

Pronóstico de precipitación sobre la cuenca aportante al embalse “La Esperanza” aplicando modelo climático HadCM3

Precipitation forecast on the basin contributing to the “La Esperanza” reservoir using HadCM3 climate model

Francisco Velásquez I.*, Carlos Cabrera C.*, Francisco Alcántara B.*, Leonel Lucas V.*¹

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

RESUMEN

Los pronósticos de precipitaciones como variable hidrológica nos indican las posibles cantidades de lluvia en un periodo futuro. Contemplando la variación temporal y espacial, se tuvo como objetivo pronosticar las precipitaciones sobre la cuenca aportante al embalse “La Esperanza” aplicando el modelo climático global HadCM3.

Mediante información retrospectiva, se analizó información de precipitaciones históricas entre los años 1980-2017, de 50 estaciones pluviométricas cercanas al área en estudio, utilizando el software Excel 2016, para síntesis de datos numéricos en el análisis estadístico y la estimación de datos hidrológicos mediante los métodos: Promedios vecinales, razones normales y de regresiones; del cual se obtuvo información prospectiva mediante el uso del software ArcGIS 10.4.1, extrayendo 456 precipitaciones medias, mediante el método de las isoyetas, obteniéndose las precipitaciones promedias reales observadas, a las cuales se aplicó las constantes de anomalías del modelo climático global HadCM3. Los resultados indican que las precipitaciones en el área de estudio, tiende a aumentar en cada periodo de años analizados: 2010-2039 con el 16,75%, 2040-2069 con el 47% y 2070-2099 con el 80,16% de aumento con respecto precipitación promedio real observada: 1759,64 mm.

El presente estudio propone una herramienta de previsión a las entidades encargadas de la planificación del recurso hídrico para la toma de decisiones.

Palabras clave: Pronóstico; datos hidrológicos; precipitación promedio; isoyetas.

ABSTRACT

Rainfall forecasts as a hydrological variable indicate the possible amounts of rainfall in a future period. Contemplating the temporal and spatial variation, the objective was to forecast rainfall over the basin contributing to the “La Esperanza” reservoir by applying the HadCM3 global climate model.

Through retrospective information, historical rainfall information was analyzed between the years 1980-2017, from 50 rainfall stations near the area under study, using the Excel 2016 software, to synthesize numerical data in the statistical analysis and hydrological data estimation, through the methods: neighborhood averages, normal and regression ratios; from which prospective information was obtained through the use of ArcGIS 10.4.1 software, extracting 456 average precipitations, by means of the isohyets method, obtaining the real observed average precipitations, to which the constants of anomalies of the HadCM3 global climatic model were applied. The results indicate that rainfall in the study area tends to increase in each period of years analyzed: 2010-2039 with 16.75%, 2040-2069 with 47% and 2070-2099 with 80,16% increase with respect observed average real precipitation: 1759.64 mm.

The present study proposes a forecasting tool for the entities in charge of water resource planning for decision making.

Keywords: Forecast; hydrological data; average precipitation; isohyets.

¹ Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 10 de agosto N° 82 y Granda Centeno. Calceta-Manabí- Ecuador. E-mail: ing.franciscovelasquez@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El término cambio climático expresa todo cambio del clima a lo largo del tiempo, según el IPCC (2013), este cambio ha provocado que las masas de hielo y nieve se estén reduciendo mayoritariamente en los polos de nuestro planeta, dando paso al aumento del nivel de los océanos con respecto a las costas continentales, por la variabilidad natural o como consecuencia de la actividad humana. Desde la década de 1950, se evidencia el aumento de temperaturas en el globo terráqueo, debido al aumento de los gases de efecto invernadero, observándose un incremento en la temperatura superficial de los océanos como de la atmósfera terrestre.

Moradkhani, Baird, y Wherry (2010); Dibike y Coulibaly, (2005), consideran como modelos numéricos ajustados a los modelos climáticos globales, estos hacen representación a un sinnúmero de sistemas del medio incluyendo la superficie de la tierra y la atmósfera tomando como base los principios de la termodinámica de los fluidos, que son empleados en simulaciones climáticas para predecir eventos meteorológicos por afectaciones de los gases de efecto invernadero.

Gordon y Pope desarrollaron el modelo climático HadCM3 en Inglaterra en el año 2000, considerándose un modelo atmósfera-océano que consta de 19 niveles

en resolución atmosférica y 20 niveles para el océano, contando con 14 bandas espectrales en total, que incluye un esquema en el tratamiento de agua que circula sobre la corteza terrestre (Moreira, 2015).

El modelo climático global HadCM3 predice un incremento en la variable climatológica de precipitación; para esto se procedió a completar los datos faltantes de información pluviométrica, determinando las precipitaciones medias históricas en el área de estudio, para luego aplicar las constantes de anomalías del modelo climático global HadCM3.

La investigación se desarrolló en la zona central de la provincia de Manabí, específicamente en el cantón Bolívar, entre el cuadrante de coordenadas 9910332 N, 600756 E y 9881905 N, 625545 E de la zona 17 M del sistema universal transversal de Mercator (U.T.M.) de Datum W.G.S. 84. La cuenca aportante al embalse la Esperanza, tiene un área de 428,50 km² (Ver figura 1).

La vulnerabilidad y las condiciones de vida en general serían afectadas en el futuro, debido al potencial cambio climático (Sanabria, Marengo y Valverde, 2009), situación que cada vez es evidente en el ámbito mundial, alterando los patrones de la biota (Cuesta, Peralvo y Ganzenmüller, 2008), siendo un reto para los gestores del agua por las transformaciones climáticas que conjeturan

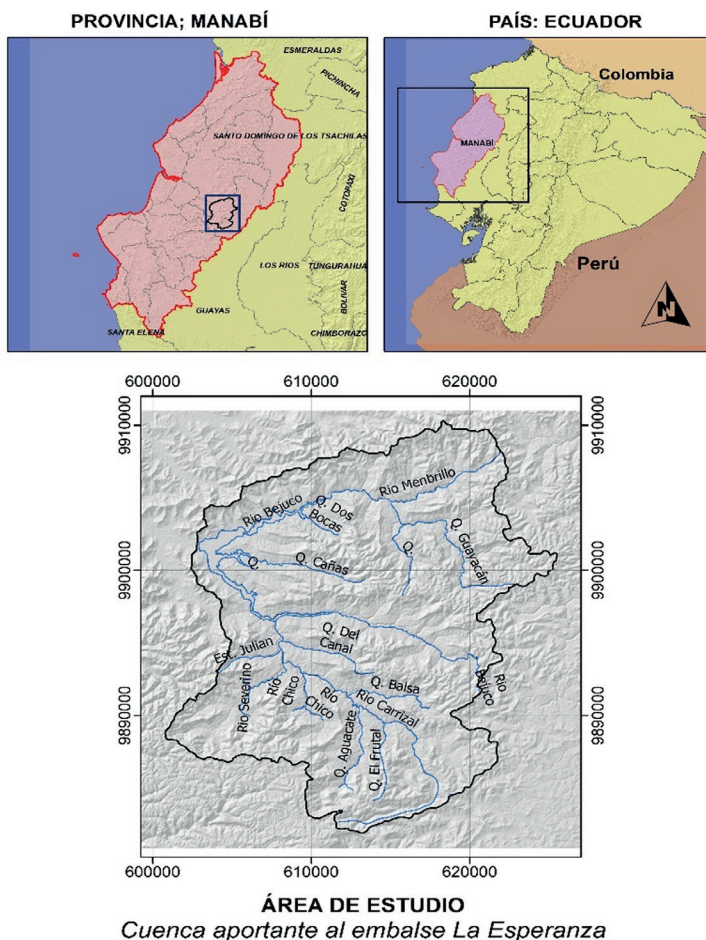


Figura N° 1. Ubicación de la cuenca aportante al embalse “La Esperanza”.

un cambio en el ciclo del agua, generando una perplejidad en la gestión hídrica (García, López, Vicente, Lasanta, y Beguería, 2011).

La investigación tuvo como objetivo elaborar el ajuste de las ecuaciones mensuales de proyección de precipitación, incorporando las anomalías meteorológicas en sus diferentes escenarios.

La acción de gestionar de manera sustentable los recursos hídricos de una zona mediante la distribución del agua almacenada en los embalses, contribuye al desarrollo de la población, por lo cual es fundamental identificar el balance hídrico de la cuenca, que depende de las precipitaciones del área (Zambrano y Cedeño, 2017).

De acuerdo a esto se plantea la siguiente hipótesis: Las anomalías climatológicas en sus diferentes escenarios tienden al aumento de las precipitaciones en todos los meses en el área de estudio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló acorde al presente proceso metodológico (Ver figura 2).

Durante la investigación, se utilizó el método inductivo-deductivo, analizando la información desde lo particular a lo general y viceversa, se tomó información retrospectiva histórica de las estaciones pluviométricas para obtener resultados prospectivos concentrada en la información predictiva de las precipitaciones, además de la búsqueda bibliográfica se utilizó los softwares Excel 2016 y ArcGIS 10.4.1.

La investigación se dividió en tres fases: En la primera se realizó la estimación de datos hidrológicos de la precipitación pluviométrica faltante de los años en estudio (1980 - 2017), dependiendo del entorno y distancia entre estaciones; para las estaciones que se encontraban en zonas planas se utilizó el método de *promedios vecinales*, para las estaciones en zonas montañosas el método de *razones normales*, estos dos métodos se emplearon cuando habían dos o más estaciones rodeando la estación en estudio a completar; en el caso cuando existía una sola estación cerca de la estación a complementar se utilizó el método de *regresión lineal*, ecuaciones que se pueden observar en la tabla 1.

En la segunda fase se determinó las precipitaciones medias en el lugar de análisis, en base a la data histórica debidamente completada, se procedió a realizar la exportación al software ArcGIS versión 10.4.1, donde la base numérica se transformó en varias capas georreferenciadas con la debida ubicación de cada estación meteorológica y las precipitaciones de cada mes, datos que se usaron para realizar las isoyetas del área de estudio (1980 - 2017), aplicando la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{\sum P_i \times A_i}{\sum A_i} [4]$$

Donde:

Pm = Precipitación media,

P_i = Precipitación observada,

A_i = área de isoyetas.

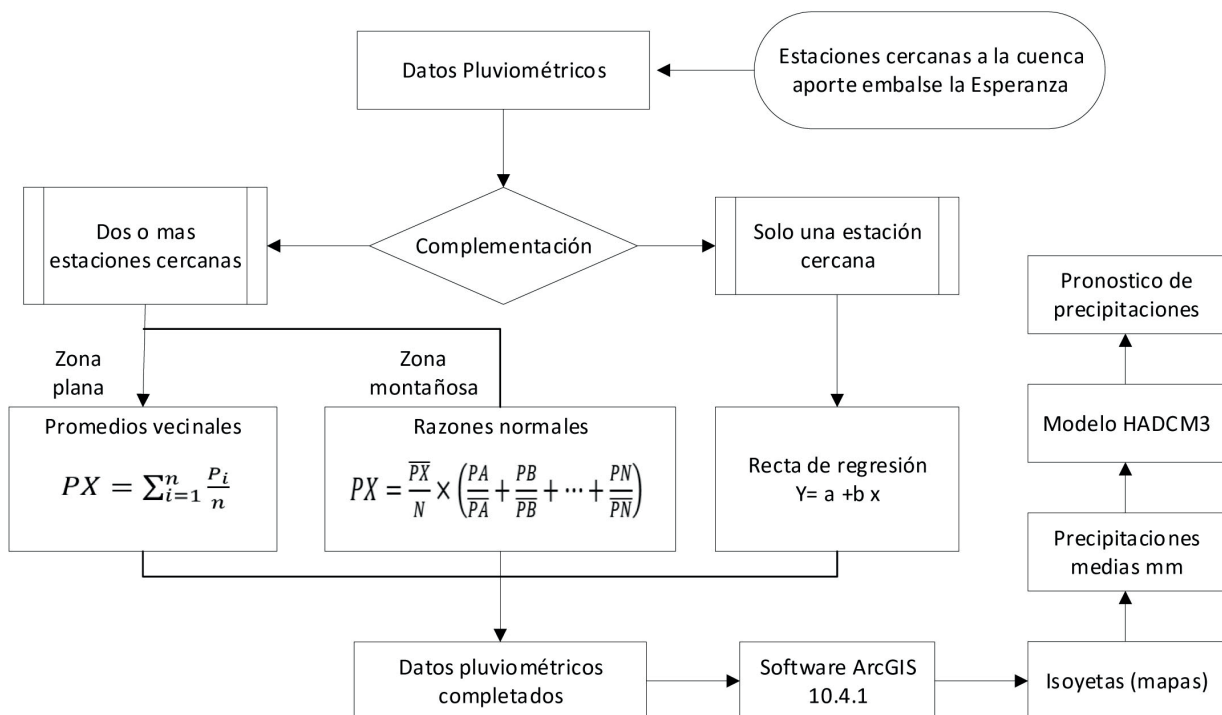


Figura N° 2. Estructura metodológica de la investigación

En última fase se aplicaron las constantes de anomalías del modelo climático global HadCM3 creado en el Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met office, que fue analizado estadísticamente en el software Microsoft Excel, de acuerdo a los escenarios SRES A1B, B1 y A2 de los periodos (2010-2039), (2040-2069), (2070-2099), a corto, mediano y largo plazo respectivamente (Rivadeneira, 2014), utilizando las precipitaciones medias encontradas y las variaciones climáticas según el cuarto informe del IPCC, donde se analizó e interpretó los pronósticos resultantes para el área en estudio. (Moreira, 2015).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se procedió a completar los datos faltantes de información pluviométrica, donde se procedió hacer un análisis de la información existente, en el cual se delimitó las estaciones y el periodo de estudio, en un radio de 50 km, encontrando 74 estaciones donde 50 contaban con información de los 38 años estudiados (1980-2017), la mayor cantidad de estaciones se encuentra al oeste, en menor proporción al sur y este de la cuenca en estudio; como se puede apreciar en la figura 3.

Tabla N° 1. Ecuaciones de estimación de datos pluviométricos utilizadas

| Método de estimación datos pluviométricos | Ecuaciones | Descripción |
|--|---|--|
| Promedios vecinales* (Luna y Lavado, 2015) | $PX = \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{n} [1]$ | Pi= es la precipitación de las estaciones. n= es el número de estaciones |
| Razones promedios** (Luna y Lavado, 2015) | $PX = \frac{PX}{N} \times \left(\frac{PA}{PA} + \frac{PB}{PB} + \dots + \frac{PN}{PN} \right) [2]$ | $\overline{PA}, \overline{PB}, \overline{PN}, \overline{PX}$ = son el promedio de las precipitaciones anuales registradas en un periodo común. PA, PB, PN, PX= es la precipitación de las estaciones. N= es el número de estaciones. |
| Regresión Lineal ***(Luna y Lavado, 2015) | $y = a + bx [3]$ | y= es la precipitación estimada. x= es la precipitación de la estación patrón. a, b= son las constantes de la regresión lineal. |

- * Para estaciones en zonas planas con dos o más estaciones alrededor
- ** Para estaciones en zonas montañosas con dos o más estaciones alrededor
- *** Para estaciones con solo una estación cercana

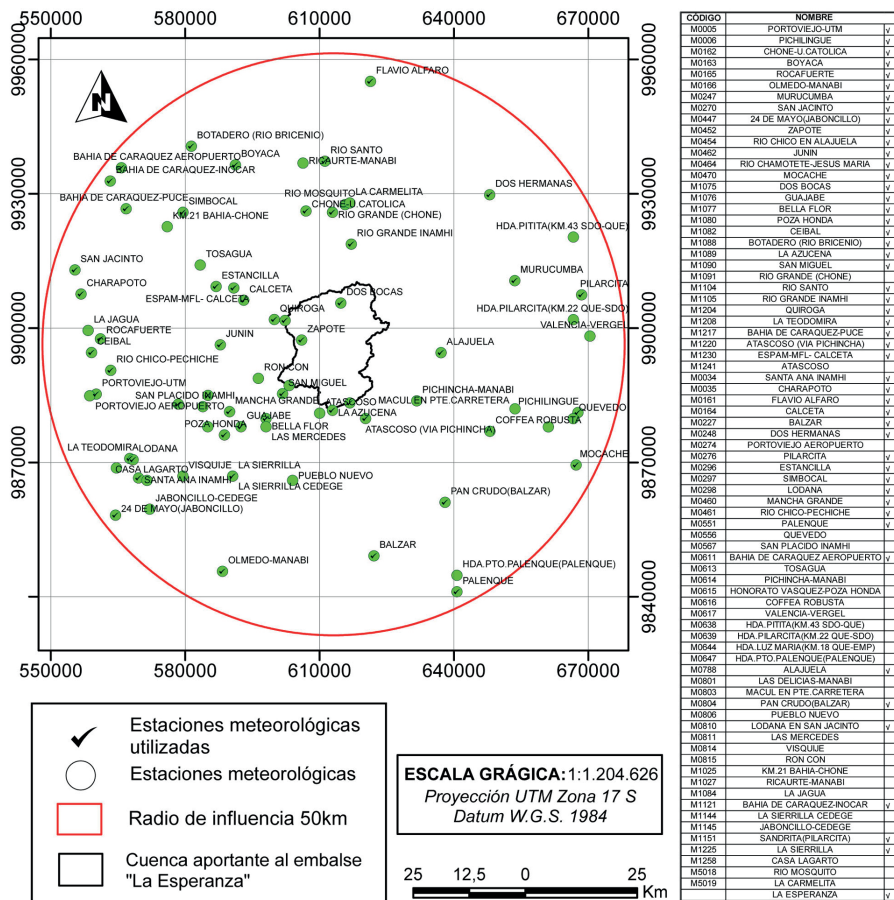


Figura N° 3. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas

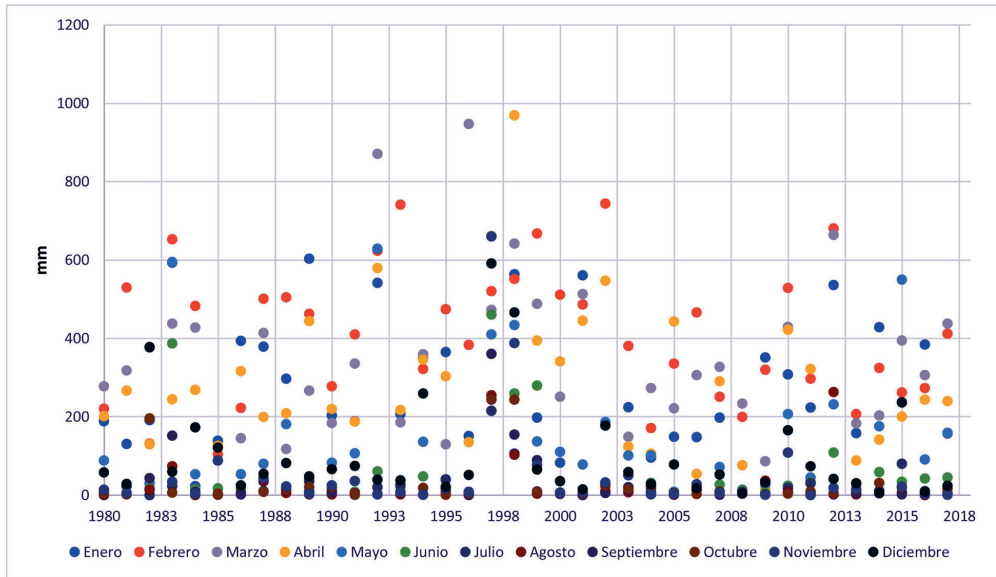


Figura N° 4. Precipitación media mensual de los años en estudio

Con la utilización de estos métodos para la estimación de datos pluviométricos se pudo llenar los vacíos existentes en la base de data histórica; tomando en consideración que la zona ecuatorial en la que se encuentra el país, el rango de error en complementación aumenta, ya que normalmente las precipitaciones en esta zona no son uniformes y varían considerablemente, especialmente en las zonas montañosas.

Según Luna y Lavado (2015), los métodos de regresión lineal, razones promedias y promedios vecinales, son propuestos por la UNESCO-ROSTLAC, de los cuales tienen efectividad dependiendo la estación meteorológica y su relación con las demás.

En la determinación de las precipitaciones medias en el área de estudio, mediante el programa ArcGIS (versión 10.4.1) se realizó la exportación de los datos históricos de precipitación por estaciones en estudio, desde información filtrada en Excel 2016, generando capas georreferenciales para posteriormente procesarlas con la interpolación de puntos, creando isoyetas por cada mes de los 38 años de estudio, obteniendo un total de 456 gráficas de precipitación, utilizando el método de isoyetas, sintetizado estadísticamente las precipitaciones mensuales de los años en estudio (Figura N° 4).

Estos resultados de precipitaciones medias históricas dan pauta para varias investigaciones a beneficio de las comunidades locales aguas abajo en la implementación de planes de contingencia para máximas y mínimas avenidas de caudales; es fundamental mencionar que se puede conseguir mayor exactitud en la elaboración de isoyetas Figura N° 5 y por ende en el cálculo de precipitaciones medias si existiera una mayor cantidad de estaciones internamente en la cuenca de estudio y en su periferia (Figura N° 5).

Como afirma Núñez, et al (2014), “la principal contribución del estudio radica en la generación de cobertura continua de precipitación media de alta resolución espacial y estadísticamente fiable”, dándole una gran utilización a la

representación gráfica de isoyetas producidas en diversas investigaciones de la región en estudio.

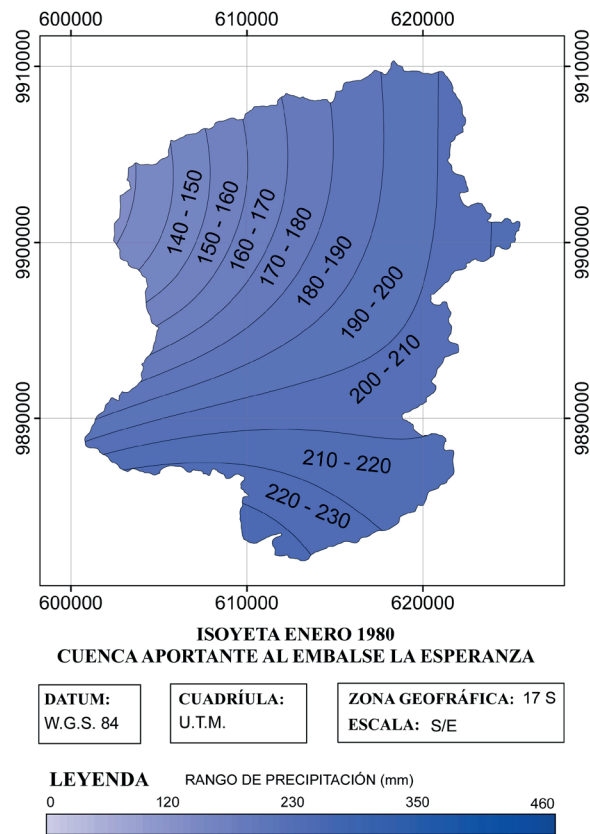


Figura N° 5. Rango de Isoyetas enero 1980

Aplicando las constantes de anomalía del modelo climático global HadCM3, basadas en la publicación del IPCC en su cuarto informe que incluye escenarios y periodos; se procedió a realizar la síntesis respectiva para la proyección de precipitación en los periodos (2010-2039),

Tabla N° 2. Promedio de resultados de la aplicación de los escenarios (A1B, B1 y A2) del modelo HadCM3

| Mes | Período promedio observado real (mm) | Promedio de proyección futura HadCM3 | | | Ecuación lineal para proyección media por año Y = precipitación media a encontrar X= el año en que se pretende buscar la precipitación media | (R ² =1) |
|------------|---|--------------------------------------|-------------------|-------------------|--|---------------------|
| | | 2010-2039 (mm) | 2040-2069 (mm) | 2070-2099 (mm) | | |
| Enero | 274,11 | 346,37 | 367,50 | 428,05 | $y = 1,9031x - 3538,7$ | 0,8625 |
| Febrero | 415,25 | 487,02 | 495,97 | 553,92 | $y = 1,6557x - 2898,6$ | 0,8145 |
| Marzo | 317,67 | 339,43 | 360,48 | 411,83 | $y = 1,2764x - 2253,6$ | 0,9638 |
| Abril | 286,01 | 299,41 | 331,56 | 344,02 | $y = 0,8496x - 1422,6$ | 0,9461 |
| Mayo | 141,95 | 142,23 | 199,42 | 230,74 | $y = 1,404x - 2693,3$ | 0,9766 |
| Junio | 59,65 | 80,57 | 148,80 | 204,84 | $y = 2,1342x - 4242,1$ | 0,9967 |
| Julio | 21,22 | 35,07 | 56,48 | 84,75 | $y = 0,8881x - 1767,3$ | 0,989 |
| Agosto | 25,10 | 68,57 | 148,80 | 233,73 | $y = 2,9569x - 5929,3$ | 0,992 |
| Septiembre | 27,42 | 59,54 | 126,85 | 170,65 | $y = 2,0616x - 4120,9$ | 0,9759 |
| Octubre | 27,76 | 26,55 | 71,15 | 94,64 | $y = 1,3647x - 2731,1$ | 0,9849 |
| Noviembre | 59,35 | 50,13 | 126,72 | 202,56 | $y = 2,2497x - 4492$ | 0,973 |
| Diciembre | 104,15 | 119,61 | 152,89 | 210,52 | $y = 1,5081x - 2938$ | 0,9851 |
| Anual | 1759,64 | 2054,49 | 2586,63 | 3170,25 | | |

(2040-2069), (2070-2099), a corto, mediano y largo plazo correspondientemente, a la serie histórica mensual de la variable hidrológica del período de control observado (1980-2017), datos que se sintetizaron (**Tabla N° 2**), obteniéndose ecuaciones lineales para estimar las posibles precipitaciones promedias de la zona en estudio, entre los años 2018 a 2100.

Con estos resultados se puede destacar que el al área de la cuenca aportante en los próximos años se esperan aumentos en las precipitaciones, para la futura toma decisiones y planeamientos de proyectos a largo plazo.

Las anomalías pronosticadas en la cuenca aportante al embalse “La Esperanza” establecen un aumento en las precipitaciones en cada escenario (A1B, B1, A2) del modelo HadCM3, en todos los meses. Estos datos concuerdan con la tendencia de la investigación realizada por Moreira, (2015), en la adyacente de la zona de estudio.

Las afectaciones por el cambio climático varían de acuerdo al territorio, debido a esto existen áreas más afectadas y otras beneficiadas. Según el estudio realizado por Rodell, et al. (2018), por cada °F que aumente en la temperatura global a futuro, las precipitaciones incrementarán en un 3,9% en zonas húmedas, y en zonas de poca precipitación un 2,6%.

En la Tabla N° 2 se observa el incremento de las precipitaciones en todos los meses del área en estudio de acuerdo a las proyecciones futuras, aplicando los coeficientes de anomalías HadCM3.

IV. CONCLUSIONES

Con la finalidad de elaborar el ajuste de las ecuaciones mensuales de proyección de la precipitación incorporando las anomalías meteorológicas en sus diferentes escenarios se realizó un análisis estadístico de la información histórica de 50 estaciones pluviométricas alrededor de cuenca

aportante al embalse “La Esperanza”, comprendidas entre años 1980 - 2017; para obtener una base de datos de precipitaciones medias mensuales de 38 años; en los cuales se aplicó el método isoyetas (456 gráficos); que revelaron lo siguiente: Precipitación menor 741,79 mm en el año 2013, precipitación mayor 5094,68 mm en el año 1997, y la precipitación promedio real observada fue de 1759,64 mm.

La aplicación de las constantes de anomalía del modelo climático global HadCM3, a la precipitación promedio real observada; obtuvo los posibles pronósticos de precipitaciones promedias en tres periodos: En el periodo 2010-2039 una precipitación promedio de 2054,49 mm que representa un aumento de 16,75%, en el periodo 2040-2069 una precipitación promedio de 2586,63 mm que representa un aumento de 47% y el periodo 2070 - 2099 una precipitación promedio de 3170,25 mm que representa un aumento de 80,16% de la precipitación promedio real observada. Todos estos resultados están en función del modelo de desarrollo económico actual que implica el uso de combustibles fósiles que generan un aumento de los gases de efecto invernadero y por ende el calentamiento global, provocando un desequilibrio meteorológico, situación que podría disminuir si optamos por un modelo económico donde se inserten tecnológicas limpias y amigables con el medio ambiente.

V. AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a los representantes de las Universidades ESPAM MFL “Escuela Superior Politécnica Agronómica de Manabí Manuel Félix López” y UNMSM “Universidad Nacional Mayor de San Marcos” por las facilidades ofrecidas en cada instante, al Dr. Carlos Carbonel H., y Dr. Sergio Morera J. por la contribución científica, así mismo a la Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas por la divulgación del presente artículo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuesta, F., Peralvo, M. y Ganzenmüller, A. (2008). *Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales*. Páramos y Cambio Climático, 23, 15-38. <https://cmsdata.iucn.org/downloads/especiesandestropicales.pdf>
- Dibike, Y. y Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of hydrology*, 307(1), 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.012>
- García, J., López, J., Vicente, S., Lasanta, T. y Beguería, S. (2011). *Mediterranean water resources in a global change scenario*. *Earth-Science Reviews*, 105, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006>
- IPCC-Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2013). Resumen para responsables de políticas. *En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf
- Luna, E. y Lavado, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la estimación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL- RTE*, 28(3), 42-52. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/400>
- Moradkhani, H., Baird, R y Wherry, S. (2010). Assessment of climate change impact on floodplain and hydrologic ecotones. *Journal of hydrology*, 395(3), 264-278. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.038>
- Moreira, G. (2015). *Predicciones de precipitación y temperatura del modelo climático global HadCM3 para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/231>
- Núñez, D., Treviño, E., Reyes, V., Muñoz, C., Aguirre Calderón, O., Jiménez, J. (2014). Uso de modelos de regresión para interpolar espacialmente la precipitación media mensual en la cuenca del río Conchos. Estado de México, MX. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(2) 201-213. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i2.960>
- Rivadeneira, J. (2014). *Evaluación del efecto del cambio climático bajo escenarios de emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí – Ecuador* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. <http://hdl.handle.net/10251/58552>
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W. y Lo, M.-H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651-659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1> PMID:29769728 PMCID:PMC6077847
- Sanabria, J., Marengo J. y Valverde, M. (2009). Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1, 134-149. <https://es.scribd.com/document/129664108/art11>
- Zambrano, V. y Cedeño, J. (2017). *Curvas guías de operación en el control eficiente del embalse Sixto Durán Ballén para gestionar sustentablemente el patrimonio hídrico* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. <https://es.scribd.com/document/380705127/CURVAS-GUIAS-DE-OPERACION-EN-EL-CONTROL-EFICIENTE-DEL-EMBALSE-SIXTO-DURAN-BALLEN-PARA-GESTIONAR-SUSTENTABLEMENTE-EL-PATRIMONIO-HIDRICO>

