluvia para comprender mejor las posibles relaciones existentes, y ver su relación con el aumento de las lluvias.



## Referencias

- Gimeno, L., Sori, R., Vásquez, M., Stojanovic, Algarra, I., M., Eiras-Barca, J., Gimeno-Sotelo, L. & Nieto, R. (2022). Extreme precipitation events. *WIREs Water*, 9 (6), <https://doi.org/10.1002/wat2.1611>
- Hershfield, D. M., 1965. Method for estimating probable maximum precipitation, *J. American Waterworks Association*, 57, 965-972.
- Tabios, G.Q. y Salas, J.D. A 1985. Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*. 21 (3), 365-380. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1985.tb00147.x>
- Camera, C., Bruggeman, A., Hidjinicolaou, P., Pashiardis, S. y Lange, M.A. 2013. Evaluation of interpolation techniques for the creation of gridded daily precipitation ( $1 \times 1 \text{ km}^2$ ); Cyprus, 1980–2010. *JGR Atmospheres*, 119 (2); 693-712. <https://doi.org/10.1002/2013JD020611>
- Cifuentes, A. (2016). Evaluación de diferentes métodos de interpolación para la variable precipitación en el departamento de Caldas. Tesis de Especialización. Universidad de Manizales.  
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2652>
- Khaliq, M.N., Ouarda, T.B.M.J., Ondo, J.C. Gachon, P., & Bobeé, B. (2006). *Journal of Hydrology*, 329 (3-4) 534-552.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.03.004>
- Xiaojie Xu, Yun Zhang. (2022) Second-hand house price index forecasting with neural networks. *Journal of Property Research* 39:3, pages 215-236.  
<https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.999180>
- IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2017). Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Jiménez, Jacobo. Metodologías para el uso de la información de satélite como herramienta para llenar series de datos diarios de lluvia en zonas de montaña colombianas, Tesis de Maestría. 117 p. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2023.
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.  
[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA\\_2018.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf)
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc* 28 (107), 201-222.  
<https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/issue/view/154/136>
- Poveda, G., Jaramillo L. y Vallejo L.F. (2014) Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers. *Water Resources Research*, 50 (1), 98-118. <https://doi.org/10.1002/2013WR014087>
- IPCC, (2021): Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Ruiz-Murcia, J.F. Resumen Ejecutivo Escenarios de Cambio Climático. Instituto de Hidrología y Meteorología de Colombia, IDEAM. Tomado de internet:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Resumen+Ejecutivo+Escenarios+de+Cambio+Clim%C3%A1tico.pdf/0e37511b-9ed9-40c7-b1d0-b0a47eb7d36e> Consultado en diciembre de 2020:
- OMM (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre las normales climáticas. Organización Mundial Meteorológica. OMM-N°1203.  
[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4167](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167)
- Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2016). Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el período 1981-2014. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 11. <http://ladhi2016.org/>



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN !



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# OCENSA



Grupo de trabajo académico en  
Ingeniería Hidráulica y Ambiental

