



SOIL AND WATER
SUELO Y AGUA



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study

El Régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: estudio climatológico

Dr.C. Ramón Pérez-Leira, Dr.C. Eric Cabrera-Estupiñán, Ing. Marcos Israel Hinojosa-García,
Ing. Jordan René Manzaba-Carvajal

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Facultad de Ingeniería, Manta, Manabí, Ecuador

ABSTRACT. Based on the data of the 49 meteorological stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology existing in Manabí Province for a period of 23 years, this study is carried out with the objective of defining the behavior of rainfall and evapotranspiration of the reference crop for purposes of irrigation. It was found that only 20 stations had consistent series for statistical analysis of rainfall and only in two stations it was possible to analyze evaporation. After applying 10 empirical methods and two statistical methods, it was proved that the average historical behavior of precipitations for the 75% probability of overrun shows a rainy season (January to April) where 83% of the annual precipitation and a dry one are concentrated (May to December) with the remaining 17%. The highest values of evapotranspiration of the reference crop (obtained from applying nine methods) were in March and May, while February and September had the lowest values. The results obtained constitute the most accurate climatological basis available so far for irrigation planning and water consumption of crops in Manabí Province.

Keywords: precipitation, evapotranspiration, probability of overrun, weather stations.

RESUMEN. Basado en los datos de las 49 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología existentes en la Provincia Manabí para un período de 23 años se realiza este estudio con el objetivo de definir el comportamiento de las precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo de referencia con fines de riego. Se comprobó que sólo 20 estaciones contaban con series consistentes para los análisis estadísticos de las precipitaciones y solo en dos estaciones era posible el análisis de la evaporación. Luego de aplicar 10 métodos empíricos y dos métodos estadísticos se comprobó que el comportamiento histórico promedio de las precipitaciones para el 75% de probabilidad de sobrepaso evidencia una estación lluviosa (enero a abril) donde se concentra el 83% de la precipitación anual y una seca (mayo a diciembre) con el 17% restante. Los mayores valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia (obtenidos a partir de aplicar nueve métodos) fueron en marzo y mayo, mientras que febrero y septiembre tuvieron los menores valores. El balance hídrico realizado evidencia un déficit durante once meses en el año en los que resulta necesario el riego para sustentar las producciones agrícolas. Estos resultados constituyen la base climatológica más precisa hasta el momento para planificar el riego de los cultivos en la provincia Manabí.

Palabras clave: precipitación, evapotranspiración, probabilidad de sobrepaso, estaciones meteorológicas.

INTRODUCTION

According to the Surface Production Survey carried out by the National Institute of Statistics and Census (INEC, 2014). Ecuador registered 7 303 674 hectares as a total surface under agriculture use. INEC also published that provinces with major agriculture surface are Manabí (15,48%), Guayas (11,26%), Loja (7,64%), Los Ríos (7,25%) and Esmeraldas (7,11%). Manabí has a general surface of

INTRODUCCIÓN

Ecuador registró, en el período 2012-2013, una superficie total de 7 303 674 hectáreas de labor agrícola, según reveló el resultado de la Encuesta de Superficies de Producción realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014). El INEC, manifestó además que las provincias con mayor superficie de labor agrícola son Manabí (15,48%), Guayas (11,26%), Loja (7,64%), Los Ríos (7,25%) y Esmeraldas (7,11%). Manabí posee una superficie general de

1 894 000 ha. It is the province with the largest agricultural area with 1 894 00 million hectares, it is also a province specialized in agriculture in relation to the rest of the country. The large size of agriculture sector is an important issue for the economic development of Manabí. This sector is one of the most diverse in Ecuador, due to the province size, the climatic stability and the topography of its soils suitable for crops (Zambrano, 2013). In recent decades and in different areas of Ecuador, the climate has had an anomalous behavior that has resulted in the variability in the behavior of parameters such as humidity, fog, maximum and minimum temperatures and rainfall patterns. In the specific case of precipitation, persistent variations in its multi-year behavior are detected, with respect to the maximum and minimum values and the advance and / or delay of the rainy periods that are eventually preceded by drought periods. (Villacis & Marrero de León, 2017).

Based on simulation techniques grounded in climate, soil and crop data Meseth & Yu (2014), suggest that the calendars of some crops can be displaced from date in order to maximize yield and reduce water shortages for crops. It is evident that accurate rainfall information is highly important for numerous applications such as agronomy, hydrology, meteorology and climatology (Kidd & Levizzani, 2011; Scheel *et al.*, 2011; Hou *et al.*, 2014; Luna & Lavado, 2015).

Nowadays, the use of Integrated Multi-Satellite Recoveries for Global Rainfall Monitoring (IMERG) allows a great number of analysis and forecasts, for example: a better capacity to discretize the rainy and no-rainy days for all regions and seasons considered. This provides a good perspective for future studies based on rainy and non-rainy days as a limiting factor in agriculture and drought monitoring (Satgé *et al.*, 2017).

Although Rivadeneira (2014), carried out important studies in Manabí related to the Evaluation of Climate Change Effect, no evidence has been found about the behavior of the Evaporation oriented to Projects and Crop Irrigation Regime. That is why projects and irrigation schedules programming in the province are based on crops evapotranspiration values in analogous zones or projects and do not come from scientific studies, which limits the efficient use of water for irrigation purpose. The need to study the climatic variability, in particular the rain one, is crucial in agricultural sciences (Garduño, cited by Mercado *et al.* (2014).

This paper aims to define the distribution of rainfall and the evapotranspiration of the reference crop for irrigation purposes in Manabí.

METHODS

Climate data from 49 meteorological stations belonging to Manabí were compiled and analyzed in this paper (Figure 1). Data are published by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) from 1990 to 2012, so two annual series with 23 elements were created. For filling missing data, two methods proposed by Campos (1998) were

1 894 000 ha. Es la provincia con mayor superficie agropecuaria con 1.2 millones de hectáreas, es además una provincia especializada en agricultura, en relación con el resto del país. El gran tamaño del sector agrícola es un tema clave para el desarrollo de la economía manabita. Este sector agrícola es uno de los más diversos del Ecuador, debido al tamaño de la provincia, la estabilidad climática y la topografía de sus suelos aptos para cultivos (Zambrano, 2013). En décadas recientes y en diferentes zonas del Ecuador, el clima ha tenido un comportamiento anómalo que ha traído como resultado la variabilidad en el comportamiento de parámetros tales como la humedad, neblina, las temperaturas máximas y mínimas, las alturas pluviométricas. En el caso específico de la precipitación se detectan variaciones persistentes en su comportamiento multianual, con respecto a los valores máximos y mínimos y el adelanto y/o retardo de los períodos lluviosos que eventualmente están siendo precedidos por períodos de sequía (Villacis y Marrero de León, 2017). A partir de técnicas de simulación basadas en clima, suelo y datos de cultivos, Meseth y Yu (2014), sugieren que los calendarios de algunos cultivos pueden ser desplazados de fecha a fin de maximizar el rendimiento y mitigar la escasez de agua para los cultivos. Resulta evidente que la información de la precipitación precisa es de suma importancia para numerosas aplicaciones incluyendo la agronomía, hidrología, meteorología y climatología (Kidd y Levizzani, 2011; Scheel *et al.*, 2011; Hou *et al.*, 2014; Luna y Lavado, 2015). En la actualidad el uso de Recuperaciones Multi-satélite Integradas para el Monitoreo Global de Precipitaciones (IMERG) permiten considerables análisis y predicciones dentro de las que se destacan una mejor capacidad para discretizar los días lluviosos y no lluviosos para todas las regiones y temporadas consideradas. Esto propicia una buena perspectiva para estudios futuros basados en los días lluviosos y no lluviosos como un factor limitante en la agricultura y el monitoreo de la sequía (Satgé *et al.*, 2017).

A pesar de que Rivadeneira (2014), realizó estudios importantes en Manabí enfocados a la Evaluación del Efecto del Cambio Climático, no se han encontrado evidencias de trabajos que estudien el comportamiento de la Evaporación orientado a los Proyectos y el Régimen de Riego de los Cultivos. Por tal motivo los proyectos y las programaciones de riego que se realizan en la Provincia se basan en valores de Evapotranspiración de los cultivos en zonas o proyectos análogos y no provienen de estudios desarrollados sobre bases científicas, lo cual limita el uso eficiente del agua empleada para el riego. La necesidad de estudiar la variabilidad climática, en particular de la lluvia, es crucial en las ciencias agrícolas, como lo enuncia Garduño, citado por Mercado *et al.* (2014).

A partir de este problema se desarrolla el presente trabajo con el objetivo de definir el comportamiento de las precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo de referencia con fines de riego para la Provincia Manabí.

MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se compilaron y analizaron los datos climatológicos de las 49 estaciones meteorológicas existentes en la Provincia (Figura 1). Se compilaron los datos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) desde el año 1990 hasta el 2012, con lo cual se confeccionaron series de 23 años de observación. Para el completamiento de datos faltantes

used: The U.S. National Weather Service method and the rational deductive method.

se utilizaron dos métodos propuestos por Campos (1998): el método del U.S. National Weather Service y el método Racional Deductivo.

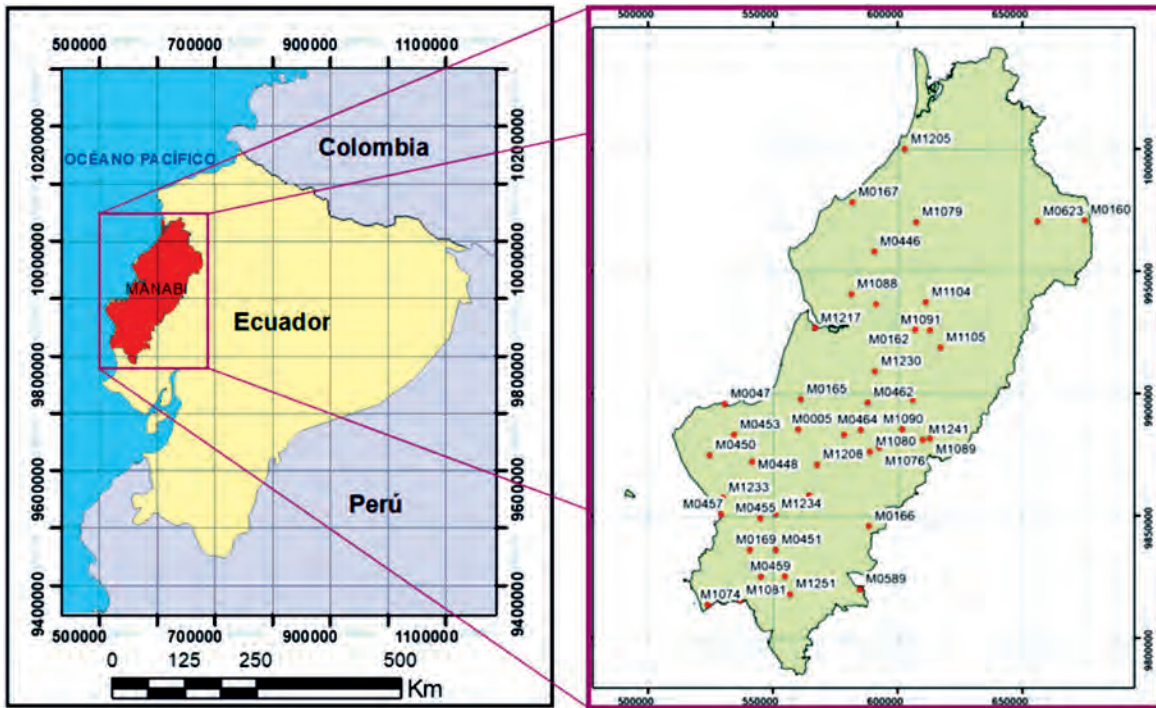


FIGURE 1- Location of Meteorological Stations in the Province of Manabí.
 FIGURA 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la provincia de Manabí.

Ten empirical methods proposed by González *et al.* (2003), and Raes (2013) were used to obtain the year of 75% rainfall probability (Table 1). In those expressions “m” means the element position and “n” the total number of elements or series size.

The series homogeneity analysis was done by the González *et al.* (2003) proposal where two phases are necessary, an exploratory and a confirmatory. Some fitting tests are needed for verifying the match between empirical probabilities and normal distribution. This process is carried out from a comparison of the values obtained from the accumulated frequency methods and those of the normal distribution. The standard normal variable z was calculated according to Chow & Maidment (1994).

La determinación del año con la probabilidad de sobrepaso de la Precipitación del 75% se realizó mediante la aplicación de 10 métodos empíricos propuestos por González *et al.* (2003), y Raes (2013), según se muestra en la Tabla 1. En esas expresiones m es el valor de la posición del elemento en la serie de datos y n es el número total de datos de la serie o tamaño de la serie.

El análisis de la homogeneidad de las series de datos se realizó según la propuesta de González *et al.* (2003), en el cual se desarrollan dos fases: una exploratoria y una confirmatoria. Para verificar la adaptación de las probabilidades empíricas a la distribución normal, se deben realizar pruebas que permitan corroborar la bondad de los ajustes teóricos. Este proceso se realiza a partir de una comparación de los valores obtenidos de los métodos de frecuencia acumulada con los de la distribución normal, para ello se calcula la variable normal estándar z, cuya fórmula se presenta en Chow & Maidment (1994).

TABLE 1. Formulas for Calculating the Probability of Overrun p (%) (Raes, 2013)
 TABLA 1. Expresiones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%) (Raes, 2013)

Methods	Formulas for Calculating the Probability of Overrun
CALIFORNIA (1923)	$p = \frac{m}{n} * 100$
HAZEN (1930)	$p = \frac{(m - 0,5)}{n} * 100$
WEIBULL (1939)	$p = \frac{m}{(n + 1)} * 100$
CHEGODAEFF (1955)	$p = \frac{(m - 0,3)}{(n + 0,4)} * 100$

Methods	Formulas for Calculating the Probability of Overrun
BLOOM (1958)	$p = \frac{(m - 0,38)}{(n + 0,25)} * 100$
ALEXEEFF (1960)	$p = \frac{(m - 0,25)}{(n + 0,25)} * 100$
TURQUEY (1962)	$p = \frac{(3m - 1)}{(3n + 1)} * 100$
BLOJINOFF (1976)	$p = \frac{(m - 0,40)}{(n + 0,20)} * 100$
GRINGORTEN (1983)	$p = \frac{(m - 0,44)}{(n + 0,12)} * 100$
SEVRUK Y GEIGER (1981)	$p = \frac{(m - 3/8)}{(n + 1/4)} * 100$

For calculating the areal average rainfall, the arithmetic average method and the Thiessen polygons were used.

Crop reference evapotranspiration (Eto) was obtained through nine methods proposed by different authors Manzaba (2017), those are:

- Blaney-Criddle
- Papadakis
- Blaney-Morin
- Jensen-Haise
- Tanque evaporímetro
- Hargreaves-Samani
- García y López
- Thornthwaite y Wilm
- Método de Turc

Penman-Monteith method (Allen *et al.*, 2006) and considered by Sousa *et al.* (2016) and the Whirlpool Covariance Method (López *et al.*, 2015) could not be included due to the insufficiency of the climatic information available for their application. After the methods application, a correlation analysis between each of them and their average values was made in order to select which one fits better.

RESULTS AND DISCUSSION

Precipitation Behavior for 75% Probability of Overrun

From 49 meteorology stations, only 20 had at least the 70% of possible data. Figure 2 shows the monthly rainfall pattern with a 75% overrun probability for the 20 stations analyzed in the province.

The year that matches the monthly rainfall pattern with a 75% overrun probability was different for each of the 20 meteorology stations due to the rainfall spatial variability, which is associated to different factors. However, there was

Para el cálculo de la precipitación promedio en el área se utilizaron los métodos del Promedio Aritmético y de los Polígonos de Thiessen.

La determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (Eto) se realizó mediante la aplicación de nueve métodos propuestos por diferentes autores y considerados por Manzaba (2017). Los mismos son:

- Blaney-Criddle
- Papadakis
- Blaney-Morin
- Jensen-Haise
- Tanque evaporímetro
- Hargreaves-Samani
- García y López
- Thornthwaite y Wilm
- Método de Turc

El método de Penman-Monteith, (Allen *et al.*, 2006) y considerado por Sousa *et al.* (2016), y el Método de Covarianza de Torbellinos (López *et al.*, 2015) no pudieron ser incluidos debido a la insuficiencia de la información climática disponible para su aplicación. Posterior a la aplicación de los nueve métodos se realizó un análisis de correlación de cada uno de ellos con respecto a los valores promedio mensuales obtenidos por todos los métodos para definir cuál de ellos ofrecía mejor ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las precipitaciones para el 75% de probabilidad de sobrepaso

De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, se determinó que sólo 20 cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles. En la Figura 2 se aprecia el comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas en la Provincia.

El año que reflejó el comportamiento de la precipitación del 75% de la probabilidad fue diferente para cada una de las 20 estaciones meteorológicas debido a la variabilidad espacial que

coincidence in the stations of 4 locations with the year 2005, those are Chone, Olmedo, Julcuy and Jipijapa and other three locations obtained the year 2011 (Portoviejo, Rocafuerte y Puerto Cayo).

As shown in Figure 2, there is a coincidence in most of the seasons with respect to the period of the year with the highest rainfall in Manabí. Since January to April, it happens the 83% of all the annual average rainfall. The 14% of the annual average rainfall happens in January. The highest percentage of rain occurs in February with 26% of the annual average, followed by March (22%) and April (21%). With the current distribution, there is a 17% rainfall that is distributed during the remaining 8 months (May to December) therefore, it is during this period that an accurate irrigation schedules become necessary.

poseen las precipitaciones asociado a diferentes factores. No obstante hubo coincidencia en las estaciones de 4 localidades que reflejaron ser el año 2005 el que cumplió esa condición (Chone, Olmedo, Julcuy y Jipijapa) y en otras tres localidades coincidió para el año 2011 (Portoviejo, Rocafuerte y Puerto Cayo).

Como se puede observar en la Figura 2, existe una coincidencia en la mayoría de las estaciones con respecto al período del año con mayores precipitaciones en Manabí. Durante los meses de Enero a Abril cae el 83% de toda la lluvia promedio anual. El 14% de la precipitación promedio anual se registra en el mes de Enero. El mayor porcentaje de lluvia ocurre durante el mes de Febrero con un 26% del promedio anual. Posterior a ello le siguen los meses de Marzo (22%) y Abril (21%). Con esta distribución, queda un 17% de precipitaciones que se distribuye durante los 8 meses restantes (mayo a diciembre) por lo tanto, es durante éste período que las programaciones de un riego preciso se hacen necesarias.

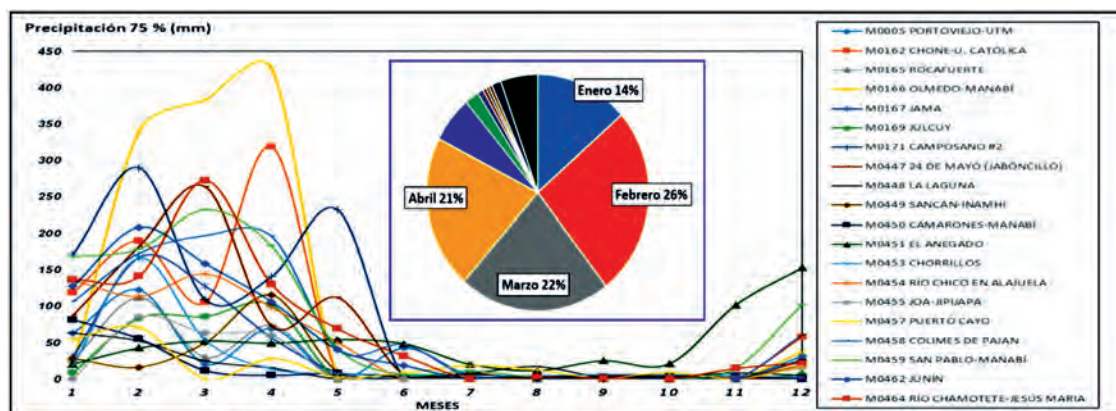


FIGURE 2. Monthly Rainfall Pattern with a 75% Overrun Probability for the 20 Stations Analyzed in the Province
 FIGURA 2. Comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas.

Evaporation Behavior for 25% Probability of Overrun and Crop Reference Evapotranspiration

From 49 meteorology stations, only 2 had at least the 70% of possible data: Portoviejo (M-005) y Chone (M-162).

In the case of Portoviejo (M-005), the year that matches the monthly evaporation with a 25% exceedance probability was 1933 while in Chone (M-162) the year obtained was 1991.

In Figure 3 the Eto monthly values for Portoviejo in 1993 and Chone in 1991 obtained by the nine methods applied are shown.

The results show that crop reference evapotranspiration values in Portoviejo station are slightly higher than those obtained at Chone Station. The correlation analysis made to the nine methods for calculating the crop reference evapotranspiration shows that Hargreaves-Samanni fits better, with R^2 higher than 0.79 for both stations (Figure 4).

This result coincides with the one obtained by Torres & Vásquez (2013) in the study "Prospecting of the estimation of the reference evapotranspiration, under the conditions of the Chaca Valley, Arica-Chile" where it is concluded that Hargreaves Samani method fits better, allowing values closer to the reference evapotranspiration. It also agrees with the results of Chávez-Ramírez *et al.* (2013), which recommend this method between the most accurate options "for estimating the daily reference evapotranspiration"

Comportamiento de la evaporación para el 25% de probabilidad de sobrepaso y de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (Eto)

De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, solo dos cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles: Portoviejo (M-005) y Chone (M-162).

Se determinó que para la estación de Portoviejo, el año 1993 fue el que cumplió con la condición del 25% de probabilidad de sobrepaso mientras que para la Estación de Chone, esta condición se cumplió para el año 1991. En la Figura 3 se presenta el comportamiento mensual de la Eto (para Portoviejo en 1993 y Chone en 1991) obtenida por los nueve métodos aplicados.

Se puede apreciar que en la Estación de Portoviejo los valores de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia son ligeramente superiores a los obtenidos en la Estación de Chone. El análisis de correlación realizado a los nueve métodos para el cálculo de la Eto reflejó que el método de Hargreaves-Samanni tuvo el mejor ajuste con un valor de R^2 superior a 0,79 para ambas estaciones (Figura 4).

Este resultado coincide con el obtenido por Torres y Vásquez (2013), en su estudio de "Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile" donde concluye que "el método Hargreaves Samani obtuvo un mejor ajuste, permitiendo estimaciones más cercanas de la evapotranspiración de referencia". También coincide con los resultados de Chávez-Ramírez *et al.* (2013), quienes recomiendan este método entre las opciones más precisas "para estimar la evapotranspiración de referencia en periodos diarios".

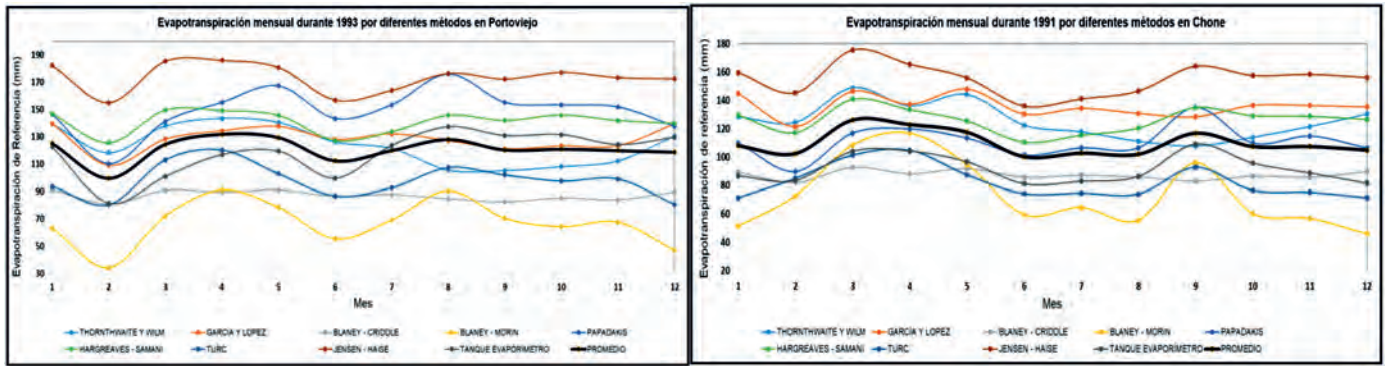


FIGURE 3. Eto Monthly Values for Portoviejo in 1993 and Chone in 1991 Obtained by the Nine Methods Applied
 FIGURA 3. Comportamiento de la Eto obtenida por nueve métodos de cálculo para las estaciones de Portoviejo y Chone.

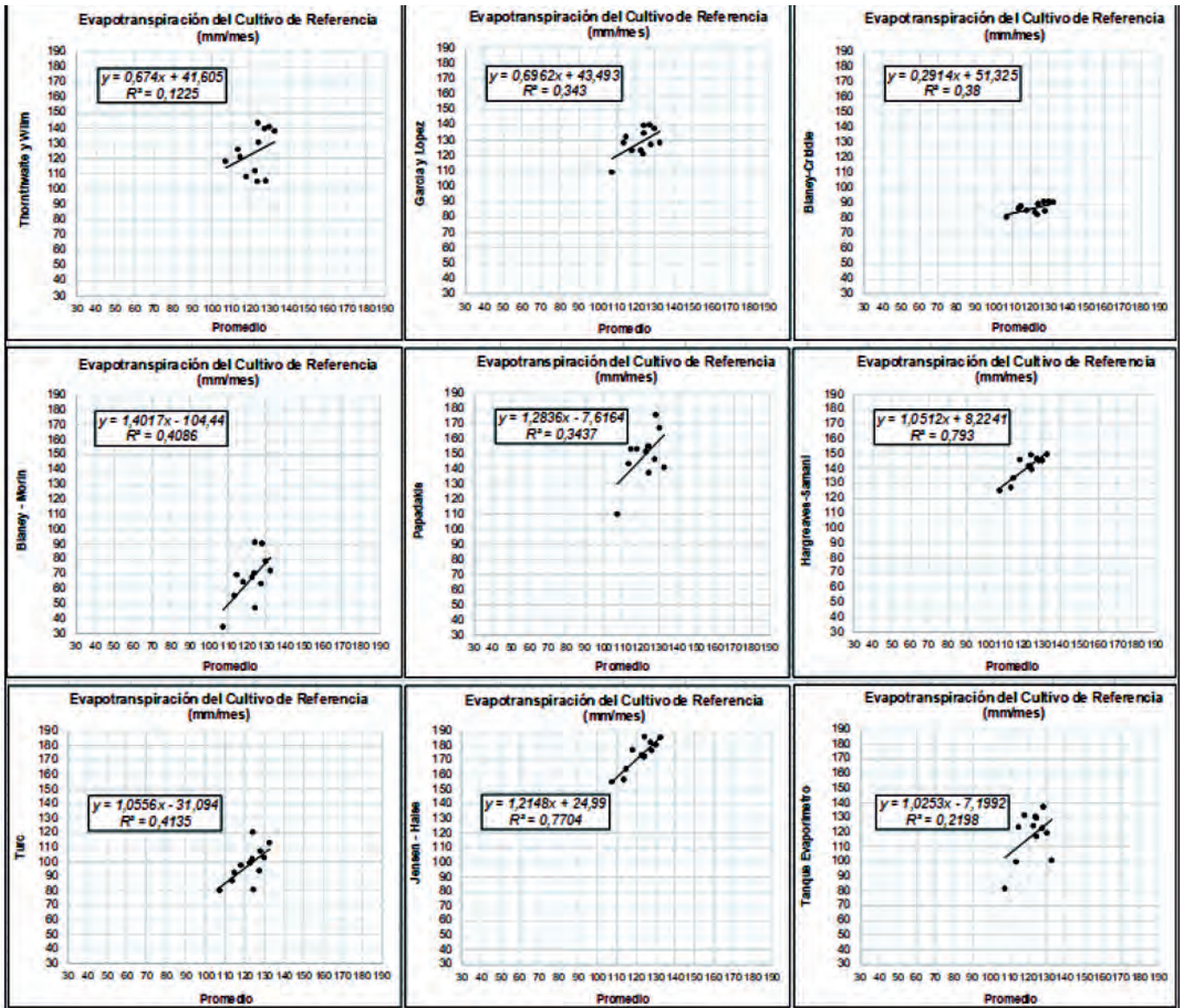


FIGURE 4. Result of Correlation Analysis of the Eto Obtained by the Nine Calculation Methods with Respect to the Monthly Average Values Applied to Portoviejo Station.

FIGURA 4. Resultado del análisis de correlación de la Eto obtenida por los nueve métodos de cálculo con respecto a los valores promedio mensuales aplicado a la Estación de Portoviejo.

In Figure 5, it is shown in detail the Eto behavior for Portoviejo and Chone stations and the average of both for Manabí. The

En la Figura 5 se muestra de manera detallada el comportamiento de la Eto para las Estaciones de Portoviejo, Chone y

months with highest Eto values were April for Portoviejo station and May in the case of Chone and the lowest Eto values were obtained in June and February, respectively. Once the precipitation behavior for the 25% probability of overflow and the behavior of the Eto for the Manabí province was known, it was possible to analyze the Water Balance and the presence of the Water Deficit for irrigation in the Manabí Province (Figure 6). As it can be seen, there is an ample period that covers all the months of the year except for the month of February, where the values of Eto exceed the precipitation. This imbalance between income and expenditure is what causes the occurrence of a water deficit in the Province that justifies the planning of irrigation for crops during 11 months of the year.

CONCLUSIONS

- From 43 INAMHI climate stations placed in Manabí, only 20 are statistically significant for rainfall studies and only two had enough information for making evaporation studies.
- In Manabí, rainfall behavior analysis of 20 meteorological stations with a 75% exceedance probability shows that 83% of all annual rainfall happens during months from January to April.
- Only 17% of all annual rainfall happens during the months from May to December, so in this period an accurate irrigation schedule become necessary to supplement the crop water demand.
- From the nine methods analyzed for calculating the crop reference evapotranspiration, Hargreaves-Samani method reached the most accurate values.
- Monthly distribution analysis of crop reference evapotranspiration in Manabí shows that the months with highest values are April and May, conversely the lowest values are obtained in June and February.
- The results obtained in this study constitute the most accurate climatological basis available so far to carry out irrigation planning and water consumption analysis of crops in Manabí province.
- Analysis of the Water Balance in the Manabí province shows the existence of a period that covers all the months of the year, except for the month of February, where Eto values exceed rainfall. This imbalance is what causes the existence of a water deficit that justifies the planning of irrigation for crops during 11 months of the year.

el promedio de ambas para Manabí. En ambos casos los meses con mayores valores de Eto fueron abril y mayo y los de menores valores fueron junio y febrero. Una vez conocido el comportamiento de las precipitaciones para el 25% de probabilidad de sobrepaso y el comportamiento de la Eto para la provincia Manabí, se pudo analizar el Balance Hídrico y la presencia del Déficit Hídrico para riego en la Provincia Manabí (Figura 6). Como se puede observar, existe un amplio período que abarca todos los meses del año a excepción del mes de febrero, donde los valores de Eto superan a la precipitación. Este desbalance entre ingreso y egreso es el que propicia la ocurrencia de un déficit hídrico en la Provincia que justifica la planificación de riegos para los cultivos durante 11 meses del año.

CONCLUSIONES

- De las 43 estaciones del INAMHI existentes en la provincia Manabí, solo 20 cumplieron con el sustento estadístico para realizar estudios del comportamiento de las precipitaciones y solo dos de ellas contaron con información suficiente para realizar los estudios de la evaporación.
- El análisis del comportamiento de las precipitaciones en Manabí realizado para 20 estaciones meteorológicas con una probabilidad de sobrepaso del 25% evidencia que durante los meses de Enero a Abril precipita el 83% de la lluvia total anual.
- Durante los meses de mayo a diciembre precipita solamente 17% de la lluvia total anual por lo que se requiere de una programación precisa del riego para complementar la demanda hídrica de los cultivos durante estos 8 meses.
- De los nueve métodos analizados para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, el método de Hargreaves-Samani fue el que mostró los valores más precisos.
- El análisis de la distribución mensual de la evapotranspiración del cultivo de referencia en Manabí muestra que los meses de mayor valor de este parámetro son abril y mayo mientras que los meses de menor valor fueron junio y febrero.
- Los resultados obtenidos en este estudio constituyen la base climatológica más precisa disponible hasta el momento para realizar las planificaciones del riego y definir los consumos de agua de los cultivos en la provincia Manabí.
- En análisis del Balance Hídrico en la provincia Manabí evidencia la existencia de período que abarca todos los meses del año a excepción del mes de febrero, donde los valores de Eto superan a la precipitación. Este desbalance es el que propicia la existencia de un déficit hídrico que justifica la planificación de riegos para los cultivos durante 11 meses en el año

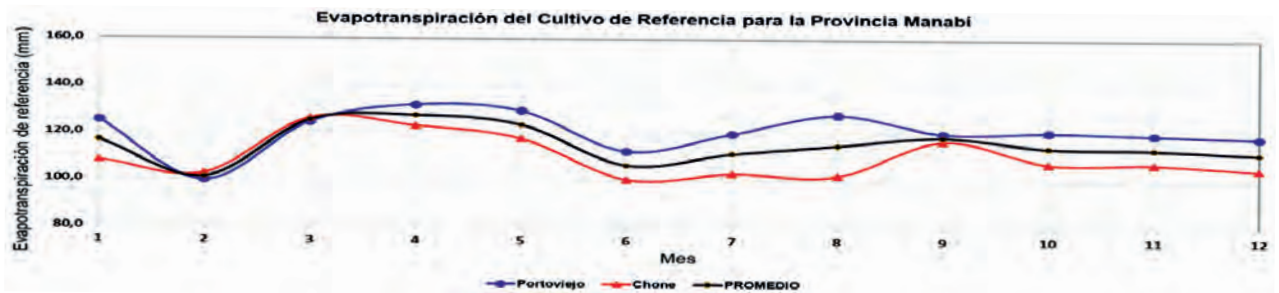


FIGURE 5– Monthly Behavior of Eto Obtained for Portoviejo and Chone Stations
 FIGURA 5– Comportamiento mensual de la Eto obtenida para las estaciones de Portoviejo y Chone.

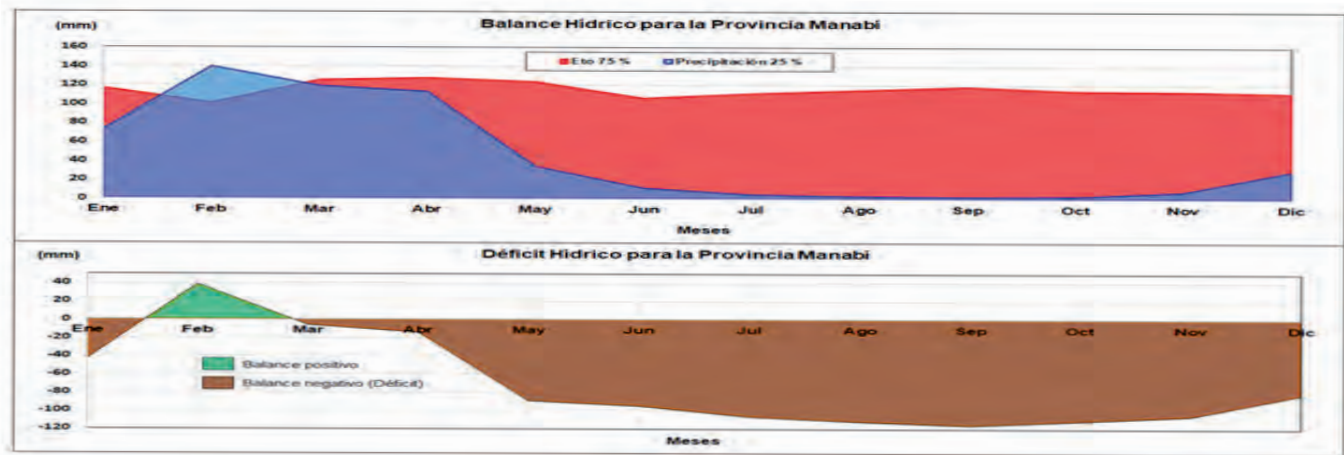


FIGURE 6– Balance and Water Deficit for Manabí Province
 FIGURA 6– Balance y Déficit Hídrico para la Provincia Manabí.

REFERENCIAS/REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, [en línea], ser. Estudio FAO Riego y Drenaje, no. ser. 56, Ed. FAO, Roma, Italy, 298 p., 2006, ISBN: 92-5-304219-2, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>, [Consulta: 21 de octubre de 2015].

CAMPOS, A.D.F.: Procesos del ciclo hidrológico, [en línea], Ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, 1998, ISBN: 968-6194-44-4, Disponible en: <https://books.google.com/books?id=tkUYqd0Aac8C>, [Consulta: 7 de febrero de 2017].

CHÁVEZ-RAMÍREZ, E.; GONZÁLEZ-CERVANTES, G.; GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L.; DZUL-LÓPEZ, E.; SÁNCHEZ-COHEN, I.; LÓPEZ-SANTOS, A.; CHÁVEZ-SIMENTAL, J.A.: "Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración", Tecnología y Ciencias del Agua, 4(4): 115-126, 2013, ISSN: 2007-2422, Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-24222013000400007&lng=es&nrm=iso&tlng=es, [Consulta: 29 de enero de 2018].

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.: Hidrología Aplicada, [en línea], Ed. MC Graw Hill, Bogotá, Colombia, 583 p., 1994, ISBN: 978-958-600-171-7, Disponible en: <https://www.amazon.com/Hidrologia-Aplicada-Spanish-Ven-Chow/dp/9586001717>, [Consulta: 7 de febrero de 2017].

GONZÁLEZ, S.L.; JORGE, P.M.; MARTÍNEZ, R.J.; MARRERO, N.: Hidrología Superficial para ingenieros, Ed. CUJAE, La Habana, Cuba, 2003.

HOU, A.Y.; KAKAR, R.K.; NEECK, S.; AZARBARZIN, A.A.; KUMMEROW, C.D.; KOJIMA, M.; OKI, R.; NAKAMURA, K.; IGUCHI, T.: "The Global Precipitation Measurement Mission", Bulletin of the American Meteorological Society, 95(5): 701-722, 2014, ISSN: 0003-0007, 1520-0477, DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00164.1, Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>, [Consulta: 30 de enero de 2017].

INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS): "Estadísticas Estructurales: Encuesta de Manufactura y Minería", [en línea], 2014, Disponible en: <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadisticas-economicas>, [Consulta: 31 de enero de 2017].

KIDD, C.; LEVIZZANI, V.: "Status of satellite precipitation retrievals", Hydrology and Earth System Sciences, 15(4): 1109-1116, 2011, ISSN: 1027-5606.

LÓPEZ, A.J.E.; DÍAZ, V.T.; WATTS, T.C.; CÉSAR, R.J.; CASTELLANOS, V.A.E.; PARTIDA, R.L.; VELÁZQUEZ, A.T. de J.: "Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de Chile bell en el Valle de Culiacán, México", Terra Latinoamericana, 33(3): 209-219, 2015, ISSN: 0187-5779, Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792015000300209&lng=es&nrm=iso&tlng=pt, [Consulta: 30 de enero de 2017].

LUNA, R.A.E.; LAVADO, C.W.S.: "Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenta Jetepeque, Perú", Revista Tecnológica - ESPOL, 28(3): 42-52, 2015, ISSN: 1390-3659, Disponible en: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/articulo/view/400>, [Consulta: 30 de enero de 2017].

MANZABA, C.J.R.: Estudio del Régimen de Evapotranspiración del cultivo de referencia aplicado a la programación de riego para la provincia Manabí, ULEAM, Tesis de Grado, Manta, Manabí, Ecuador, 2017.

MERCADO, M.G.; RAMÍREZ, R.M.; VIZCARRA, H.I.F.; LÓPEZ, A.; LÓPEZ, V.D.M.; GRANADOS, M.A.K.; REYES, L.D.; CHAIRES, M.B.E.: "Distribución y Probabilidad de la lluvia en Cuautitlán Izcalli, Estado de México", [en línea], 2014, Disponible en: <http://www.ommac.org/memoria2014/extensos/E2014092601.pdf>, [Consulta: 10 de noviembre de 2016].

MESSETH, E.; YU, J.C.S.: "Mejora en los calendarios de cultivo para agricultura de secano en ceja de selva", Scientia Agropecuaria, 5(4): 187-197, 2014, ISSN: 2077-9917, Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-99172014000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=pt, [Consulta: 30 de enero de 2017].

RAES, D.: Frequency Analysis of rainfall data, [en línea], Ed. Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 2013, Disponible en: <http://indico.ictp.it/event/a12165/session/21/contribution/16/material/0/0.pdf>, [Consulta: 7 de febrero de 2017].

RIVADENEIRA, V.J.F.: Evaluación del Efecto del Cambio Climático bajo Escenarios de Emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador, [en línea], Universidad Politécnica de Valencia, Tesis de Maestría, Valencia, España, 2014, Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/58552>, [Consulta: 19 de febrero de 2017].

SATGÉ, F.; XAVIER, A.; PILLCO ZOLÁ, R.; HUSSAIN, Y.; TIMOUK, F.; GARNIER, J.; BONNET, M.-P.: "Comparative Assessments of the Latest GPM Mission's Spatially Enhanced Satellite Rainfall Products over the Main Bolivian Watersheds", Remote Sensing, 9(4): 369, 2017, ISSN: 2072-4292, DOI: 10.3390/rs9040369, Disponible en: <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/4/369>, [Consulta: 30 de enero de 2017].

SCHEEL, M.L.M.; ROHRER, M.; HUGGEL, C.; SANTOS VILLAR, D.; SILVESTRE, E.; HUFFMAN, G.J.: "Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution", Hydrology and Earth System Sciences, 15(8): 2649-2663, 2011, ISSN: 1607-7938, DOI: 10.5194/hess-15-2649-2011, Disponible en: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/2649/2011/>, [Consulta: 30 de enero de 2017].

SOUSA, P.F.F.; DAL, P.E.; VÁZQUEZ, M.R.J.; SÁNCHEZ, R.R.M.; ORELLANA, G.A.M.G.; ESCOBEDO, J.F.: "Estudio Comparativo da Evapotranspiração de Referência entre localidades no estado de São Paulo e na província de Habana", Irriga, 21(2): 395-408, 2016, ISSN: 1808-8546, DOI: 10.15809/irriga.2016v21n2p395-408, Disponible en: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/articulo/view/1858>, [Consulta: 30 de enero de 2017].

TORRES, H.A.; VÁSQUEZ, V.R.: "Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile", Idesia (Arica), 31(2): 25-29, 2013, ISSN: 0718-3429, DOI: 10.4067/S0718-34292013000200004, Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292013000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=en, [Consulta: 30 de enero de 2017].

VILLACIS, R.E.; MARRERO DE LEÓN, N.: "Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador", Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 38(2): 102-113, 2017, ISSN: 1680-0338, Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382017000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es, [Consulta: 30 de enero de 2017].

ZAMBRANO, M.: "Producción", [en línea], En: Tierra Bella Manabí, 2013, Disponible en: <http://tierrabellamanabi.blogspot.com/2013/06/produccion.html>, [Consulta: 29 de octubre de 2017].

Received: 25/08/2017.

Approved: 22/12/2017

Ramón Pérez-Leira, Docente-Investigador. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Facultad de Ingeniería, Manta, Manabí, Ecuador, e-mail: rperezleira@gmail.com
 Eric Cabrera-Estupiñán, e-mail: ecabrerae@gmail.com
 Marcos Israel Hinostroza-García, e-mail: rperezleira@gmail.com
 Jordan René Manzaba-Carvajal, e-mail: rperezleira@gmail.com