

ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN UN ECOSISTEMA ALTO ANDINO, RIOBAMBA-ECUADOR

Analysis of climate change in a high andean ecosystem, Riobamba-Ecuador

Natalia Alexandra Pérez, Héctor Salomón Mullo, Jessica Alexandra Marcatoma*

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Estadística Informática/Química Riobamba (Ecuador)

*jmarcatoma@esPOCH.edu.ec

R esumen

El propósito de esta investigación es evidenciar la existencia del cambio climático en un ecosistema alto andino del Ecuador, a través del estudio de la tendencia lineal de la temperatura máxima, mínima, promedio y precipitación de la estación meteorológica (M1036) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). El análisis estadístico univariante de los promedios mensuales multianuales de los años 1976 a 2017 determinaron un clima seco en los meses de junio a septiembre y un clima húmedo en dos intervalos (febrero - mayo y octubre - diciembre). Por otra parte, mediante la prueba de Mann Kendall, se evidenció que la temperatura promedio presentó una tendencia decreciente (-0,004); mientras que la temperatura máxima, mínima y precipitación tuvieron una tendencia creciente (0,0002; 0,003; y 0,039 respectivamente), donde las dos últimas son significativas al 5%. Concluyendo así, que el cambio climático es plausible en el área centro andina del Ecuador, generando problemas ambientales a los que nos debemos enfrentar, y que los generadores de políticas públicas del país deben considerar como insumos para la planificación.

Palabras claves: Cambio Climático, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Temperatura Promedio, Precipitación

A bstract

The purpose of this research is to demonstrate the existence of climate change in a high Andean ecosystem of Ecuador, through the study of the linear trend of the maximum, minimum, average and precipitation temperature of the meteorological station (M1036) of the Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) located in the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). The univariate statistical analysis of the multiyear monthly averages of the years 1976 to 2017 determined a dry climate in the months of June to September and a humid climate in two intervals (February - May and October - December). On the other hand, by means of the Mann Kendall Test, it was evidenced that the average temperature showed a decreasing tendency (-0.004); while the maximum, minimum and precipitation temperature had an increasing tendency (0.0002, 0.003, and 0.039 respectively), where the last two are significant at 5%. It is concluded that climate change is plausible in the central andean area of Ecuador, generating environmental problems that we must face, and that public policy articulators in the country should consider as inputs for planning.

KEYWORDS: Climate Change, Maximum Temperature, Minimum Temperature, Average Temperature and Precipitation

Fecha de recepción: 14-06-2019

Fecha de aceptación: 18-10-2019

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se conoce como grandes variaciones en los promedios del clima. Según el IPCC Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático, (2013) es la variación estadísticamente significativa en las condiciones climáticas medias o en su variabilidad durante un período prolongado, típicamente décadas o más. Aunque estas variaciones se producen a escala mundial, sus efectos a menudo varían de una región a otra. Las condiciones climáticas en el Ecuador, por ejemplo, son influenciadas por dos variables o factores principales la temperatura y la precipitación, que dan lugar a marcados cambios temporales y espaciales en las diferentes regiones del país. A diferencia de los países con latitudes altas, en el Ecuador se observan dos épocas bien diferenciadas por la distribución temporal de las precipitaciones, una época lluviosa y otra seca, excepto en la Amazonía, ya que las lluvias son consideradas durante todo el año, al igual que en el resto del planeta, las observaciones de temperatura muestran un leve cambio que se ha ido registrando de manera paulatina a través del tiempo.(1)

En la última década, se han realizado diversos estudios para detectar posibles tendencias climáticas en todo el mundo y estos han reportado diferentes eventos que han provocado enormes consecuencias para la sociedad humana y para el medio ambiente natural, un ejemplo de ello es la temperatura extrema debido al cambio climático; como, la ola de calor de verano de 2003 sobre Europa y la ola de calor de Rusia.(2) Para, el caso ecuatoriano, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) entre los años 1969 y 2006 la temperatura media anual aumentó en 0,8 °C, la temperatura máxima en 1,4 °C y la temperatura mínima 1°C. También entre 1969 y 2006 la precipitación anual promedio se incrementó un 33% en la costa y 8% en la sierra. Ocasionando un aumento de riesgos parasitarios y enfermedades transmitidas por mosquitos.

Los análisis de cambios en los extremos dentro del registro de observación han identificado cambios generalizados en las colas de la distribución de la temperatura que son consistentes con el calentamiento a gran escala.(3) En ge-

neral, los cambios en los extremos asociados con la temperatura mínima han sido mayores que los de la temperatura máxima, aunque el calentamiento reciente (últimos 30 años) se ha caracterizado por mayores incrementos en las anomalías cálidas en relación con las anomalías del frío. De acuerdo con el INAMHI, 2001 en el Ecuador, las temperaturas medias fueron variando tanto espacial como temporalmente, existiendo predominio de las anomalías positivas. Desde el mes de enero hasta el mes de junio del 2001, se registraron 10 récords de temperaturas extremas, durante el mes de enero se registraron anomalías de Temperatura Media iguales, superiores o inferiores a $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ siendo en la Estación Meteorológica de Rumipamba $-1,1^{\circ}\text{C}$. Mientras que en el mes de abril se registraron temperaturas máximas en el cantón Latacunga de $24,0^{\circ}\text{C}$. También existió aumentos en los extremos de precipitación en muchas regiones, pero con menos homogeneidad espacial que los cambios de temperatura.(3) Muchas áreas terrestres, incluidas la mayoría de las regiones dentro de los Estados Unidos, se caracterizan por tendencias positivas en la frecuencia y/o intensidad de las precipitaciones.(1,4) Un creciente cuerpo de evidencia atribuye los cambios a gran escala en la frecuencia y/o la intensidad de las temperaturas y las precipitaciones extremas al forzamiento radiactivo de los gases de efecto invernadero.(5,6) En el Ecuador en décadas recientes, ha existido un incremento palpable de los daños causados por fenómenos hidrológicos, tales como inundaciones y sequías. Un ejemplo claro de esta situación se vivió al final del año 2009 con los cortes de energía eléctrica debido a un fuerte estiaje por las sequías registradas y de manera significativa inundaciones en otras partes del país, es probable que el calentamiento climático produzca una intensificación del ciclo hidrológico, resultando en un incremento de la magnitud y la frecuencia de los eventos hidrológicos extremos.(5,7) Por lo tanto, es de importancia para la planificación y la toma de decisiones la necesidad de cuantificar los cambios en temperatura y precipitación de las diferentes Unidades Administrativas del Ecuador, particularmente en la ciudad de Riobamba donde poco o nada se conoce sobre estas variables y los impactos sociales potenciales del

cambio climático en el futuro. En este sentido el propósito principal de la investigación es evidenciar la existencia del cambio climático en la ciudad de Riobamba, a través del estudio de la tendencia lineal de la temperatura máxima, mínima, promedio y precipitación de la estación meteorológica (M1036) del INAMHI ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).(7)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la estación meteorológica localizada en una zona de relieve muy irregular, tipo montañoso y escarpado de los Andes ecuatorianos, ubicada en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Situada a 211 km al sur de la ciudad de Quito, con una altitud de 2850 m.s.n.m., en una latitud 9817285 y longitud 757452, en coordenadas WGS 84 UTM zona 17 Sur (ver Figura. 1.). La temperatura promedio anual para el año 2016 fue de 13,6 °C, precipitación de 537,2 mm al año y la humedad relativa de 59%. Los datos seleccionados para la presente investigación fueron proporcionados por la estación meteorológica (M1036) instalada en la ESPOCH, la cual forma parte del INAMHI siendo una Institución con representación nacional e internacional, miembro de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organización intergubernamental especializada de las Naciones Unidas para la Meteorología (el tiempo y el clima), la Hidrología Operativa y las ciencias conexas; la cual fue instalada en el mes de abril del año 1975 y a partir del mes de enero del año 1976 se procede a publicar el primer boletín meteorológico en forma ininterrumpida hasta la actualidad.

Instrumentos de recolección de datos

Esta estación meteorológica cuenta con dos piranómetros SR11-10-Hukseflux, uno de ellos provisto de un anillo de sombra para el registro de radiación difusa, pluviómetro, anemómetro ultrasónico 8500 de marca Vaisalia, barómetro QML 201C de marca Vaisalia, termómetro HMP155 de marca Vaisalia, además de sensores de perfil de temperatura de suelo.(8) Los registros se realizaron de forma manual por técnicos expertos constituyéndose en una de las estacio-

nes meteorológicas con fuente de información histórica (42 años) en la Provincia de Chimborazo.

Análisis Estadístico

Los datos captados de los instrumentos de medición (1976 - 2017) se registran en fichas técnicas para luego ser tabulados manualmente y de estos se realizó el análisis estadístico (Detección de datos anómalos univariante, Análisis Exploratorio de Datos, Correlación de Spearman, Análisis de Tendencia, Prueba de Mann-Kendall y Estimador de la pendiente de Sen)⁹, para presentar los resultados y propiciar una idea clara de la situación actual del Cambio Climático y fenómenos meteorológicos ocurridos a través del tiempo en la Estación meteorológica estudiada.

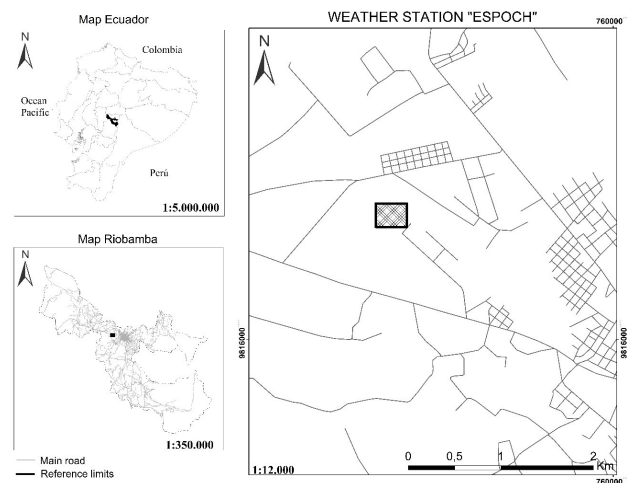


Figura 1. Estación Meteorológica de Recursos Naturales

III. RESULTADOS

El análisis exploratorio de la variable precipitación mostró que existe un promedio de 48,23 milímetros de lluvia por año con una desviación estándar de 34,51 mm/año, este comportamiento, aunque puede parecer desorientador, no contradice los posibles efectos del cambio climático, en los cuales se menciona que los comportamientos graduales de la precipitación pueden incrementarse como disminuir, pero, debe evidenciarse un aumento de eventos extremos.

La Temperatura Máxima evidenció un promedio de 20,75°C durante los últimos 42 años con una variación de 1,17°C mostrando que no existe mayor fluctuación con el paso de los años, el promedio de la Temperatura Mínima fue de 8,14°C y una desviación de 1,3°C, en tanto que, la media

de la Temperatura Promedio fue de $13,46^{\circ}\text{C}$ con una variación de $0,90^{\circ}\text{C}$. En el país, según Nieto et al.,(10) evidencian el incremento de la temperatura en las cuatro regiones.

La Figura. 3. numerales a, b, c y d muestran los resultados hallados a partir de 42 años de estudio, los cuales en general presentaron problemas de asimetría en las distribuciones estadísticas unitarias de Temperatura Promedio, Máxima, Mínima y Precipitación entre los años de 1976 y 2017, por tanto, la información no se ajustó a una ley de probabilidad normal. El valor de la proporción de outliers en el dominio de cada variable fue: 1,27% para la variable Temperatura Promedio (Figura. 3. (a)), 2,4% para la Temperatura Máxima (Figura. 3. (b)) 1,6% para la Temperatura Mínima (Figura. 3. (c)) y 2,1% para la Precipitación (Figura. 3. (d)).

La desviación estándar y el promedio mensual multianual de precipitación y temperatura representados en la Tabla 1 y Figura 2, demuestran el patrón húmedo y seco de la zona andina, el clima seco se presentó en los meses de junio a septiembre y el clima húmedo en dos intervalos de tiempo: febrero - mayo y octubre - diciembre, tendencia que se repite en los últimos 42 años. Los meses secos junio, julio, agosto y septiembre mantuvieron temperaturas promedio de: $12,76^{\circ}\text{C}$, $12,28^{\circ}\text{C}$, $12,50^{\circ}\text{C}$, $13,09^{\circ}\text{C}$ y precipitaciones de: 31,27 mm, 16,71 mm, 17,71 mm y 29,58 mm respectivamente como resultado de los 42 años de análisis.

Esto confirma, lo enunciado por Favier et al. (2004), quien muestra que, en la región andina de Ecuador las variaciones en temperatura y humedad no son suficientemente grandes como para caracterizar un régimen estacional pronunciado.

Meses	Desviación Estándar Mensual Multianual de Precipitación ()	Promedio Mensual Multianual de Precipitación ()	Promedio Mensual Multianual de Temperatura
Enero	21,898	39,521	14,064
Febrero	38,474	56,380	13,794
Marzo	33,126	67,852	13,867
Abril	32,785	77,793	13,725
Mayo	30,600	55,352	13,493
Junio	21,231	31,268	12,759
Julio	14,906	16,705	12,281
Agosto	12,349	17,711	12,503
Septiembre	22,727	29,575	13,093
Octubre	29,517	55,728	13,917
Noviembre	40,790	59,571	14,017
Diciembre	32,821	50,556	14,038

Tabla 1. Promedio mensual multianual de temperatura y Precipitación.

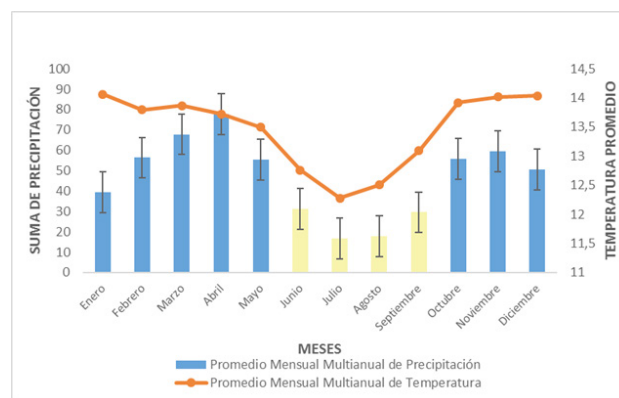


Figura 2. Promedio mensual multianual de temperatura y precipitación para determinar meses secos y húmedos.

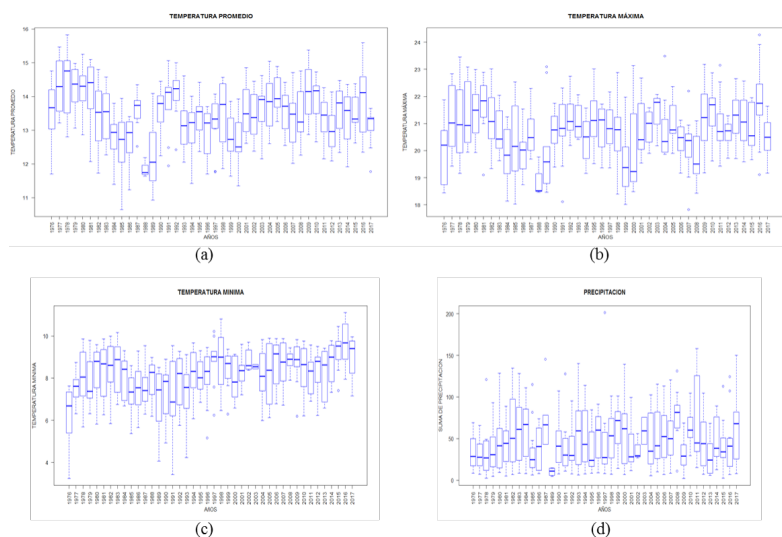


Figura 3. Diagrama de Cajas de las variables: (a) Temperatura Promedio, (b) Temperatura Máxima, (c) Temperatura Mínima y (d) Precipitación; de los años 1976 al 2017

La Tabla 2 muestra los resultados de la prueba de Mann-Kendall en el mismo la Temperatura Promedio presento una leve tendencia negativa (-0,0004) que no fue significativa (valor p = 0,132), la Temperatura Máxima por su parte mostro una tendencia leve positiva (0,0002) sin llegar a ser significativa (valor p = 0,649). En contraste, la Temperatura Mínima y Precipitación mostraron una tendencia significativa positiva (valor p = 5E-08 y 0.039 respectivamente).

Los resultados dados en la Tabla 4, revelaron que la Temperatura Promedio de los meses húmedos exhibe una tendencia decreciente significativa (valor p = 0,049), de igual manera, la Temperatura Mínima para los meses húmedos y secos tienen una tendencia positiva significativa (valor p = 2,96E-11 y 8,40E-06 respectivamente), también, la Temperatura Máxima presento una tendencia significativa creciente (valor p = 0.043). En cambio, la Temperatura Promedio de los meses secos, Temperatura Máxima en los meses húmedos y las precipitaciones durante todo el año, no presentaron un crecimiento o decrecimiento significativo.

La Figura 2, evidencia que los meses de mayor precipitación promedio en este orden son abril, marzo, noviembre y febrero con una temperatura promedio de 13,85°C, mientras que, los meses con menos precipitación en este orden fueron julio, agosto, septiembre y junio, con una temperatura promedio de 12,66°C. Observamos, además

que la variabilidad del nivel de precipitaciones de abril, marzo, noviembre y febrero es considerablemente superior a aquellos meses con menos precipitaciones.

Variable meteorológica	Estadístico de Prueba Mann-Kendall (S)	Estadístico Z	Valor crítico Z	Valor p (bilateral) Mann-Kendall	Estimador de la Pendiente Sen	Tendencia
Temperatura Promedio	-5164	-1,508	±1,96	0,1320	-0,0004	
Temperatura Máxima	1311	0,4560	±1,96	0,6490	0,0002	Creciente
Temperatura Mínima	19198	65,620	±1,96	5E-08	0,0030	Creciente
Precipitación	5217	20,670	±1,96	0,0390	0,0390	Creciente

Tabla 2. Resultados de la prueba de Mann-Kendall mensual para cada serie temporal

	Temperatura Promedio	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Precipitación
Temperatura Promedio	α			
	p			
	N	472		
Temperatura Mínima	α	0.229		
	p	0.000		
	N	425	425	
Temperatura Máxima	α	0.320	0.051	
	p	0.000	0.297	
	N	420	420	420
Precipitación	α	0.019	0.311	0.004
	p	0.704	0.000	0.943
	N	385	385	385

Tabla 3. Correlación Rho de Spearman (α) entre la Temperatura y Precipitación. *p: valor p

Series de Tiempo	Estadístico de Prueba Mann-Kendall (S)	Estadístico Z	Valor crítico Z	Valor p (bilateral) Mann-Kendall	Estimador de la Pendiente Sen	Hipótesis	Tendencia
Temperatura Promedio							
Meses Secos	-261	-0,406		0,685	-0,0005	No se Rechaza	
Meses Húmedos	-3730	-1,968		0,049	-0,0009	Rechaza	Decreciente
Temperatura Promedio Anual	-49	-0,52		0,603	-0,004	No se Rechaza	
Temperatura Máxima							
Meses Secos	1016	2,019		0,043	0,005	Rechaza	Creciente
Meses Húmedos	-1546	-0,941		0,347	-0,0008	No se Rechaza	
Temperatura Máxima Anual	49	0,52		0,603	0,004	No se Rechaza	
Temperatura Mínima							
Meses Secos	2240	4,455		8,40E-06	0,011	Rechaza	Creciente
Meses Húmedos	11201	6,649		2,96E-11	0,004	Rechaza	Creciente
Temperatura Mínima Anual	407	4.4		1,08E-05	0,033	Rechaza	Creciente
Precipitación							
Meses Secos	-132	-0,325		0,745	-0,011	No se Rechaza	
Meses Húmedos	2755	1,837		0,066	0,046	No se Rechaza	
Precipitación Anual	24	0,258		0,796	0,841	No se Rechaza	

Tabla 4. Análisis de tendencia de los meses secos, húmedos y anuales en la serie de tiempo

Para determinar la relación entre las variables meteorológicas se utilizaron observaciones correspondientes a promedios mensuales. Luego, de acuerdo con la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov(11) con la corrección de Lilliefors, ninguna variable analizada siguió una distribución normal. Por tanto, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman con una significancia del 5%. Analizando las correlaciones entre las variables climatológicas de la ciudad de Riobamba (ver Tabla. 3.) se encontró correlaciones positivas consideradas significativas entre Temperatura Promedio y Temperatura mínima, esto es bastante lógico debido a que mientras la temperatura mínima aumenta, también lo hace la temperatura promedio.

Esta misma lógica ocurre entre temperatura promedio y máxima. Algo interesante surgió al observar la correlación entre temperatura mínima y precipitación en donde tuvimos un coeficiente significativo de magnitud 0,311, que señala que conforme aumenta el nivel de precipitaciones la temperatura mínima también aumenta, es decir, cuando más intensos son los fenómenos de precipitación se registra un incremento de temperatura por el calor latente liberado al momento de la precipitación.

IV. DISCUSIÓN

El estudio propuesto confirma la amenaza del cambio climático global antes citado por Cline(12) en el año 2007, ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos como precipitación y temperatura, etc serán severamente afectadas e impactarán la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían ampliamente de una región a otra, al menos en la región Sierra del Ecuador se espera cambios anticipados y con grandes efectos principalmente en zonas semiáridas. En zonas semiaridas se espera una mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo, condiciones que en su conjunto pueden limitar significativamente el crecimiento de los cultivos y sus rendimientos.(13)

Según el estudio realizado por Cornwall(14) durante el 2008 la temperatura promedio del planeta aumentó de 1.1 a 6.4° C lo que representa un

aumento con mayor rapidez que durante cualquier siglo en los últimos 1000 años sin embargo en el presente estudio se analizó a los últimos 42 años (1976 a 2017) evidenciando un incremento de 12 a 14° en la Sierra Central del Ecuador.

El presente estudio encontró evidencia que los meses de mayor precipitación son febrero, marzo, abril y noviembre, con un valor máximo de precipitación en el mes de abril, esto coincide con los estudios de Cauvy-Fraunié(15) y Vuille(16) donde se muestra que estas características son propias de la región Andina, definidas por la influencia de la cordillera de los andes, estableciendo dos temporadas de lluvia por cada año (febrero-mayo y octubre-diciembre). Por otra parte, la temperatura promedio tiene presencia de tendencia decreciente muy leve (-0,0004), la temperatura máxima presentó una tendencia creciente muy ligera (pendiente = 0,0002); en contraposición, la temperatura mínima y precipitación mostraron una tendencia creciente significativa (0,003 y 0,039 respectivamente) al 5%, esta información indica que en la ciudad de Riobamba es plausible la presencia de tendencias lineales positivas en las variables climáticas, específicamente la Temperatura Mínima, Máxima y Precipitación, por tanto, el cambio climático es evidente, en virtud de ello, estudios como el de Hasan(17) advierte que los cambios en los patrones de precipitaciones tienen un impacto significativo en la agricultura, repercutiendo en los tiempos de siembra y cosecha de los cultivos.

Desde otra perspectiva, la variación de la temperatura según Serrano,(18,19) tiene que ver con el tipo de cobertura vegetal, la escasez de vegetación que impide un reciclaje de humedad y determina una menor inercia térmica, debido a lo cual, se traduce en mayores variaciones de temperatura, sumándole a este efecto la acción de los vientos que traslada las masas húmedas. Dentro del estudio de correlación entre las variables meteorológicas, se presentó una correlación significativa (0,311) entre temperatura mínima y precipitación, el cual evidencia que, cuando más intensos son los fenómenos de precipitación, se registra un incremento de temperatura por el calor latente liberado al momento de la precipitación.

Finalmente, el clima seco en Riobamba se presenta en los meses de junio a septiembre y el clima húmedo en dos intervalos de tiempo febrero - mayo y octubre - diciembre.

V. CONCLUSIONES

El cambio climático global y especialmente en la ciudad de Riobamba deja muy claro los problemas ambientales a los que nos debemos enfrentar, la solución de esta problemática requiere sin duda de la unión de todas las naciones para no generar problemas graves en las futuras economías, no obstante, los generadores de políticas públicas de la ciudad de Riobamba, Chimborazo y la Zona 3 del Ecuador deberían considerar estos datos alarmantes como insumos para la planificación.(20,21)

Por otro lado el crecimiento poblacional y el progreso acelerado de las naciones tanto desarrolladas como las que están en vías de desarro-

llo, ejercen una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales y los sistemas ambientales terrestres.(22,23) En la actualidad las capacidades autorreguladoras de la atmósfera están siendo llevadas a sus límites y según el criterio de muchos científicos, sobrepasadas.(24) Los estudios de cambios climatológicos a nivel mundial se han centrado tradicionalmente en regiones grandes, sin desagregar por subregiones, de hecho, no se registran investigaciones sobre análisis de tendencia climatológica en la zona centro andina del Ecuador(25), debido a ello el presente estudio aporta información exploratoria del comportamiento climatológico en los últimos 42 años (1976-2017) en la ciudad de Riobamba, a través del estudio de la tendencia lineal de la temperatura máxima, mínima, promedio y precipitación de la estación meteorológica (M1036) del INAMHI ubicada en la ESPOCH donde se evidencia de forma clara las consecuencias de salud que la población podría sufrir frente a los cambios acelerados por la climatología.

Referencias

1. Ministerio del Ambiente (MAE). Sistematización de iniciativas de cambio climático en el Ecuador [Internet]. 02 enero de 2001 [citado 08 de enero 2019]; Disponible en: http://origin.portales.org/sites/default/files/references/114_MAE.Segunda-Comunicacion-Nacional-sobre-Cambio-Climatico.pdf
2. Mahmood, R., Babel, M. S. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. *Weather and Climate Extremes*. 2014; 5: 56-66.
3. Schoof, J. T., & Scott M, R. Projecting changes in regional temperature and precipitation extremes in the United States. *Weather and climate extremes*. 2016;11: 28-40.
4. Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Tank, A. K., Tagipour, A. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2006: 1-22.
5. Caicedo Sandoval, C. E. Estudio sobre los efectos locales del cambio climático y fenómenos meteorológicos en la provincia de Cotopaxi. [tesis pregrado]. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi; 2017.
6. Vuille, M., Bradley, R. S., Keimig, F. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*. 2000: 2520-2535.
7. Vázquez, R. Estudio de los efectos del cambio climático sobre la hidrología local. [Internet]. 8 de enero de 2012 [citado 14 enero 2019]. Disponible en: <http://www.elmercurio.com.ec/316508-estudio-de-losefectos-del-cambio-climatico-sobre-la-hidrologia-local/>
8. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Cambio Climático: Cambio y variabilidad climática en el Ecuador condiciones observadas en el primer semestre del año 2001 en el Ecuador [Internet]. 2001 [citado 14 enero 2019]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
9. Kisi, O., & Ay, M. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water

- quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*. 2014; 513: 362-375.
10. Nieto, J., Martínez, R., Regalado, j., & Hernández, F. Análisis de tendencia de series de tiempo oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de cambio climático en la costa del Ecuador. *Acta oceanográfica del Pacífico*. 2002: 17-21.
 11. Torres, P. Probabilidad y estadística. notas de clase presentadas en la especialización Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Universidad de Los Andes, 2006.
 12. Cline, W. R. Global warming and agriculture: impact estimates by country. Center for Global development, Washington DC, 2007.
 13. Doering III, O. C., Randolph, J. C., Pfeifer, R. A., & Southworth, J. Effects of climate change and variability on agricultural production systems. Springer Science & Business Media, 2002.
 14. Cornwall, C. La verdad sobre el calentamiento global. *Selecciones Reader's Digest*. 2008. pp: 37-43.
 15. Cauvy-Fraunié, S., Condom, T., Rabatel, A., Villacis, M., Jacobsen, D., Dangles, O. Glacial influence in tropical mountain hydrosystems evidenced by the diurnal cycle in water levels. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013: 4803.
 16. Vuille, M., & Bradley, R. S. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters*, 27(23), 2000. 3885-3888.
 17. Hasan, D., Ratnayake, U., Shams, S. Evaluation of rainfall and temperature trends in Brunei Darussalam. *AIP Conference Proceedings*. 2016: 8.
 18. Serrano Vincenti, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., Villacís, M. Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*. 2014: 23-47.
 19. IPCC Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T F, Qin D, Plattner G - K, Tignor M, Allen S K, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P M (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 [Internet]. 2013 [citado 14 enero 2019]. Disponible en: <http://www.gcrio.org/online.html>
 20. Christidis, N., Peter, A. S., Simon, J. B. The role of human activity in the recent warming of extremely warm daytime temperatures. *Journal of Climate*. 2011: 1922-1930.
 21. Sayemuzzaman, M., Jha, M. K. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*. 2014; 137: 183-194.
 22. Saéz Paguay, M. A. Determinación de la evapotranspiración mediante imágenes aéreas en bandas del espectro visible e infrarrojo cercano para cultivos de papa *solanum spp.* [tesis pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2016.
 23. Peña, Q., et. a. Trend analysis to determine hazards related to climate change in the Andean agricultural areas of Cundinamarca and Boyacá. *Agronomía Colombiana*. 2011; 29(2): 467-478.
 24. Favier, V., Wagnon, P., Chazarin, J. P., Maisincho, L., Coudrain, A. One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2004.
 25. Ministerio de Desarrollo sostenible y Planificación. Programa Nacional de Cambio Climático. Viceministerio de Medio Ambiente Recursos naturales y Desarrollo Forestal. [citado 14 enero 2019]. Disponible en: http://www.un-gsp.org/sites/default/files/documents/bolivia_addendum_spanish.pdf