

72

Fecha de presentación: febrero, 2022

Fecha de aceptación: mayo, 2022

Fecha de publicación: junio, 2022

INDICADORES

PARA LA EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE VENEZUELA EN CIEGO DE ÁVILA, CUBA

INDICATORS FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IN THE MUNICIPALITY OF VENEZUELA IN CIEGO DE ÁVILA, CUBA

Yoelkis Hernández Vicctor¹

E-mail: yoelkis@unica.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6422-4298>

Enrique Almeida Maldonado¹

E-mail: ealmeida@unica.cu

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5460-1624>

Oscar Brown Manrique¹

E-mail: obrown@unica.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3713-3408>

¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Hernández Vicctor Y., Almeida Maldonado E., & Brown Manrique, O., (2022). Indicadores para la evaluación del cambio climático en el municipio de Venezuela en Ciego de Ávila, Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S3), 699-712.

RESUMEN

El Cambio Climático es un fenómeno transversal y complejo el mismo incluye dimensiones económicas, sociales y ambientales que interactúan entre sí. Hoy la demanda de información sobre cambio climático es mayor que la oferta, particularmente en los aspectos ambientales. Existe orientación estadística principalmente para la estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Otros indicadores deben tenerse en cuenta para poder evaluar el cambio climático. Utilizando una serie cronológica de datos de 30 años, se desarrolla una investigación de la variabilidad climática en el municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila este se basó en la información climatológica de varios parámetros meteorológicos entre 1990 y 2019. Los datos fueron obtenidos a través de la estación ubicada en el municipio de Venezuela del Instituto de Meteorología de Ciego de Ávila. Se realizó un análisis estadístico a partir del comportamiento de las variables precipitación y temperatura, humedad relativa, días con lluvias, la media de estas variables fue estudiada para el periodo antes mencionado. Se determinaron las evidencias de cambio climático mediante anomalías climáticas, patrones de desplazamiento y la curva acumulada de las variables. Los resultados demuestran una mayor variabilidad climática en los últimos 5 años, la tendencia a la disminución de varios parámetros y la caracterización de la aridez de los meses

Palabras clave: variables; cambio climático; indicadores; estadística; meteorológicos

ABSTRACT

Climate Change is a cross-cutting and complex phenomenon that includes economic, social and environmental dimensions that interact with each other. Today the demand for information on climate change is greater than the supply, particularly in environmental aspects. There is statistical guidance mainly for the estimation of Greenhouse Gas emissions. Other indicators must be taken into account in order to assess climate change. Using a chronological series of 30-year data, an investigation of climate variability is developed in the municipality of Venezuela in the province of Ciego de Ávila, based on the climatological information of various meteorological parameters between 1990 and 2019. The data were obtained through the station located in the municipality of Venezuela of the Institute of Meteorology of Ciego de Ávila. A statistical analysis was carried out based on the behavior of the variable's precipitation and temperature, relative humidity, rainy days, the mean of these variables was studied for the aforementioned period. Evidence of climate change was determined through climatic anomalies, displacement patterns and the cumulative curve of the variables. The results show a greater climatic variability in the last 5 years, the tendency to decrease in several parameters and the characterization of the aridity of the months

Keywords: variables; climate change; indicators; statistics; meteorological

INTRODUCCIÓN

El cambio del clima es una realidad que conlleva al recrudecimiento de los eventos extremos, al aumento de las temperaturas, máximas sequías y fuertes lluvias. Estos procesos tienen especial incidencia en los estados insulares, donde naciones como Haití, República Dominicana, Belice, Cuba, entre otras, son las más afectadas dentro de la región del Gran Caribe (Cid, 2019).

El cambio climático es reconocido como uno de los problemas ambientales globales más complejos y que mayores desafíos presenta a la sociedad, a la comunidad científica y técnica y a las autoridades políticas. Los impactos del cambio climático en ámbitos como la salud de la población (Torres, 2019), recursos hídricos (Carranza, 2019; Alarcón, 2019; Cruz, 2020) y biodiversidad (Reyes, 2021), y en distintos sectores como agricultura (Artega, 2018), el turismo (Martínez, 2021; Hechavarría, 2021), generación de energía (Cuesta, 2021), infraestructura y transporte (Sosa, 2021) entre otros, hacen necesaria la evaluación continua de los impactos en dichos ámbitos y sectores para contribuir con el diseño de estrategias para hacerles frente y mitigar sus efectos negativos.

El cambio climático está referido a la alteración del clima con respecto al historial climático mundial o regional e involucra a diversos parámetros meteorológicos como precipitaciones, temperatura, presión atmosférica, nubosidad, aumento en el nivel del mar. El cambio climático se debe tanto a causas naturales como antropogénicas (Brown, 2015).

El clima constituye uno de los recursos naturales más apreciados de la Tierra; pues posee la propiedad de restablecer constantemente el calor, la humedad, la radiación solar, el viento y otros elementos climáticos. Es además un recurso básico del que dependen todos los demás; por lo que cualquier cambio en el mismo repercute sobre la naturaleza y la sociedad (IPCC, Birch, 2014).

Se considera por parte de los autores que existen evidencias del cambio climático divisadas por la comunidad científica en diferentes lugares del planeta que han generado al más alto nivel político de la humanidad una respuesta.

El calentamiento mundial registrado en el siglo XX se relaciona con una serie de cambios registrados en factores

climáticos, así como en el ciclo hidrológico y otros ciclos biogeoquímicos del planeta (Gonzales et al., 2003).

Los diversos Indicadores climáticos, temperatura, precipitación, presión, humedad, viento, nubosidad sintetiza las características principales del clima de una determinada localidad. Estos cambios que se están produciendo en la actualidad son la antesala de un proceso que se desarrollará a medio y largo plazo, y cuyos impactos en sectores de actividad como el turismo, la agricultura entre otros pueden suponer un gran condicionante para economías locales. Los mencionados efectos están, por tanto, requiriendo la implementación de acciones de adaptación territorial al cambio climático (Somedo et al. 2016; Sorensen, 2017).

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. Se registraron incrementos en la temperatura global que no son explicables en su totalidad por causas naturales (Lopez, 2019).

Cuba cuenta con una estrategia para la adaptación al cambio climático sustentada en los sistemas de observación del sistema climático, la educación de la población y la comprensión del problema por parte de los actores a los diferentes niveles (Brown et al. 2015).

En el municipio de Venezuela se han presentado variaciones en varias variables meteorológicas que han provocado impactos severos; sin embargo, no se ha demostrado científicamente la vinculación de estos efectos con el cambio climático. Para contribuir al enriquecimiento del conocimiento se presente la siguiente investigación que tiene como objetivo evaluar diferentes indicadores para la determinación de evidencias de cambio climático en el municipio de Venezuela de la provincia Ciego de Ávila y apoye a la toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el municipio de Venezuela de la provincia de Ciego de Ávila, situado en la parte meridional de esta provincia, en los 21° 42' latitud Norte y los 78° 48' longitud Oeste. Limita al norte, con el municipio de Ciego de Ávila, al sur con el Golfo de Ana María, al este con el municipio Baragüá y al oeste con el municipio de Majagua (Figura 1).

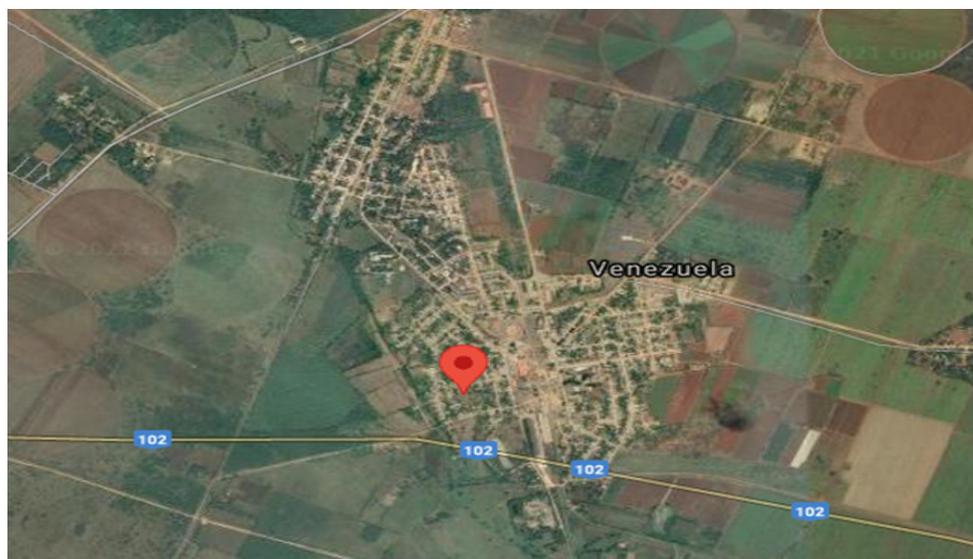


Figura.1 Localización de municipio Venezuela en Ciego de Ávila.

En la investigación se analizó una serie de 30 años de datos correspondiente a cuatro variables meteorológicas: precipitaciones, temperatura, número de días con lluvia y humedad relativa en el periodo comprendido desde 1990 al 2019. Los datos fueron obtenidos de forma sistemática de la estación meteorológica del municipio Venezuela en la provincia de Ciego de Ávila. Los datos de precipitaciones anuales fueron desestacionalizados mediante el método de promedios mensuales (Lobos y Muñoz, 2005); lo que aseguró contar con una serie histórica exenta del componente estacional y sin observaciones extrañas o discordantes.

Se construyó el climograma de Gaussen (Martínez, 2013) para conocer el ambiente climático del municipio de Venezuela a partir de la síntesis de las características principales del clima en la localidad con base en el promedio de las variables temperatura y precipitación. En este proceso se estimó el índice de aridez (IA) para los meses en que los valores de las precipitaciones quedan por debajo de los de las temperaturas (Camarasa, 2009). El índice de aridez se presenta cuando el doble de la temperatura media es igual o superior a las precipitaciones, lo cual es visible en un gráfico construido siguiendo este criterio. La expresión utilizada fue la siguiente:

$$IA = 2T_m(^{\circ}C) \quad (1)$$

Si $P \text{ (mm)} \leq IA$: se presenta un mes seco.

Si $P \text{ (mm)} \geq IA$: se presenta un mes no seco.

Dónde:

IA: Índice de aridez.

T_m : Temperatura media mensual ($^{\circ}C$).

P: Precipitación (mm).

La temperatura media del mes durante el periodo estudiado se calculó mediante el método de la media aritmética (Rondero, 2010). La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$T_{Mm} = \frac{\sum_{i=1}^n T_m}{12} \quad (2)$$

Donde

TMm: Temperatura media mensual (°C).

Tm: Temperatura mensual (°C)

n: Número de años estudiados.

El climograma construido en esta localidad permitió la identificación de los meses secos, los cuales se clasificaron en cinco categorías determinadas estadísticamente a través del método de los quintiles (Arias et al., 2020).

La oscilación térmica anual se determinó mediante la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la temperatura media del mes más frío (Alexandre et al., 2013) como muestra la expresión siguiente:

$$OT = T_{cal} - T_{fr} \quad (3)$$

Dónde:

OT: Oscilación térmica anual (°C).

Tcal: Temperatura media del mes más cálido (°C).

Tfr: Temperatura media del mes más frío (°C).

Las evidencias de cambio climático se estimaron a partir de cinco indicadores: variabilidad interanual, tendencia lineal, curva sumaria, patrón de desplazamiento y anomalías. El análisis del comportamiento de las variables involucradas en estos indicadores sustentada en sus variaciones estadísticas de un periodo determinado con respecto a la estadística de largo plazo indicará si ocurren o no cambio climático (Chávez, 2018).

La variabilidad interanual se determinó según Olivares et al. (2013) para las variables precipitación (anual, Paño; del periodo húmedo, Pph y del periodo seco Pph), número de días con lluvias (anual, DLLaño; del periodo húmedo, DLLph y del periodo seco DLLph) y temperatura media (anual, Ta; del periodo húmedo, Tph y del periodo seco Tph).

La tendencia de las variables climatológicas analizadas se obtuvo mediante el método de regresión lineal simple (Moray y Reyes, 2013; Alcántara et al., 2014;) en función de los valores observados de las precipitaciones, número de días con lluvia y temperatura para la escala de tiempo anual y los periodos húmedo y seco. El valor de la pendiente de la línea de tendencia indicó la magnitud y orientación del cambio climático.

La curva sumaria o acumulativa de la precipitación se calculó según Hernández et al. (2016) como la suma acumulativa de los valores promedio mensuales de la precipitación para un periodo de tiempo dado (últimos 5, 10, 15 y 20 años), respecto a la suma acumulativa de los valores promedios mensuales de la misma variable climática

para un periodo largo de tiempo conocido como norma (serie igual o mayor a 30 años). Las precipitaciones analizadas fueron: precipitación acumulada normal, $Pac_{(normal)}$; precipitación acumulada de los últimos cinco años, Pac_{5A} ; precipitación acumulada de los últimos diez años, Pac_{10A} ; precipitación acumulada de los últimos 15 años, Pac_{15A} ; precipitación acumulada de los últimos 20 años, Pac_{20A} .

Los patrones de desplazamientos se construyeron conforme al procedimiento utilizado por Alfaro y Santos (2012). En esta investigación los patrones se representaron mediante dos curvas de dispersión, donde la divergencia de los valores promedio mensuales de cada periodo analizado respecto a la curva normal indicó la existencia de un cambio climático. Las variables analizadas fueron: las precipitaciones (precipitación normal, P_{norm} ; precipitación de los últimos cinco años, P_{5A} ; precipitación de los últimos diez años, P_{10A} ; precipitación de los últimos 15 años, P_{15A} ; precipitación de los últimos 20 años, P_{20A}) y el número de días con lluvias (número de días con lluvias normal, DLL_{norm} ; número de días con lluvias de los últimos cinco años, DLL_{5A} ; número de días con lluvias de los últimos diez años, DLL_{10A} ; número de días con lluvias de los últimos 15 años, DLL_{15A} ; número de días con lluvias de los últimos 20 años, DLL_{20A}).

Las anomalías climáticas se calcularon como las diferencias algebraicas de la variable climática analizada respecto a su valor promedio hiperanual (Labraga et al., 2011; Verdezoto, 2021). Las variables analizadas fueron las precipitaciones anuales, el número de días con lluvias anuales, la temperatura media anual y la humedad relativa media anual. Este indicador se definió mediante la expresión siguiente:

$$A_x = X_i - X_m \quad (4)$$

Donde:

A_x : Anomalía climática para la variable en estudio.

X_i : Valor de la variable para el año i .

X_m : Media aritmética hiperanual de la serie de datos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestra el comportamiento estacional de la temperatura y la precipitación a través del climograma del municipio de Venezuela en la provincia de Ciego de Ávila. La norma de estas dos importantes variables y otros elementos del clima definen dos estaciones climáticas bien definidas, denominadas periodo lluvioso (mayo-octubre) y periodo poco lluvioso (noviembre-abril) lo cual ha sido informado por otros estudios realizados en el país

como los de Herrera et al. (2018) en el municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, Cuba.

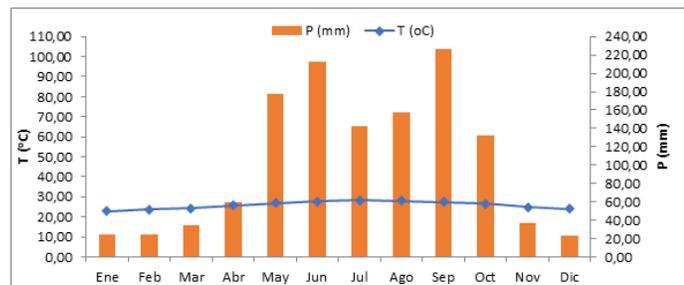


Figura. 2: Climograma municipio Venezuela.

El régimen hídrico del municipio de Venezuela se destaca por una precipitación anual de 1253 mm como promedio, siendo los meses de septiembre y junio los más pluviosos con 227 mm y 212 mm respectivamente. Este resultado es ligeramente inferior a la pluviometría anual encontrada por Aranguren et al. (2015) en investigaciones realizadas en la provincia de Matanzas; pero resultó ser similar a los acumulados en los meses más lluviosos. En el municipio de Venezuela el periodo seco presenta una precipitación total de 204 mm (16%); mientras que el periodo no seco (húmedo) ofrece una precipitación total de 1049 mm (84%).

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura máxima media del mes más cálido (julio) de 28,2 °C y una mínima media del mes más frío (enero) de 23,0 °C. En esta región la temperatura media del mes más cálido (julio) fue menor en relación con la encontrada por Aranguren (2009) en una investigación realizada en Jagüey Grande, Matanzas donde se alcanzaron valores de 33,6 °C; sin embargo, la temperatura media del mes más frío fue notablemente inferior con valor de 14,3 °C. La oscilación térmica anual de municipio Venezuela es de 5,20°C.

Durante la investigación se demostró utilizando el índice de Gausson para la determinación del Índice de Aridez, que los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, marzo y abril fueron los que presentaron la categoría de seco por encontrarse por debajo del valor de la temperatura media hiperanual con valores límites extremos de 24 mm y 60 mm. En la Tabla 1 se presentan los rangos de precipitaciones medias mensuales para la determinación de la categoría de evaluación de los meses secos. Se comprueba que los meses secos en el municipio Venezuela se clasificaron en tres categorías: mes seco severo (diciembre, febrero y enero) con precipitaciones de 24 y 25 mm; mes seco fuerte (marzo y noviembre) con precipitaciones de 34 mm y 36 mm respectivamente y mes seco incipiente (abril) con precipitación de 60 mm. Los meses restantes obtuvieron la categoría de no secos.

Tabla 1. Categoría para la evaluación de los meses secos.

Rango de precipitación mensual (mm)	Categoría de evaluación
24 - 30	Severo
31 - 38	Fuerte
39 - 45	Moderado
46 - 52	Ligero
53- 60	incipiente

Los estudios sobre el índice de aridez dan una idea objetiva de la situación del agua en relación a su comportamiento temporal y espacial, y definen las características intrínsecas del lugar, a partir de lo cual se puede evaluar su potencial productivo; por lo que son indispensables para la planeación del uso del recurso agua, principalmente en zonas con disponibilidad limitada (Mercado et al., 2010).

Los resultados presentados permiten afirmar que según la clasificación de Köppen (modificada), el clima del municipio Venezuela es tropical y estacionalmente húmedo, con influencia marítima y rasgos de semicontinentalidad, similar al resto de las regiones de Cuba (Lima et al., 1988). En este tipo de clima, los factores que determinan su formación están asociados a la cantidad de radiación solar que se recibe por proximidad al Trópico de Cáncer, las particularidades de la circulación atmosférica y la diferente influencia de las características físico-geográficas del territorio (Ramírez et al., 2011).

La estación seca se identifica por las variaciones del tiempo y el clima debido al paso de sistemas frontales, a la influencia anticiclónica de origen continental y a los centros de bajas presiones extratropicales; mientras que la estación húmeda se caracteriza por presentar pocas variaciones en el tiempo y la influencia del Anticiclón del Atlántico Norte; los cambios más importantes se deben a la presencia de ondas del este y ciclones tropicales (Celeiro, 2001).

Los resultados del climograma permiten tomar medidas técnicas para el beneficio económico de las actividades agrícolas mediante las informaciones obtenida de las estaciones meteorológicas; lo que favorece el manejo de los cultivos; sin embargo, esta valiosa fuente de datos no es suficientemente utilizada por los técnicos y los agricultores (Burba y Cavagnaro, 2021).

En la Figura 2 se muestra la variabilidad interanual de las precipitaciones anuales (Paño), las precipitaciones del periodo húmedo (Pph) y las precipitaciones del periodo seco (Pps). Se observó que la serie de precipitaciones anuales y precipitaciones del periodo húmedo presentan

un comportamiento similar; aunque con valores diferentes; pues las precipitaciones de los meses del periodo húmedo representan el 84% de las precipitaciones anuales. En ambos casos se evidencia que los años de mayor pluviometría fueron 1997, 2001, 2002, 2007, 2012 y 2017; mientras que los de menor precipitación pertenecieron a los años 1993, 2000 y 2004. La tendencia lineal es positiva con pendiente de 2,20 y 1,09 para las precipitaciones anuales y precipitaciones del periodo húmedo respectivamente.

En la propia Figura 3 se constata que los picos de precipitaciones máximas y mínimas hiperanuales del periodo seco manifiestan un comportamiento diferente en comparación con las precipitaciones anuales y precipitaciones del periodo húmedo. Las mayores precipitaciones se encontraron en los años 1992, 2003, 2010, y 2019 con acumulados cercanos a los 350 mm; mientras que el menor valor apareció en el año 2004 con 23 mm. La tendencia lineal también es positiva con pendiente de 1,10.

Este resultado permite afirmar que las precipitaciones en el municipio Venezuela muestran tendencia al incremento en la escala de tiempo anual y en los periodos húmedo y seco. Las ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el valor de la tendencia lineal de las precipitaciones fueron las siguientes:

$$P_{\text{año}} = 2,20T - 3148,10 \quad (5)$$

$$P_{\text{ph}} = 1,09T - 1146,30 \quad (6)$$

$$P_{\text{ps}} = 1,10T - 2001,90 \quad (7)$$

Donde:

$P_{\text{año}}$: Precipitaciones anuales (mm).

P_{ph} : Precipitaciones del periodo húmedo (mm).

P_{ps} : Precipitaciones del periodo seco (mm).

T : Tiempo (años).

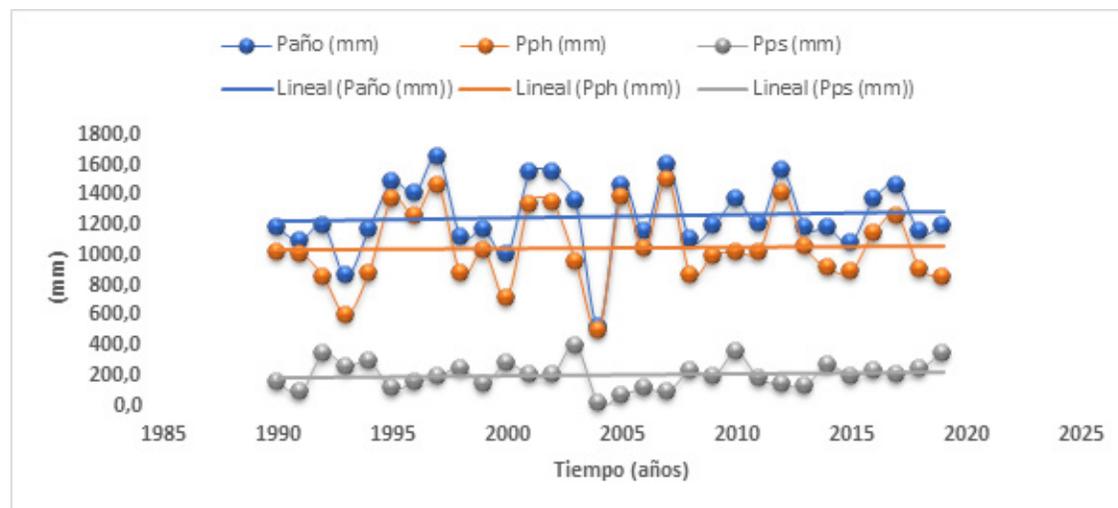


Figura.3: Variabilidad interanual de precipitaciones en los periodos seco y húmedo.

En la Figura 3 se expone la variabilidad interanual del número de días con lluvias anuales ($DLL_{\text{año}}$), el número de días con lluvias del periodo húmedo (DLL_{ph}) y el número de días con lluvias del periodo seco (DLL_{ps}). En el análisis de esta variable se encontró también un comportamiento similar al de las precipitaciones en el periodo húmedo y el periodo seco. Los años con mayor cantidad de número de días con lluvias en el periodo anual fueron 1991, 2007 y 2009 con valores de 131, 141 y 139 respectivamente; mientras que el año 2004 fue el más crítico con un valor de 83. En el periodo húmedo el valor más alto estuvo en el año 2007 con un valor de 110; no obstante, sobresalieron valores mínimos en los años 1993, 2000, 2004 y 2008 con 63, 69, 70 y 73 respectivamente. La tendencia lineal es positiva con pendiente

de 0,23 para el número de días con lluvias anuales y el número de días con lluvias del periodo húmedo respectivamente; lo que indica que el cambio climático tiende al incremento del número de días con lluvias anuales y en el periodo húmedo.

En la Figura 4 se observa también que el máximo número de días con lluvias en el periodo seco se registró en los años 1992, 2008 y 2017 con valores de 42, 44 y 43 respectivamente; mientras que los menores valores estuvieron en los años 2004 y 2005 con 13 y 19 respectivamente. La curva muestra una tendencia prácticamente nula; pues el valor de la pendiente es de 0,005. Este resultado indica que en esta variable no ocurrió cambio climático en el periodo evaluado.

Los resultados expuestos demuestran que en el municipio Venezuela existe una tendencia al incremento del número de días con lluvias anuales y en el periodo húmedo; no siendo así en el periodo seco. Las ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el valor de la tendencia lineal del número de días con lluvias fueron las siguientes:

$$DLL_{año} = 0,23T - 349,80 \quad (8)$$

$$DLL_{ph} = 0,23T - 373,10 \quad (9)$$

$$DLL_{ps} = 0,005T + 23,30 \quad (10)$$

Donde:

$DLL_{año}$: Número de días con lluvias anuales.

DLL_{ph} : Número de días con lluvias del periodo húmedo.

DLL_{ps} : Número de días con lluvias del periodo seco.

T : Tiempo (años).

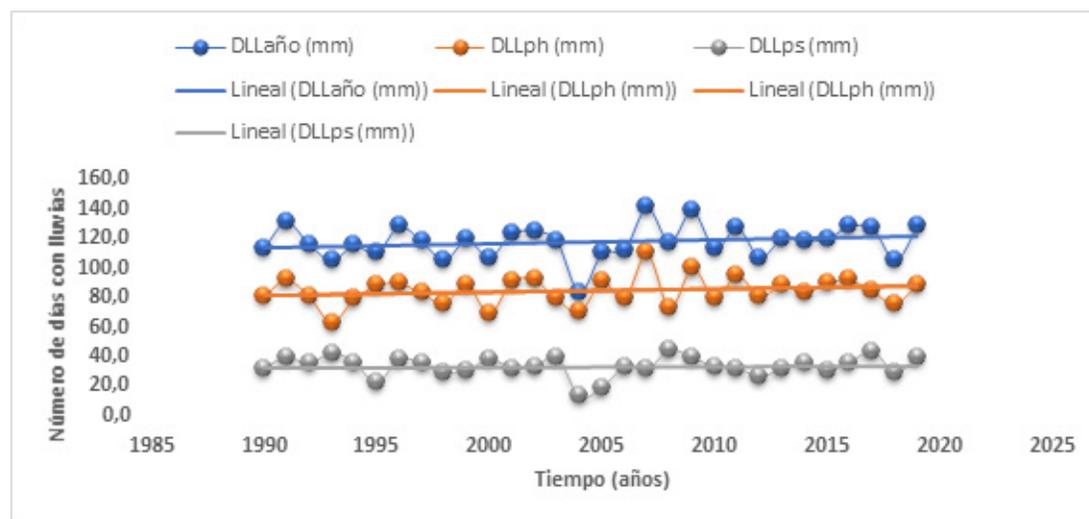


Figura.4: Variabilidad interanual del número de días con lluvias en los periodos seco y húmedo.

En la Figura 5 se muestra la variabilidad interanual de la temperatura media anual, la temperatura media del periodo húmedo y la temperatura media del periodo seco de la serie cronológica estudiada. La tendencia lineal de la temperatura media anual y la temperatura media del periodo húmedo es positiva con valores de pendiente muy pequeña de 0,005 y 0,002 respectivamente (prácticamente nula); por lo que no ocurre cambio climático. En el caso de la temperatura media del periodo seco la tendencia lineal es negativa con un valor de pendiente muy pequeña de 0,0006; por lo que tampoco sucede cambio climático. Las ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el valor de la tendencia lineal de la temperatura fueron las siguientes:

$$T_a = 0,005T + 17,69 \quad (11)$$

$$T_{ph} = 0,002T - 22,49 \quad (12)$$

$$T_{ps} = 0,0006T + 25,45 \quad (13)$$

Donde:

T_a : Temperatura media anual (°C).

T_{ph} : Temperatura media del periodo húmedo (°C).

T_{ps} : Temperatura media del periodo seco (°C).

T : Tiempo (años).

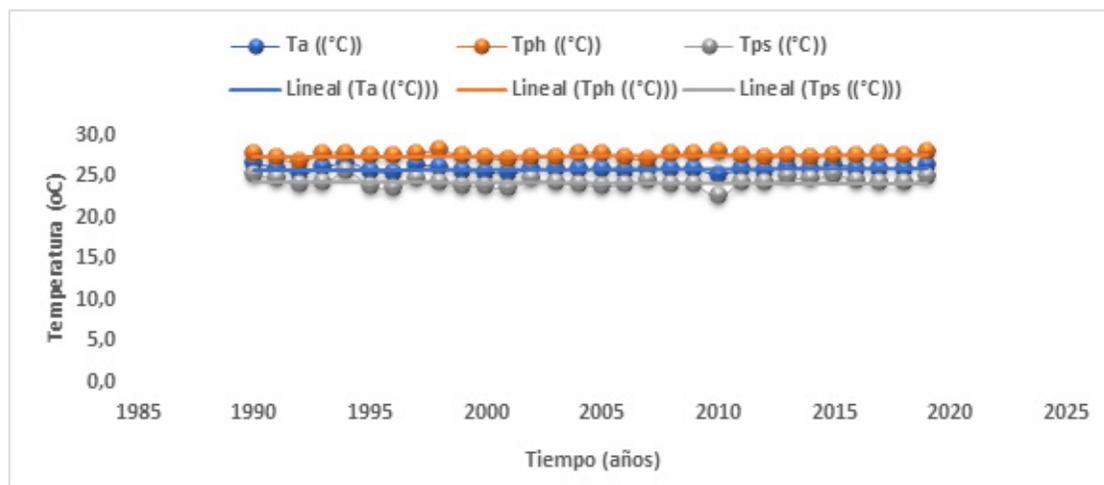


Figura.5: Variabilidad interanual de la Temperatura media en los periodos seco y húmedo.

Seguidamente se presenta el análisis de los indicadores curva sumaria y patrón de desplazamiento los cuales están sustentados en las categorías de evaluación propuestas en esta investigación a partir de la comparación del valor instantáneo de la variable analizada respecto al error relativo promedio superior al 10% con signo positivo o negativo (Tabla 2). El error relativo promedio se determina mediante la ecuación siguiente:

$$E_r = \frac{X_i - X_{norma}}{X_i} 100 \quad (14)$$

Donde:

E_r : Error relativo para la variable en estudio (%).

X_i : Valor de la variable para el año i .

X_{norma} : Es el valor promedio hiperanual de la variable analizada (norma).

Tabla 2. Categoría para la evaluación del cambio climático.

Rango de comparación	Categoría de evaluación
$X_i \geq E_r$ positivo de 10%	Cambio climático por exceso.
$X_i \leq E_r$ negativo de 10%	Cambio climático por déficit.

En las Figuras 6 se expone el análisis estacional de la curva sumaria de la precipitación acumulada normal, precipitación acumulada de los últimos cinco años, precipitación acumulada de los últimos diez años, precipitación acumulada

de los últimos 15 años y precipitación acumulada de los últimos 20 años. Se observa que los cambios climáticos solo se producen en la precipitación acumulada de los últimos cinco y diez años en cinco meses (42%) y cuatro meses (33%) respectivamente. En la precipitación acumulada de los últimos cinco años se destacan los meses de enero y mayo con errores relativos positivos de 42% y 21% respectivamente (cambio climático por exceso de precipitaciones). En el resto de las curvas sumarias de precipitación acumulada no se comprobó ocurrencia de cambio climático.

En la Figuras 7 se muestra el análisis estacional del indicador patrón de desplazamiento de la precipitación normal, precipitación de los últimos cinco años, precipitación de los últimos diez años, precipitación de los últimos 15 años y precipitación de los últimos 20 años. Se observa que los mayores cambios climáticos se producen en la precipitación de los últimos cinco años con ocho meses del año implicados (67%), destacándose el mes de febrero con un error relativo negativo de 84% (cambio climático por déficit de precipitaciones), seguido por diciembre y enero con errores relativos positivos de 43% y 42% respectivamente (cambio climático por exceso de precipitaciones); así como junio y julio con errores relativos negativos de 31% y 23% respectivamente (cambio climático por déficit de precipitaciones).

En el análisis del indicador patrón de desplazamiento la precipitación de los últimos diez y quince años se constata que ocurre cambio climático en dos meses del año (16%), precipitación acumulada de los últimos 15 años y en el patrón de desplazamiento la precipitación de los últimos 20 años en solo un mes del año (8%). Los resultados de este indicador revelan que los cambios climáticos se han intensificado en los últimos 5 años; lo que concuerda con Useros (2013) quien señala, que este fenómeno está asociado al incremento de los gases de efecto invernadero, resultantes de las actividades humanas en particular el uso de combustibles fósiles que afectan a la humanidad por sus efectos medioambientales y amenaza los sistemas hidrológicos, los sistemas de agua dulce y a la productividad agrícola y forestal.

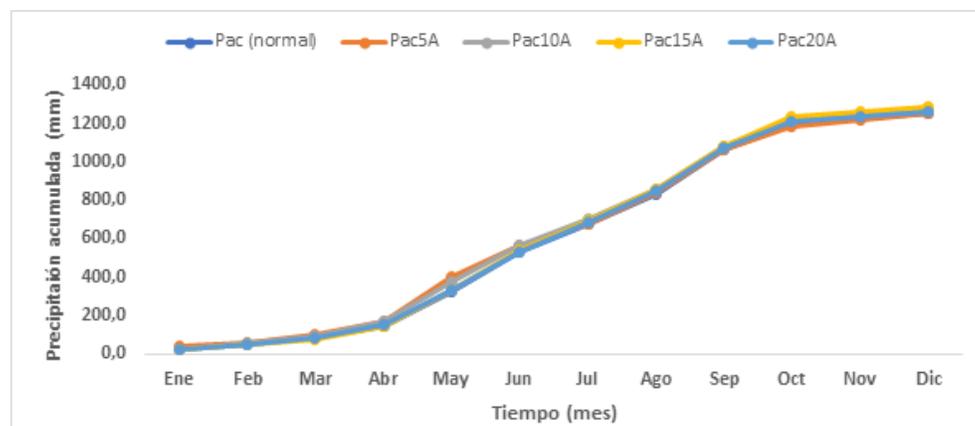


Figura.6: Curva sumaria de la precipitación acumulada en los últimos 5, 10, 15 y 20 años.

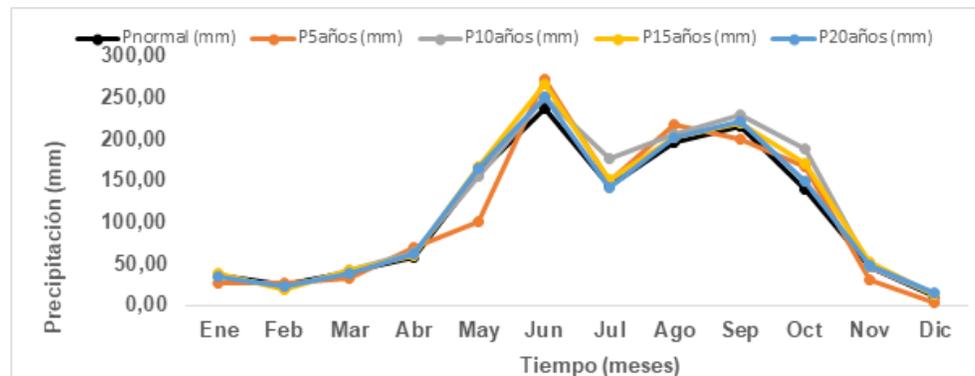


Figura.7: Patrón de desplazamiento de la precipitación en los últimos 5, 10, 15 y 20 años.

En la Figuras 8 se presenta el análisis estacional del indicador patrón de desplazamiento del número de días con lluvias normal, número de días con lluvias de los últimos cinco años, número de días con lluvias de los últimos diez años, número de días con lluvias de los últimos 15 años y número de días con lluvias de los últimos 20 años. Los cambios más notables se encontraron en el número de días con lluvias de los últimos cinco años y el número de días con lluvias de los últimos diez años.

Los cambios en el número de días con lluvias de los últimos cinco años aparecen en cuatro meses (33%) donde los mayores valores se manifestaron en enero y mayo con errores relativos positivos de 29% y 20% respectivamente. En cuanto a los cambios en el número de días con lluvias de los últimos diez años, se determinó estos ocurren en cinco meses (42%), destacándose febrero con un error relativo positivos de 20% y diciembre con un error relativo negativo de 20%. En relación con el número de días con lluvias de los últimos 15 y 20 años, el cambio climático solo aparece durante dos meses en ambos casos.

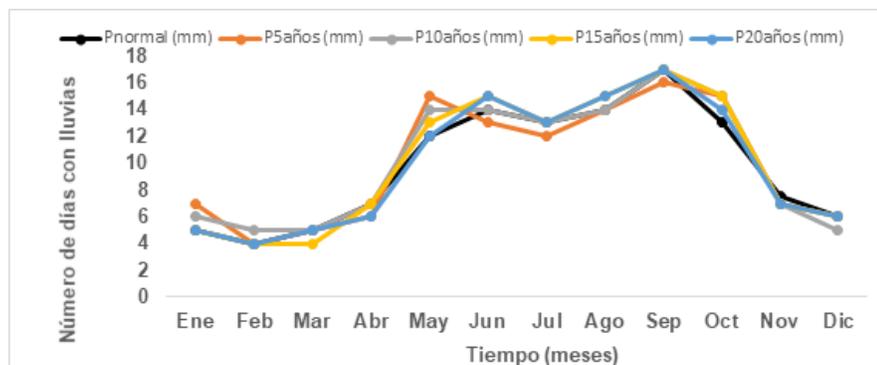


Figura.8: Patrón de desplazamiento del número de días con lluvias en los últimos 5, 10, 15 y 20 años.

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se muestran el comportamiento de las anomalías de las precipitaciones anuales, el número de días con lluvias, la temperatura y la humedad relativa. En el análisis de las anomalías de las precipitaciones anuales se encontró que 12 años (40%) tuvieron anomalías positivas; destacándose los años 1997, 2007 y 2012 con valores de 408 mm, 345 mm y 304 mm respectivamente, el resto de los años presentaron anomalías negativas (60%) donde el año 2004 obtiene el valor más sobresaliente con 800 mm.

Las anomalías del número de días con lluvias fueron positivas en 16 años (53%), descollando los años 2007 y 2009 con valores de 23 días y 9 días respectivamente. Las anomalías negativas se encontraron en 14 años (47%) donde el año 2004 alcanzó el valor más elevado con 35 días.

Las anomalías de temperatura y humedad relativa tuvieron un 50% de ocurrencias en el sentido positivo y negativo. En el caso de la temperatura las anomalías más relevantes se encontraron en los años 1990 con 0,64 oC y 1994 con 0,76 oC. Las anomalías negativas de temperatura estuvieron en los años 2001 y 2010 con 0,57 oC y 0,68 oC. Las anomalías positivas de humedad relativa más altas se encontraron en los años 2001 y 1991 con 2,3% y 2,1% respectivamente; mientras que las anomalías negativas más baja apareció en el año 2004 con 3,7%.

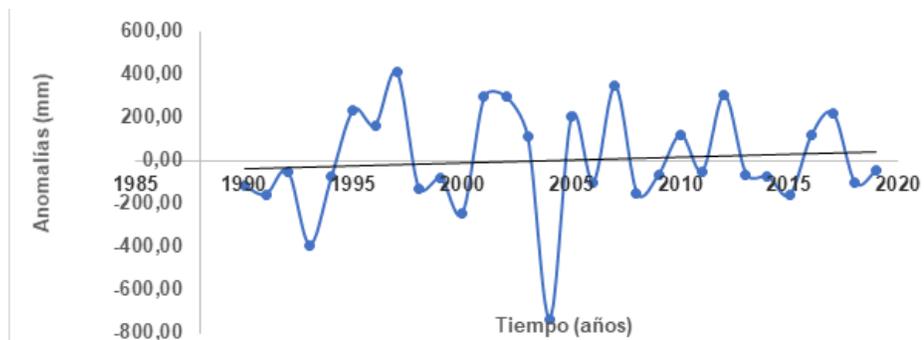


Figura.9: Anomalía de precipitaciones anuales.

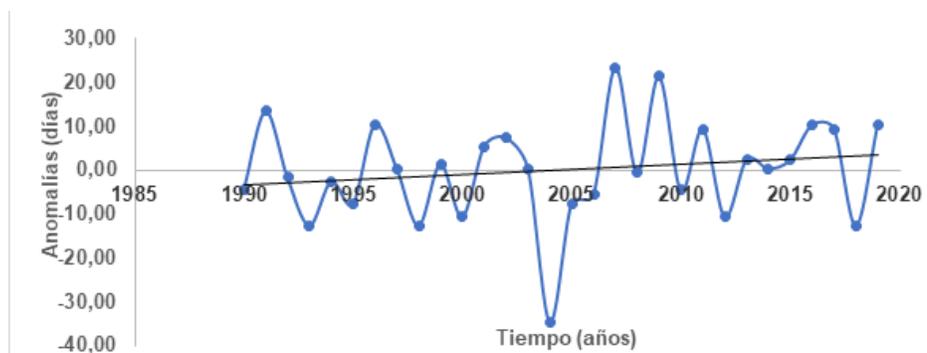


Figura.10: Anomalía de número de días con lluvias.

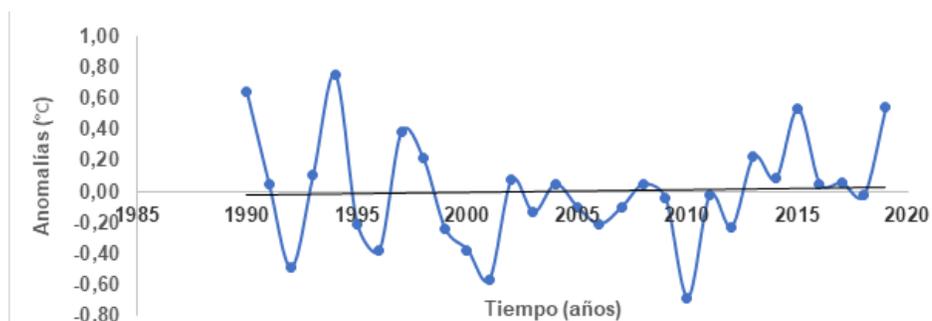


Figura.11: Anomalía de temperatura.

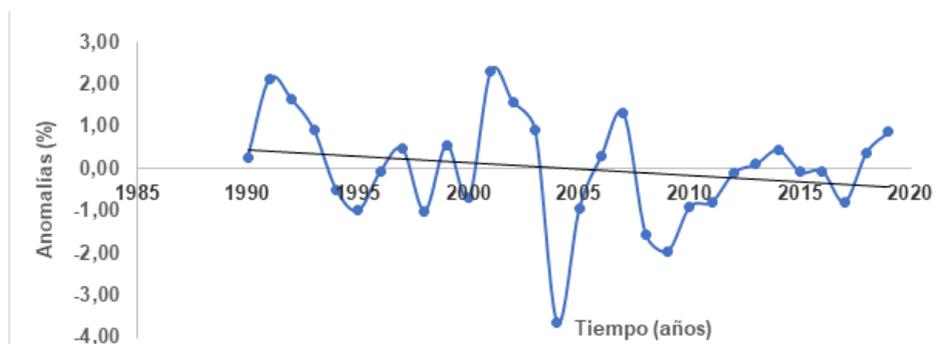


Figura.12: Anomalía de humedad relativa.

La tendencia lineal de las anomalías de precipitaciones anuales, número de días con lluvias y temperatura fueron positivas con pendiente de 2,51; 0,23 y 0,002; no siendo así en las anomalías de humedad relativa, las cuales fueron negativas con pendiente de 0,03. Las ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el valor de la tendencia lineal fueron las siguientes:

$$AP_{anual} = 2,51T - 5434,10 \quad (15)$$

$$AD_{LL} = 0,23T - 467,35 \quad (16)$$

$$AT_a = 0,002T - 3,39 \quad (17)$$

$$AH_r = -0,03T + 60,40 \quad (18)$$

Donde:

AP_{anual} : Anomalía climática de las precipitaciones anuales (mm).

AD_{LL} : Anomalía climática del número de días con lluvias (días).

AT_a : Anomalía climática de la temperatura media anual ($^{\circ}C$).

AH_r : Anomalía climática de la humedad relativa (%).

T : Tiempo (años).

CONCLUSIONES

El municipio de Venezuela se caracteriza por tener un régimen hídrico con precipitación anual de 1253 mm, siendo los meses de septiembre y junio los más pluviosos con 227 mm y 212 mm respectivamente. Su régimen térmico presenta una temperatura máxima media del mes más cálido (julio) de 28,2 $^{\circ}C$ y una mínima media del mes más frío (enero) de 23,0 $^{\circ}C$.

Las precipitaciones de los meses del periodo húmedo representan el 84% del total anual.

El índice de *Gausson* utilizado para la determinación del Índice de Aridez demostró que los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, marzo y abril tienen categoría de seco. Estos se clasificaron como mes seco severo (diciembre, febrero y enero), mes seco fuerte (marzo y noviembre) y mes seco incipiente (abril).

Se encontró una tendencia lineal positiva en las precipitaciones anuales, las precipitaciones del periodo húmedo, las precipitaciones del periodo seco, el número de días con lluvias anuales, el número de días con lluvias en el periodo húmedo. El número de días con lluvias en el periodo seco mostró una tendencia lineal nula y la temperatura media del periodo seco manifestó una tendencia lineal negativa.

La curva sumaria detectó los mayores cambios climáticos en la precipitación acumulada de los últimos cinco y diez años.

El patrón de desplazamiento identificó los cambios climáticos más notables en la precipitación y el número de días con lluvias en los últimos cinco años.

Las anomalías climáticas permitieron encontrar cambios climáticos en las variables estudiadas. Estos cambios presentan tendencias positivas en las precipitaciones anuales, el número de días con lluvias y la temperatura media anual; sin embargo, presenta tendencia negativa en el caso de la humedad relativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón H, J., Zafra M, C., & Echeverri P, L. (2019). Cambio climático y recursos hídricos en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Alcántara, A., Montalvo, N., Mejía, A., & Ingol, E. (2014). Validación de modelos hidrológicos lluvia-escorrentía para su aplicación a la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 17(33).
- Alexandre, M. J. O., García, F. F., & Nunes, E. (2013). Las oscilaciones climáticas en la atmosfera urbana de la ciudad de Natal, Brasil a través de las series largas de temperaturas del aire. *HOLOS*, 5, 137-156.
- Alfaro, E. M., & Santos, A. (2012). Cómo sacar información. Las pegadas en la interpretación del comportamiento a través de los icnofósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2), 141-141.
- Aranguren, M., Pérez, J., & Pérez, Y. (2015). Determinación de los índices bioclimáticos y tipo de clima para la vid en las condiciones de Jagüey Grande, Matanzas, Cuba. *Centro Agrícola*, 42(4), 75-83.
- Arias, R., Sánchez, L., & Rodríguez, M. (2020). Pobreza y desigualdad en Costa Rica: una mirada más allá de la distribución de los ingresos. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 8(1), 1-6. La Habana ene.-abr. 2020 Epub 14-Abr-2020. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322020000100016&Ing=es&tln_g=es.
- Arteaga, L. & Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 35(2): 79-91. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n2/2256-2273-rcia-35-02-00079.pdf>. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.93>.
- Birch, E. L. (2014). A Review of "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability" and "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change." *Journal of the American Planning Association*, 80(2), 184-185. doi:10.1080/01944363.2014.95446
- Brown M, O., Gallardo B, Y., Correa S, A., & Barrios G, S. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 36(1), 88-101.

- Burba, J. L., & Cavagnaro, M. (2021). Aplicaciones prácticas del uso de climogramas para el cultivo de ajo en Mendoza. Mendoza, Argentina: Editorial Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 10 p.
- Carranza D, A. X. (2019). La gestión de recursos hídricos en un escenario de escasez hídrica como consecuencia del cambio climático.
- Celeiro, M. (2001). Clima histórico de Cuba: contribución al transecto PEP-I del PAGES. Investigaciones geográficas, (46), 15-29.
- Cid N J. R., Milanés B C., Pinto O. D., Núñez A J. R., (2019) La Informática y la Gestión Integrada de los Sistemas de Alertas Tempranas dentro del Manejo Integrado de Zonas Costeras. Capitulo 6 pag 144-192 <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/6036/La%20Inform%C3%A1tica%20y%20la%20Gesti%C3%B3n%20Integrada%20de%20los%20Sistemas%20de%20Alertas%20Tempranas%20dentro%20del%20Manejo%20Integrado%20de%20Zonas%20Costeras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuesta, H. Á. (2021). La transición justa en la Ley de Cambio Climático. Noticias CIELO, (9), 2. http://www.cielolaboral.com/wp-content/uploads/2021/09/alvarez_noticias_cielo_n9_2021.pdf
- Chávez M, M. O. (2018). Variaciones de la temperatura y precipitación como indicadores del cambio climático en el Distrito de Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos, Cajamarca, 2017. Cruz Pérez, N., Rodríguez Martín, J., Ioras, F., García, C., & Santamarta Cerezal, J. C. (2020). IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DE ESPAÑA. In Congreso Internacional sobre gestión y Tratamiento Integral del Agua (8°. 2020).
- González E, M., Jurado Y, E., González E, S., Aguirre C, Ó. A., Jiménez P, J., & Nívar Ch, J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. Ciencia uanl, 6(3).
- Hechavarría, L. T., & Castro, A. D. (2021). Claves para la disminución de la huella de carbono en el turismo: Caso Cuba. Explorador Digital, 5(1), 6-24. López Silva Maiquel et al, (2019) INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS PRECIPITACIONES, Publicación Cuatrimestral. Vol. 4, No 2, Mayo/Agosto, 2019, Ecuador (p. 21-34).
- Herrera, R. S., García, M., Cruz, A. M., y Romero, A. (2018). Estudio del régimen de precipitaciones pluviales en dos áreas del Instituto de Ciencia Animal. Avances en Investigación Agropecuaria, 22(1): 7-17.
- Hernández Rodríguez, M., Peña Betancourt, F., & Gonzáles Griggs, L. E. (2016). Análisis del proceso de beneficio del cieno carbonatado. Tecnología Química, 36(1), 53-66.
- IPCC «Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability», Cambridge University, United Kingdom, (2014)
- Labraga, J. C., Brandizi, L. D., & López, M. A. (2011). Avances en el pronóstico climático de las anomalías de lluvia en la Región Pampeana. Meteorológica, 36(2), 59-71.
- Lobos, G., y Muñoz, T. (2005). Índices de estacionalidad de los precios medios recibidos por los productores de manzanas chilenas. Pesq. agropec. bras., Brasília, 40(11), 1051-1057.
- Martínez, M., Llabona, M. S., & Chávez, M. E. (2021). Impactos del cambio climático en el destino turístico cubano Gíbara-Guardalavaca. Revista Internacional de Turismo, Empresa y Territorio. RITUREM, 5(1), 100-112.
- Martínez, D.D. (2013). Situación didáctica y posibilidades del climograma como recurso digital. Didáctica Geográfica, 14, 53-68. ISSN: 0210-492X.
- Mercado, G., Troyo, E., Aguirre, A., Murillo, B., Beltrán, L. F., & García, J. L. (2010). Calibración y aplicación del índice de aridez de Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zona áridas. Universidad y ciencia, 26(1), 51-64.
- Mora, B., & Reyes, V. (2013). Análisis de tendencias y variación anual e interanual de las precipitaciones (período: 1957-2006) en la cuenca del río Boconó, estado Trujillo, Venezuela. Revista de Investigación, 37(80), 45-68.
- Olivares, B., Caraballo, L., & Torrealba, J. (2013). Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía, 30(1).
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Cisneros, M., Verdecia, D., y Álvarez, Y. (2011). Relación entre factores climáticos, rendimiento y calidad de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT 169 en el Valle del Cauto, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45(3), 293-297.

- Reyes P, S. E., & Ccoa, D. M. C. (2021) Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/download/328/245/183>
- Rondero, C. (2010). Cálculo promedial. El caso de la media aritmética. *Relime*, 13 (4-II): 387-408.
- Semedo, A., Soares, P., Lima, D., Cardoso, R., Bernardino, M., Miranda, P. (2016). The impact of climate change on the global coastal low-level wind jets: EC-EARTH simulations. *Global and Planetary Change*, 137, 88-106. <http://idlcc.fc.ul.pt/pdf/Semedo%20et%20al%202016%20The%20impact%20of%20climate%20change%20on%20the%20global%20coastal%20low-level%20wind%20jets.pdf>.
- Sorensen, C.J., Borbor-Cordova, M.J., Calvello-Hynes, E., Diaz, A., Lemery, J., Stewart-Ibarra, A.M. (2017). Climate variability, vulnerability, and natural disasters: A case study of Zika virus in Manabi, Ecuador following the 2016 earthquake. *GeoHealth*, 1(8), 298-304, doi:10.1002/2017GH000104.
- Sosa S, P. M., & Jiménez C, A. (2021). Repercusiones tributarias que tendrá la Ley de cambio climático y transición energética para la recaudación del impuesto especial sobre determinados medios de transporte en Canarias.
- Torres, M. A. F., Ceballos, M. C., González, L. M. D., & Dutil, M. V. (2019). Efectos del cambio climático en la salud. *Revista Información Científica*, 98(2), 272-282.
- Useros, J. L. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de La Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71-98
- Verdezoto M, F. P., Muyulema A, J. C., Serrano C, A. K., & Verdezoto S, L. F. (2021). Evaluación de la variabilidad climática en el cantón Chillanes mediante los parámetros de la precipitación y la temperatura. *AlfaPublicaciones*, 3(4.1), 70-84.