



## INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE LAS PRECIPITACIONES

Maiquel López Silva<sup>1\*</sup>; Dayma Carmenates Hernández<sup>1</sup>; Oscar Borwn Manrique<sup>1</sup>;  
Albi Mujica Cervantes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Hidrotécnicos, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Ciego de Ávila  
"Máximo Gómez Báez" - Carretera a Morón km 9 ½ Ciego de Ávila, Cuba.

[maiquelcuba@yahoo.com](mailto:maiquelcuba@yahoo.com) - (053) 58717520 (\*Autor de correspondencia)

### Resumen

Los desastres naturales provocan cada año grandes impactos económicos y sociales en la región de América Latina y el Caribe; los mismos han tenido una frecuencia ascendente, debido a los cambios climáticos que se manifiestan a escala global, intensificada por acciones antrópicas. En consecuencia, se prevén serias repercusiones para la región, relacionadas con la degradación del suelo, la pérdida de rendimientos de la agricultura. Siendo necesario determinar nuevos indicadores del cambio climático como herramienta de información que permiten poner de manera gráfica el estado de una situación. El presente trabajo ofrece un estudio que se desarrolló en la provincia Ciego de Ávila, Cuba con el objetivo de demostrar la existencia de cambio climático relacionado con los recursos hídricos que están muy asociados a las variables precipitación y número de días con lluvia. Se analizó una serie de 30 años mensual, en el periodo comprendido de 1983 al 2012, obtenidos de forma sistemática en cuatro pluviómetros para lo cual se construye el climograma de la localidad y se determinan los indicadores para la evaluación del cambio climático. La serie histórica de las precipitaciones demostró que el 42 % de los meses estuvieron por debajo de los 50 mm. Los periodos húmedos y secos demostraron una tendencia a la disminución de las precipitaciones en el periodo húmedo e incremento en el periodo seco. Las anomalías climáticas negativas representaron el 27, 40 y 60% respecto los últimos 15, 10 y 5 años respectivamente.

**Palabras claves:** climograma, húmedo, seco.



## Introducción

Existen claros signos de que el clima está cambiando, y el cambio climático es uno de los retos más importantes a los que debe enfrentarse una humanidad globalizada (Useros, 2012). Se registraron incrementos en la temperatura global que no son explicables en su totalidad por causas naturales (Concepción, 2017).

Los efectos del cambio climático a nivel mundial determinaron que se agudizaran las sequías, los procesos de desertificación, los fenómenos meteorológicos extremos, los deshielos, la elevación del nivel del mar y el ascenso de las temperaturas, por lo que se deben analizar, de forma integral y armónica, los factores relacionados con estos cambios, pues la existencia de nuestra civilización dependerá del esfuerzo mancomunado de todos para evitar o disminuir la contaminación ambiental (Senra *et al.*, 2013).

ODEPA (2013) informó que el cambio climático podría afectar a la agricultura de varias maneras como en la productividad, en términos de cantidad y calidad de los cultivos; a través de los cambios del uso del agua para el riego y efectos en el medio ambiente, particularmente la relación de la frecuencia y sistema de drenaje de suelos, erosión, reducción de la diversidad de los cultivos.

Para el caso del municipio Ciego de Ávila se han presentado problemas de sequías meteorológicas que han provocado impactos severos sobre el agua para el riego y la población; sin embargo, no se ha demostrado científicamente la vinculación de estos efectos negativos con el cambio climático. En este sentido, el objetivo de este trabajo es consiste en determinar los indicadores del cambio climático que contribuyan a la estimación de los impactos sobre las precipitaciones en el municipio de Ciego de Ávila.

## Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en el municipio Ciego de Ávila que es la capital provincial. La situación geográfica es 21°50 latitud Norte y 780,40 de longitud Oeste, con extensión superficial es de 444,6 km<sup>2</sup> representando el 7,0% del área provincial. El relieve es fundamentalmente llano y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 27 metros.

El análisis de la serie de datos fue en una serie de 30 años de observaciones sistemáticas de precipitaciones del municipio Ciego de Ávila que comprendió el periodo de 1983 al 2012; pudiéndose contar con un total de 10 950 datos.

La homogeneidad de la serie de lluvia se comprobó mediante la prueba de hipótesis a través del test "T" de Student para varianzas de dos submuestras según sugerencias de



(González et al., (2007). Se formuló la hipótesis de nulidad (H0) y la alternativa (H1) de modo que si el estadígrafo test “T” de Student calculado (T) es mayor que su valor crítico (Tc) o la probabilidad (P) es menor que el nivel de significación ( $\alpha$ ) para un 5%, se toma la decisión de rechazar Ho y aceptar H1; demostrándose que las submuestras comparadas difieren estadísticamente.

Se aplicó la técnica de estadística descriptiva para analizar los estadígrafos fundamentales de la serie de lluvias para escala de tiempo diaria, mensual y anual (Escalante y Amores, 2013). Mientras que el análisis de la variabilidad estacional e interanual de las precipitaciones se determinó mediante la construcción de un gráfico de barras y dispersión.

### *Climograma*

El climograma se construyó según Muñoz (2003) con tres ejes, uno horizontal y dos verticales, donde las temperaturas se presentan en una línea y las precipitaciones en barras. La escala de precipitaciones es el doble que la de temperaturas, para que se pueda representar correctamente la existencia o no de estación seca, acorde con el índice de Gaussen que determina el índice de aridez que se expresan mediante la siguiente ecuación:

$$I_A = 2 \cdot T \quad (1)$$

Si:  $P \text{ (mm)} \leq I_A$ : mes seco.

Si:  $P \text{ (mm)} \geq I_A$ : mes no seco.

Donde  $I_A$  es el Índice de aridez y  $T$  la Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Se determinó la oscilación térmica anual, indicando el mes más cálido, el más frío mediante la siguiente ecuación:

$$O_T = T_{cal} - T_{fr}$$

Donde  $O_T$  es la oscilación térmica anual ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{cal}$  la temperatura media del mes más cálido ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{fr}$  la temperatura media del mes más frío ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### *Indicadores para la evaluación del cambio climático*

En la determinación de indicadores para la evaluación del cambio climático se emplearon tres criterios: las anomalías climáticas; el cambio del patrón de lluvias y la curva de precipitación acumulada.

### *Anomalías climáticas*

Las anomalías climáticas expresan desviaciones del comportamiento de una determinada variable climática respecto a su promedio hiperanual. Se trata de un parámetro que se utiliza para demostrar la presencia de un cambio climático conforme con la siguiente ecuación:

$$A_p = P_i - P_m$$



Donde  $A_p$  es la anomalía climática para la variable precipitación (mm),  $P_i$  el valor de la precipitación (mm) para el año  $i$ ,  $P_m$  la media aritmética hiperanual de la precipitación (mm).

### *Patrones de desplazamiento*

Los patrones de desplazamiento expresan las desviaciones de los valores promedios mensuales de la variable climática analizada para un determinado periodo de tiempo respecto a los valores promedios mensuales para un periodo largo de tiempo considerado como la norma. Se representa mediante dos curvas de dispersión construidas mediante la herramienta Microsoft Office Excel 2016 y la divergencia respecto a la curva normal indica la existencia de un cambio climático.

### *Precipitación acumulada*

La precipitación acumulada se obtiene a partir de la suma acumulativa de los valores promedios mensuales de una determinada variable climática analizada para un periodo de tiempo dado, respecto a la suma acumulativa de los valores promedios mensuales de misma variable climática para un periodo largo de tiempo considerado como la norma. Se representa también mediante dos curvas de dispersión construidas mediante la herramienta Microsoft Office Excel 2016 y la divergencia respecto a la curva normal indica la existencia de un cambio climático.

## **Resultados y Discusión**

En las tablas 1 y 2 se presentan los valores de las precipitaciones que conforma la serie de datos básicos necesarios para los análisis posteriores de los posibles cambios climáticos que pueden producirse en el municipio Ciego de Ávila.

**Tabla 1.** Lluvias del municipio Ciego de Ávila en el periodo 1983-2012.

<b>Año</b>	<b>Ener</b>	<b>feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>1983</b>	40.2	121.6	58.8	25.9	30.3	134.8	50.6	172	83	66.6	76.7	53.2
<b>1984</b>	26.7	547	43	23.6	101.7	149.2	64.1	108.6	149.5	63.3	4.6	16.6
<b>1985</b>	9.4	6	19.1	25.9	202.9	139.7	106.8	132	124.8	77	116.9	13.4
<b>1986</b>	34.7	7.5	65.3	2.7	103.1	274.1	34.8	122.7	59.8	41.6	19.5	28.9
<b>1987</b>	45.5	13.1	78.3	14	57.7	55.8	76	53.8	234.2	137.9	31.5	20.4
<b>1988</b>	31.8	1	4.6	33	249.1	483.2	121.1	131.8	124.6	142.9	63.3	18
<b>1989</b>	2	17.3	11.1	131.4	49.1	91.7	139.5	60.9	161.4	55.3	60	40.5
<b>1990</b>	9.1	12.9	185.5	58.9	198.7	102.3	69.3	158.9	188.3	114.4	50.3	27.1
<b>1991</b>	18.5	2.1	31.5	34	123.3	199.8	117.5	88.6	89.6	51.6	50.4	9.1
<b>1992</b>	263	101.1	4.8	80.3	54.4	370.1	108.1	176.8	248.8	60.8	40.3	3.1
<b>1993</b>	36.4	19.8	54.6	29.9	151	100.4	58.1	71.8	164	139.8	88.9	60.9
<b>1994</b>	64.1	41.8	66.9	149.1	151.2	175	56.9	95.4	255.8	197.2	47.5	10
<b>1995</b>	33.3	4	21.9	13.7	106.9	441.8	185.3	271.9	166.3	149.2	49.1	125
<b>1996</b>	24.4	0.9	25.3	57.7	396.4	224.2	54.4	64.6	225.2	163.2	114.5	14.7
<b>1997</b>	53.6	3.5	43.5	58.3	77.8	369	118.5	152.6	134	92.5	42.9	38



1998	58.1	86.4	80	6.3	143.5	187.7	151.3	208.3	368.6	153	65.3	25.6
1999	36.8	30.2	23.3	56.7	234.5	279.4	153.7	206.7	224.3	206.2	137.1	14.7
2000	72.5	1	24.2	48.4	95.3	159.7	140.5	201.8	150.3	127.4	10.7	192.3
2001	18.3	35.5	28.2	52.7	229.7	113.2	213.1	131.1	277.1	230	93.7	31.8
2002	38.3	18.8	43.9	3.8	393.3	257.2	98.5	142	233.5	108.5	77.7	13.4
2003	2.2	58.4	87.1	122.6	168.4	308.3	93.2	282.6	325.7	106	90.3	26.1
2004	0.4	26.8	28.1	15.2	75.2	171	122.8	88	78.8	103.9	5.3	0.8
2005	3	3.8	22	71.6	75.2	148.6	185.1	143.1	232.5	299	76.7	11.6
2006	17.4	26.4	6.1	61.2	98.2	321.9	82.6	133.6	262.4	100.3	63	27
2007	5.4	32	34.5	5.2	198.7	323	231.2	244.9	259.5	293.4	17.1	24.9
2008	26.4	11.8	67.9	67.6	325.3	249.2	96.1	174.9	375.6	104.3	40.8	28.3
2009	6.5	0.5	15.1	30.9	108.3	207.3	85.6	157.4	166	53.6	10.5	10.4
2010	3.3	183.3	2.3	162.7	202.1	102.2	151	174.4	338.6	74.8	30.6	5.3
2011	6.3	1.1	1.3	11.2	21.5	68.9	69.7	53.3	49.8	48.6	18.2	11.2
2012	0.2	2.8	8.8	18.8	97.1	32.1	18.5	78.3	22	37.2	3.1	5.6

**Tabla 2.** Lluvias extremas medias y de los periodos secos y húmedos.

Año	P <sub>min</sub> (mm)	P <sub>max</sub> (mm)	P <sub>H</sub> (mm)	P <sub>S</sub> (mm)	P <sub>m</sub> (mm)
1983	25.9	172	537.2	376.3	913.5
1984	4.6	149.5	636.3	169.1	805.4
1985	6	202.9	783.3	190.7	973.9
1986	2.7	274.1	636.1	158.7	794.8
1987	13.1	234.2	615.5	202.7	818.2
1988	1	483.2	1252.7	151.8	1404.5
1989	2	161.4	557.9	262.3	820.1
1990	9.1	198.7	832	176.8	1008.8
1991	2.1	199.8	670.5	145.6	816.1
1992	3.1	370.1	1018.9	255.8	1274.7
1993	19.8	164	685	290.4	975.4
1994	10	255.8	931.5	379.3	1310.7
1995	4	441.8	1321.2	246.9	1568.1
1996	0.9	396.4	1128.6	237.4	1366
1997	3.5	369	944.3	239.8	1184.4
1998	6.3	368.6	1203.4	321.6	1525
1999	14.7	279.4	1324.8	298.7	1623.5
2000	1	201.8	874.9	249	1223.9
2001	18.3	277.1	1194	260.1	1454.2
2002	3.8	339.3	1232.9	195.8	1428.7
2003	2.2	325.7	1284.2	386.6	1670.8
2004	0.4	171	639.6	76.5	716.2



<b>2005</b>	3	299	1106.5	188.6	1295
<b>2006</b>	6.1	321.9	1099.4	200.9	1300.4
<b>2007</b>	5.2	325.3	1677.3	119.1	1796.3
<b>2008</b>	11.8	375.6	1108.3	242.7	1351
<b>2009</b>	0.5	207.3	872	73.8	945.8
<b>2010</b>	2.3	338.6	891.3	387.5	1278.7
<b>2011</b>	1.1	69.7	311.7	49.2	360.8
<b>2012</b>	0.2	97.1	285.1	39.3	324.3

$P_{\min}$  es la precipitación mínima,  $P_{\max}$  es la precipitación máxima,  $P_H$  las precipitaciones en el periodo húmedo,  $P_S$  las precipitaciones en el periodo seco y  $P_m$  la media aritmética hiperanual de la precipitación (mm).

Se demostró que la serie de precipitaciones anuales correspondiente al municipio Ciego de Ávila es homogénea; debido a que el estadígrafo calculado (T) es menor que su valor crítico ( $T_c$ ) y la probabilidad (P) es mayor que el valor de  $\alpha$  para el 5%; por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis de nulidad.

En las tablas 3 se exponen los resultados del análisis descriptivo de las precipitaciones anuales para valores mínimos, máximos y los valores medios correspondientes al periodo seco, húmedo e hiperanual. Se observa que la media histórica hiperanual de la serie en el periodo analizado es de 1144,3 mm con un coeficiente de variación de 32,1 mm. El valor mínimo de la serie es de 0,2 mm que se presenta en el mes de enero y el máximo de 483,2 ocurrido en el mes de junio. El valor medio de las precipitaciones en el periodo húmedo es de 921,9 mm con un máximo de 1677,3 mm y un mínimo de 285,1 mm. En el caso del periodo seco se encontró un valor promedio de las precipitaciones de 222,4 mm con un máximo de 387,5 mm y un mínimo de 39,3 mm.

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de las precipitaciones anuales

<b>Estadígrafo</b>	<b><math>P_{\min}</math> (mm)</b>	<b><math>P_{\max}</math> (mm)</b>	<b><math>P_H</math> (mm)</b>	<b><math>P_S</math> (mm)</b>	<b><math>P_m</math> (mm)</b>
<b>Media (mm)</b>	6.2	270.8	921.9	222.4	1144.3
<b>Mediana</b>	3.6	275.6	911.4	220.0	1249.3
<b>Desviación Estándar (mm)</b>	6.5	103.9	326.1	99.2	366.9
<b>Coeficiente de variación (%)</b>	105.5	38.4	35.4	44.6	32.1
<b>Máximo</b>	25.9	483.2	1677.3	387.5	1796.3
<b>Mínimo</b>	0.2	69.7	285.1	39.3	324.3

En la figura1 se muestra la variabilidad interanual de las precipitaciones en el periodo 1983-2012. Se observa que el 43% de los años presentan una pluviometría anual entre 1000-1500 mm. Por encima de 1500 mm se encuentra el 16% de los años destacándose el año 2007 con 1796.3 mm. Por debajo de 1000 mm aparecen el 40% de los años resaltando el 2012 con solo 324,3 mm, lo que indica fue un periodo muy seco. La línea de tendencia indica un ligero incremento de las precipitaciones en el periodo estudiado.

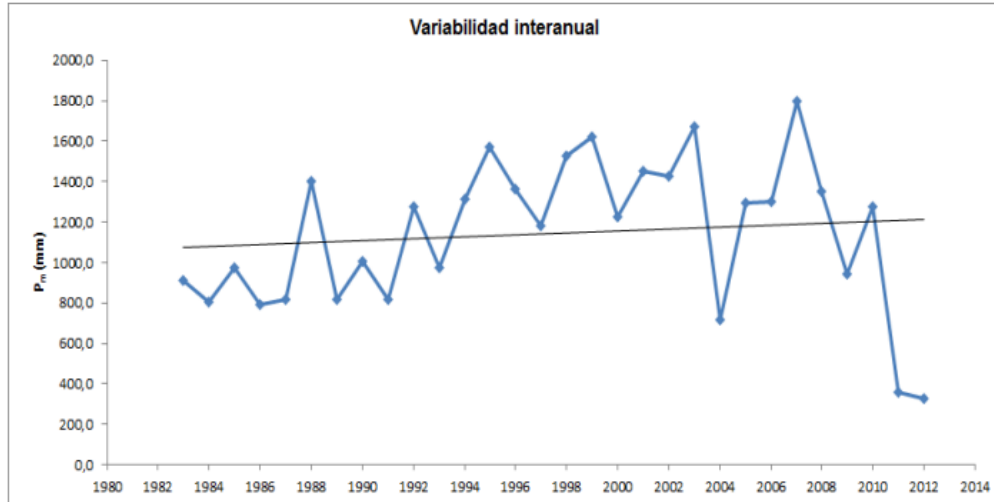


Figura 1. Variabilidad interanual de las precipitaciones.

En la figura 2 se muestra el comportamiento estacional de las precipitaciones en el propio periodo de estudio. Se observa que el 42% de los meses presentan una pluviometría inferior a 50 mm, destacándose el mes de enero el cual no sobrepasa los 28 mm. Por encima de 100 mm mensuales se encuentran los meses del periodo lluvioso, destacándose el mes de junio con valor de lluvia superior a los 200 mm.

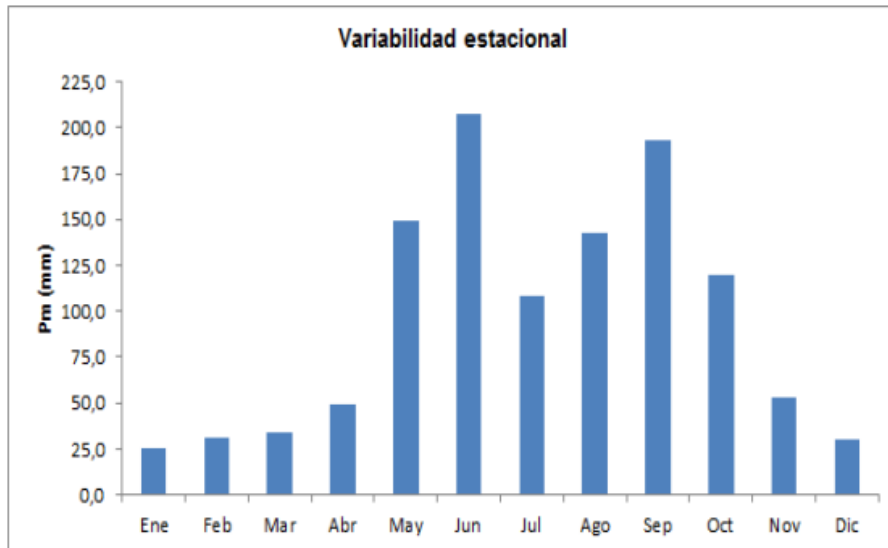
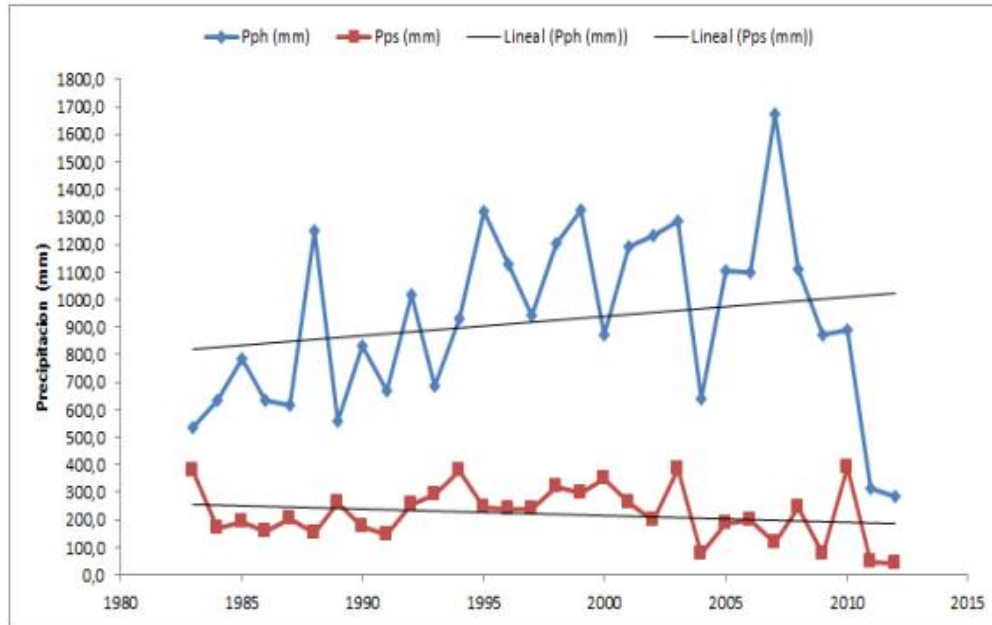


Figura 2. Variabilidad estacional de las precipitaciones.

En la figura 3 se presentan los resultados del comportamiento de las precipitaciones en los periodos lluviosos y secos. Se observa que en el periodo húmedo el mayor valor de precipitación se encontró en el año 2007 con 1677,3 mm. En el periodo seco el mayor valor de precipitaciones se encontró en el año 2003 con 386,6 mm y el menor valor en el año 2012 con 39,3 mm. La línea de tendencia señala un ligero incremento de las lluvias en el periodo húmedo y un descenso en el periodo seco.



**Figura 3.** Variabilidad de las precipitaciones en periodos húmedos y secos.

En la figura 4 se representa el climograma del municipio Ciego de Ávila. Se observa que la temperatura media del municipio oscila entre 22,2-27,2 °C, destacándose los meses de julio y agosto con las temperaturas más elevadas. Los valores de esta variable permiten calificar el estado de esta localidad como de temperaturas altas pues la media supera los 17 °C.

La temperatura de verano se clasifica como calurosa, pues todos los meses del año presentaron temperaturas superiores a los 22 °C. La temperatura de invierno se clasifica como suave al encontrarse que la temperatura media del mes más frío fue de 22,2 °C, muy superior a los 10°C.

La precipitación del municipio Ciego de Ávila se clasifica como muy abundante, pues el valor medio hiperanual es superior a 1000 mm. Se evidencia que en 5 meses (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo) el índice de aridez es superior al valor de la temperatura media; por lo tanto, se consideran como meses secos. Este resultado conlleva a que la distribución de las precipitaciones sea irregular.



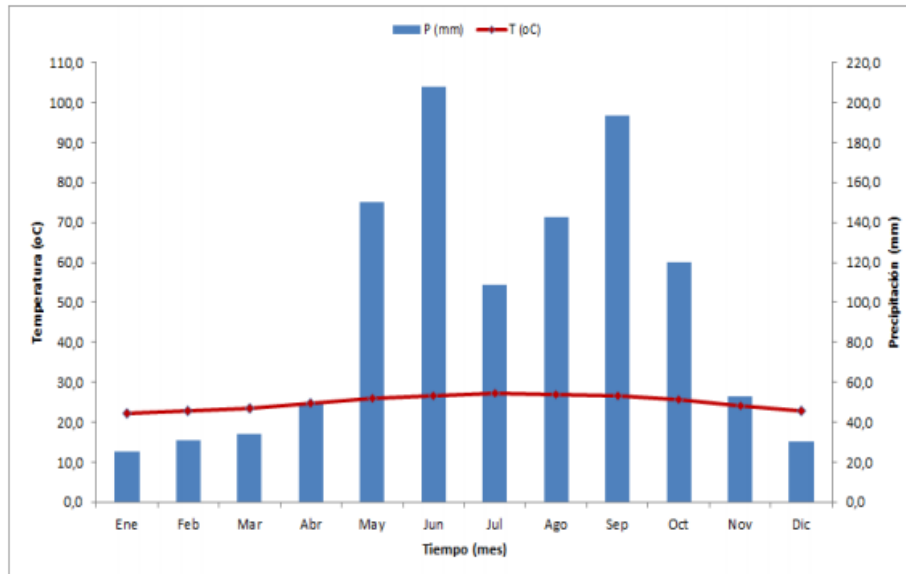


Figura 4. Climograma del municipio Ciego de Ávila.

En la figura 5 se demuestran la ocurrencia de anomalías climáticas negativas en las precipitaciones. Estas anomalías negativas ocurren en el 43 % de los 30 años estudiado, los cuales se encuentran por debajo del valor de la media. Cabe destacar que en el año 2008 existe un alza en el valor de las precipitaciones con 689 mm.

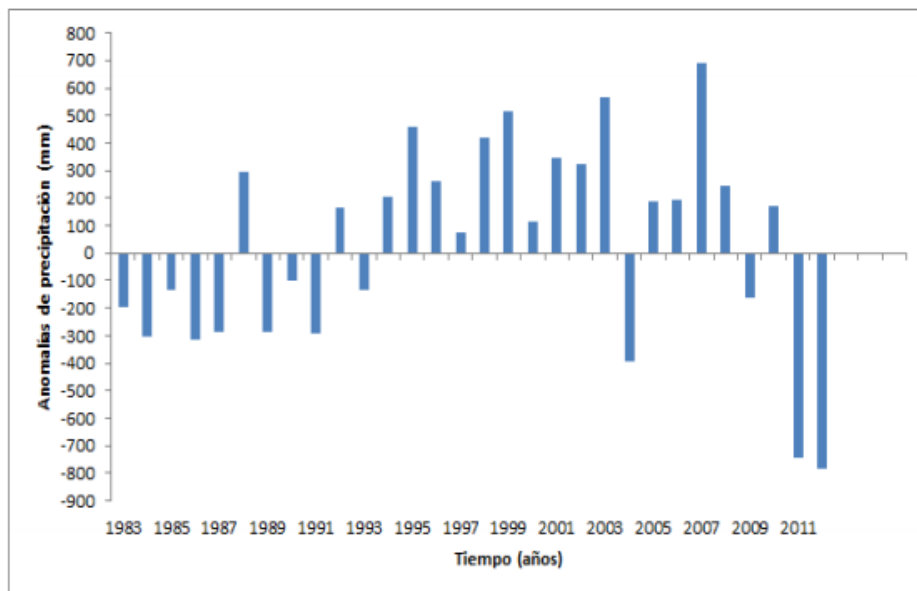


Figura 5. Anomalías de la precipitación en el periodo 1983-2012.

En las figuras 6 se observa el patrón de desplazamiento de las precipitaciones en los últimos 5, 10 y 15 años respectivamente. Se evidencia que prácticamente no se producen cambios climáticos en los últimos 15 años, donde solo se pudo comprobar incrementos de las precipitaciones en el mes de septiembre.



En los últimos 10 años se evidencia aumentos de las precipitaciones durante 5 meses del año (mayo, junio, julio, agosto y septiembre). Las evidencias más notables de ocurrencia de cambio climático ocurren en los últimos 5 años, donde pudo comprobarse aumento de las precipitaciones en los meses de marzo, julio, septiembre y diciembre; sin embargo, hubo descenso en la lámina de lluvia durante los meses de junio, agosto, octubre y noviembre. Este comportamiento es preocupante porque el descenso se produce en meses que presentan las mayores pluviometrías del año.

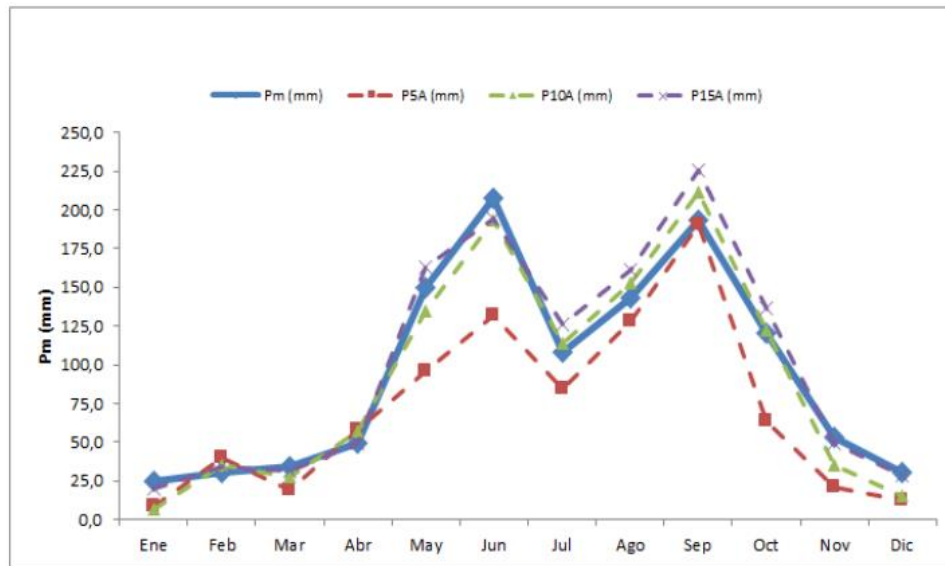


Figura 6. Patrón de desplazamiento de la lluvia en los últimos 15, 10 y 5 años.

En la figura 7 se exponen los resultados de las curvas acumulativas para las precipitaciones. Se encontró que no ocurren cambios en los últimos 15 años; pero en los últimos 10 años aumentan las precipitaciones en los meses de julio a diciembre y en los últimos 5 años disminuyen las precipitaciones en los meses de agosto a diciembre.

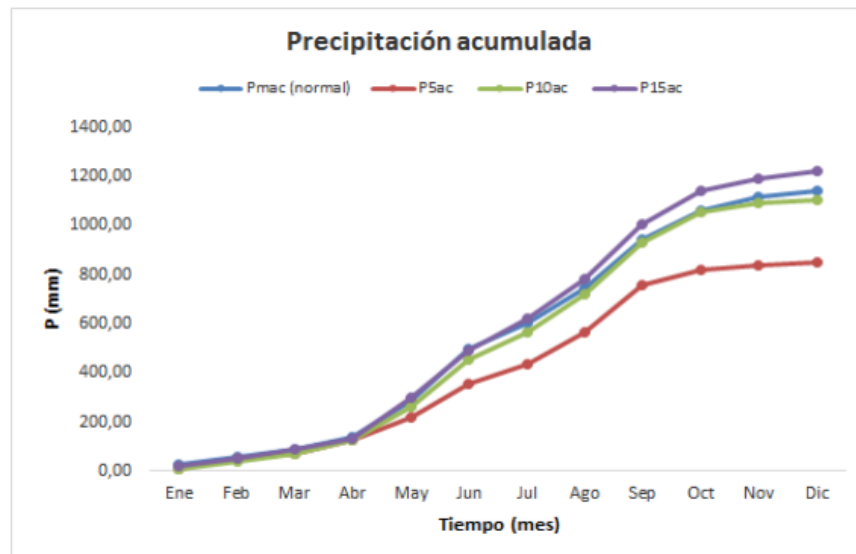


Figura 7. Curva de precipitación acumuladas en los últimos 15, 10 y 5 años.



## Conclusiones

La caracterización de la precipitación en el municipio Ciego de Ávila en el periodo 1983-2012 demostró que el 43% de los años presentaron pluviometría entre 1000 -1500 mm y el 42 % de los meses estuvieron por debajo de los 50 mm. Además se existe una tendencia a la disminución de las precipitaciones en el periodo húmedo e incremento en el periodo seco.

El climograma construido para el municipio Ciego de Ávila demostró que se trata de una zona con temperatura alta, verano caluroso, invierno suave, amplitud térmica muy baja y abundante precipitación de forma irregular.

Las anomalías climáticas negativas representaron el 27, 40 y 60% respecto los últimos 15, 10 y 5 años respectivamente, lo que indica un incremento notable de este indicador debido a la reducción de la magnitud de la lluvia respecto a la norma.

Los cambios de patrón de precipitación y la curva acumulada mostraron incrementos ligeros de la precipitación en los meses de julio a octubre en los últimos 15 años; disminución apreciable de la precipitación en los meses de noviembre y diciembre; así como disminución considerable de la precipitación desde mayo a noviembre en los últimos cinco años.

## Referencias Bibliográficas

- Escalante, C.; Amores, L. (2013). Análisis de la precipitación en la costa de Chiapas. XI Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y VII Seminario Internacional del Uso del Agua. 1-5 de octubre, ISBN: 978- 607-7601-96-8, Ciego de Ávila, Cuba.
- Concepción, P. G. (2017). Indicadores de cambio climático para la evaluación de los impactos sobre las precipitaciones en el municipio majagua. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.
- González, L.; Marrero, N.; Jorge, M. Del C.; Martínez, J. B. (2007) Temas de Hidrología Superficial para Ingenieros. Editorial Félix Varela, ISBN: 978- 959-07-0310-2, pp.21-24, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Muñoz, M. C. (2003): Esquema para el comentario de un climograma, Geografía 2º de Bachillerato, Ediciones Anaya, Madrid, España, 2003.
- ODEPA (2013). Estudio: Cambio climático. Impacto en la Agricultura, Heladas y Sequía. Informe Final. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura, pp-7-28.



Senra, A.; Soto, S.; Guevara, R. (2013): “Estrategia de enfrentamiento a problemas asociados al cambio climático en ecosistemas ganaderos cubanos”. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey, Cuba. ISSN 2224-7920.

Useros, J. L. (2012). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León, Valladolid. España.