



*Aseorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898478*

RFC: AT1120618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

**Año: VIII      Número: Edición Especial.      Artículo no.:21      Período: Marzo, 2021**

**TÍTULO:** Evaluación multianual de las variables climatológicas y su relación con el balance hídrico para el cultivo de maíz duro.

**AUTORES:**

1. Ing. Mario Enmanuel Lucas Zambrano.
2. Máster. Jesús Enrique Chavarría Párraga.
3. Máster. Luís Alberto Duicela Guambi.

**RESUMEN:** El cantón Bolívar presenta gran actividad agrícola de *Zea mays*, teniendo como limitante la disponibilidad de humedad en el suelo; razón por la cual es necesario buscar herramientas para poder modelar sistemas de balance hídricos, haciendo uso de datos multianuales de la estación meteorológica de la ESPAM MFL- Calceta Cod. M1230, donde se cuantificarán las variables de la ecuación de balance de masa. Mediante datos estadísticos se analiza qué modelo es el que más se ajusta para calcular el rendimiento del cultivo y los factores que se ven en el intervenido. Los datos climáticos al ser fenómenos naturales no se pueden controlar, pero si ir llevando una base de datos del comportamiento a través de los años.

**PALABRAS CLAVES:** balance hídrico, datos multianuales, *Zea mays*, rendimiento.

**TITLE:** Multi-year evaluation of climate variables and their relationship to the water balance for hard maize cultivation.

**AUTHORS:**

1. Eng. Mario Enmanuel Lucas Zambrano.
2. Master. Jesús Enrique Chavarría Párraga.
3. Master. Luís Alberto Duicela Guambi.

**ABSTRACT:** The Bolívar canton presents great agricultural activity of *Zea mays*, limiting the availability of moisture in the soil; For this reason, it is necessary to look for tools to be able to model water balance systems, making use of multi-year data from the ESPAM MFL-Calceta Cod. M1230 meteorological station, where the variables of the mass balance equation will be quantified. Using statistical data, it is analyzed which model is the one that best fits to calculate the crop yield and the factors that are seen in the intervention. Climatic data, being natural phenomena, cannot be controlled, but a database of behavior can be kept over the years.

**KEY WORDS:** Water balance, multi-year data, *Zea mays*, performance.

**INTRODUCCIÓN.**

El maíz tiene sus orígenes en México, donde los más sobresalientes fueron emigrando a diferentes países de América para su producción. Se dice que surgió entre los años 8000 y 600 AC aproximadamente en Mesoamérica (Acosta, 2009). El nombre científico con el que se lo conoce es *Zea mays*, y presenta una característica especial de poder adaptarse a diferentes condiciones de climas para su crecimiento (Sacón, y otros, 2018).

De acuerdo a la expansión alrededor del mundo, el continente americano unos de los que más lo cultivan con un área de casi el 40 % aproximadamente. En el caso de Estados Unidos, se considera como el centro productor, ya que ocupa con más del 45% aproximadamente la producción mundial (Cespón, Curbelo, Varela, & García, 2015). Por otro lado, la comunidad andina de naciones (CAN) también es productora de maíz estando conformada por países que se encuentran geográficamente

cerca a Ecuador, entre estos están Colombia, Perú y Bolivia entre toda esta comunidad se obtiene alrededor del 4´805.730 TM de producción anual (Caiza, 2015).

Ecuador es un país que cuenta con diversas riquezas tanto paisajística como climáticas, pero la riqueza más grande es la diversidad de productos agrícolas que se pueden cultivar gracias a los diferentes climas que predominan en el país; de acuerdo a datos obtenidos por el INEC en el año 2012, el maíz se encuentra en el quinto producto más cosechado en el país (Tapia, y otros, 2017), aportando así a su producción un total aproximado de 717.940 TM de maíz duro anualmente. Siendo la región costa la zona que más lo produce (Caiza, 2015). Dentro de la zona mencionada resaltan la provincia de Manabí y Guayas, donde la provincia de Manabí presenta un rendimiento de 8.74TN por cada hectárea sembrada (Nicolas; Bernal; Romero; Rodríguez, 2019), mientras que la provincia de Guayas de acuerdo a datos del MAGAP y con corroboración de (Sacón, y otros, 2018) presenta un rendimiento menor, correspondiente al 4.75 TN por cada hectárea sembrada; esto se debe a la manera en que se manejan los niveles de fertilización, tipo de suelo, clima, disponibilidad del agua y el manejo de densidad de siembra (Nicolas; Bernal; Romero; Rodríguez, 2019).

Al realizar un análisis de revisión de datos sobre la producción de *Zea Mays* en Manabí, se observa que el volumen de producción decreció en el año agrícola 2018, según el 40% de los entrevistados, el 41% indicó que se mantuvo como en años anteriores, mientras que el restante 19% expresaron que el volumen fue mayor.

En una investigación más desarticulada sobre la producción del *Zea mays*, la superficie cosechada en la provincia de Manabí se incrementó en la mayoría de los cantones como son: Chone 30%, Calceta 25% (Bolívar, Tosagua), Junín 10%, Jipijapa 40% y Paján 45% (Nicolas; Bernal; Romero; Rodríguez, 2019). En general, el maíz tiene una amplia variedad que vienen definida por el color presente en el grano, textura y su apariencia (FAO, 2014). Dichas características físicas están relacionadas con la variedad (Genotipo) y las condiciones ambientales predominantes (Temperatura y humedad) durante

su desarrollo (Ordóñez, Gely, & Pagano, 2012). Así mismo, existe otra clasificación que es por su tipo de acuerdo a la constitución de endosperma y el grano, reflejando el color del grano, el ambiente donde se cultivó, la madurez presente y el uso que se le vaya a dar, además entre los tipos de maíz más importantes se encuentran el maíz dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso, tunicado y el duro que es el que está puesto en estudio para la presente investigación (FAO, 2014).

Para la agricultura de temporada, el proceso de crecimiento y desarrollo de los diferentes cultivos tienen como limitante la disponibilidad de humedad en el suelo, debido a que su principal fuente de suministro son las precipitaciones (Flores & Ruíz, 1998), por ende (Morejón, y otros, 2015), determina que la disponibilidad del recurso hídrico en cualquier zona viene en función del volumen anual de agua que recibe, también se debe de tomar en cuenta el volumen que se devuelve a la atmósfera por medio de transpiración y evaporación. Otro dato importante para considerar es la disponibilidad hídrica en la época de lluvia así mismo como en la época seca, al ser dos épocas diferentes del año tienen diferentes escenarios donde necesario considerar balances hídricos.

El incremento de temperatura desempeña un papel fundamental para obtener el balance hídrico, ya que al producirse un incremento significativo de temperatura genera una aceleración en el proceso de madurez del cultivo, induciendo que se presente una reducción en su área foliar y con ello el requerimiento hídrico total a la madurez del cultivo (Ruiz, y otros, 2011); por ello, un cultivo al tener presencia de elevadas temperaturas a largo tiempo tienden a presentar modificaciones en su tasa de evapotranspiración esto quiere decir la demanda evaporativa que posee la atmósfera sobre los cultivos que están siendo cosechados (FAO, 2014a).

En general, para poder obtener el balance hídrico, se debe considerar datos reales o datos simulados de precipitaciones e información climatológica y edáficas. Existen un sinnúmero de estudios relacionados con los balances hídricos, entre los cuales encontramos; climáticos, agroclimáticos,

hidrológicos, agroforestales, de cuencas, de drenaje y riego, para la presente investigación se hará uso del balance hídrico agrícola (Cleves, Toro, & Martínez, 2016).

Es importante realizar modelación de balance hídrico, ya que podrá afrontar desafíos en la gestión del recurso, además permite considerar parámetros como la disponibilidad del agua en un futuro debido al cambio climático, ya que en la actualidad, se comienza a sentir el efecto de la crisis del recurso hídrico; por ello, es de vital importancia conocer cuáles son las diferentes causas y que consecuencia lo conlleva.

Mediante la presente investigación se busca disponer de datos climatológicos y edáficos para así observar de cómo se comporta el recurso en una modelación del balance hídrico multianual y como se ve afectado el rendimiento del maíz duro, y a su vez, aprovechar mejorar la gestión y el uso que se le da al agua (González, 2017).

## **DESARROLLO.**

### **Materiales y métodos.**

#### ***Modelación del balance hídrico por medio de la ecuación del balance de masas: Antecedente.***

Se realizó la elaboración de un modelo de balance hídrico desarrollado por el centro de AGRIMED de Chile, con el propósito de mejorar el manejo y gestión del recurso hídrico en las cuencas; para ello, el Sistema Nacional de Referencia demandas de Agua en la Agricultura ha diseñado un modelo el cual se encarga de manejar el uso del suelo, así como también las diferentes condiciones climáticas que dominan en cada sector del área que está en investigación, tiene como punto de arranque la ecuación de balance de masa.

En el caso de presentar más de un cultivo se realiza un balance hídrico para cada uno de ellos, para luego integrar las necesidades de riego por superficie y por especie, en función del área cultivada y la eficiencia de riego atribuida al sistema utilizado en cada especie (AGRIMED, 2014).

El balance hídrico se hace de acuerdo a datos históricos, suponiendo la fecha de siembra más corriente y para un suelo con propiedades hídricas definidas por el investigador (densidad, capacidad de campo y punto de marchitez permanente). Además, permite simular posibles efectos que se irían presentando sobre la economía del recurso hídrico de la cuenca, a su vez identificar cualquier variación del clima (ET<sub>o</sub> o precipitación), un cambio en el uso del suelo, aumento en la eficiencia de riego o cambio en la capacidad de regulación hidrológica de la cuenca (AGRIMED, 2014).

Para el cálculo de la demanda hídrica por parte de la superficie cultivada, se utilizó el método de Penman Monteith, mismo que será calculado por el software CROPWAT. Al ser un programa informático permite el cálculo de los requisitos de agua en los cultivos además los requisitos de riego basados en datos climáticos y del suelo. También permite la toma de decisiones en las pretensiones de riego y secano (FAO, 2009). Además, para elaborar el modelo que se utilizará para el rendimiento del maíz duro en el cantón Bolívar se utilizó el software matemático Microsoft Excel.

### **Materiales y métodos.**

Es necesario establecer qué balance hídrico se encuentra presente en el suelo en las diferentes épocas del año. Mediante el uso de herramientas de simulación nos permite tener conocimiento en qué periodo de tiempo es ideal para sembrar los cultivos y como se puede establecer un óptimo balance para aprovecharlo en época de déficit (Sánchez, Esquivel, López, Inzunza, & Catalán, 2014).

Para realizar el balance hídrico en el cantón Bolívar se consideran los periodos en la que existe alta demanda de agua y los que presentan mayor escasez del recurso, para así poder tomar las decisiones al momento de llevar a cabo la siembra y que cantidad de agua aplicar al cultivo en caso de presentarse un déficit sin causar estrés hídrico al cultivo, para esto los parámetros a definir son el uso del suelo, los cultivos y el clima (evapotranspiración de referencia). Para el cálculo de la demanda hídrica, por parte de la superficie cultivada, se utiliza el método de Penman Monteith (González, 2017).

Un dato de tener en cuenta son las precipitaciones y el agua aportada por el riego como contribuciones externas, y como pérdidas, la suma del escurrimiento superficial y la percolación profunda. Para efectuar de manera más clara el modelo, estos dos últimos términos se integraron en el concepto de eficiencia de riego, el cual se asocia a un valor obtenido desde el conocimiento empírico (González, 2017). Al contar con datos climáticos y edáficos se procede a la elaboración de tablas dinámicas donde se van realizando análisis estadístico de regresión y correlación de las variables antes mencionadas, para así, encontrar que modelo es el que más se ajusta para el rendimiento del cultivo de maíz duro y dentro de este modelo que parámetros están ligados al mismo.

### Lugar de estudio.

Tabla 1. Datos climáticos multianuales.

Años	Humedad Relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Evaporación (mm)	Precipitación (mm)	Recorrido del viento (km/hora)	Heliofanía (Horas sol)
2011	80.9	30.7	21.5	26	1739.5	527.9	498.5	1324.5
2012	82.9	30.4	22	26	1397.7	1638.9	547.7	1182.9
2013	83.8	29.9	21.7	25	1341.4	962.4	632.4	1026.8
2014	82	30.7	21.2	26	1269.6	777.3	555.3	925.2
2015	82.3	31.4	22.3	27	1323.7	992.7	519	1134.7
2016	80.3	31.2	22.1	26	1291.1	953.4	583.8	1118.5
2017	83.5	30.7	22.1	26	1207.7	1338.9	615.2	1079.5
2018	81.4	30.7	21.4	26	1256.3	782.6	570.2	1109.8
2019	84.3	30.6	21.3	26	1182.7	979.9	557.5	966.8
Media	<b>82.38</b>	<b>30.7</b>	<b>21.73</b>	<b>26</b>	<b>1334.41111</b>	<b>994.9</b>	<b>564.4</b>	<b>1096.5</b>

Los datos recopilados (2011-2019) para la estimación del balance hídrico en el cantón Bolívar, corresponde a la estación meteorológica ubicada en la ESPAM- MFL- Calceta (cod. M1230), cuyas coordenadas son 0°49'23''S y 80°10'1'' O, con una altitud de 15 metros. (Duque-Sarango, et al. 2019).

## **Materiales.**

Se hará uso de una serie de datos climáticos multianuales (2011-2019) recopilados en la estación meteorológica M1230, al ser una estación ubicada estratégicamente por el Inamhi para cubrir dicha zona y así obtener datos relevantes como son temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación, tensión de vapor y velocidad del viento, siendo datos confiables para llevar la presente investigación, debido a que es una institución encargada de recopilar la información climatológica a nivel nacional por esto es más confiable en relación con datos que provienen de estaciones de uso particular.

## **Métodos.**

### ***Observación de campo.***

Mediante este método, se recorrió el área de estudio para identificar donde existe mayor cobertura de cultivos de acuerdo al uso del suelo, siendo así los predios que se encuentran aledaños a la estación los que se consideran para el estudio.

### **Metodología para determinar el balance hídrico.**

#### ***Ecuación de balance de masa.***

El balance hídrico está basado en el principio de la conservación de la masa en un sistema cerrado, mismo que nos da a conocer que todo cambio en el agua almacenada en un cuerpo, en un volumen de suelo, durante un determinado periodo de tiempo. Matemáticamente es igual a la diferencia que existe entre la cantidad de agua introducida en el suelo y la cantidad que se extrae del mismo. Considerando un intervalo de tiempo que puede ser medio en meses y años (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2016).

$$Pe + Ri - Etr - (Es + Px) \pm \delta H = 0$$

Donde:

Pe: precipitación efectiva.

Ri: riego.

Etr: evapotranspiración real.

Es: Escurrimiento superficial.

Px: Percolación profunda.

$\delta H$ : Cantidad de agua almacenada en el suelo.

Tomando como punto de partida, que bajo condiciones de no déficit hídrico la evapotranspiración real  $Etr = Eto \times kc$  y que durante el período de riego no haya cambios significativos en el contenido de agua del suelo, entonces:

$$Ri = (Etr - Pe - (Es + Px)) \times Ef^{-1}$$

Pariendo de valores Kc de acuerdo a sus etapas siendo:

Tabla 2. Coeficientes Kc del maíz duro.

	Inicial	Desarrollo	Media	Final
Duración de etapas	20	35	40	30
Kc	0.3		1.2	0.6-0.35

Fuente: (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

## Resultados.

Tabla 3. Datos climáticos y edáficos.

Localidad	Años	Material	Textura de Suelo	Estructura	Densidad Aparente	Capacidad de Campo	Velocidad de Infiltración	Conductividad Hidráulica	Heliolamia	Precipitación	Ambiente	TMIN	TMAX	HR %	Ren qq/ha
Calceta	2011	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	114.62	79.72	25.9	22.06	30.92	83.6	107
Calceta	2012	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	106.22	266.5	26.34	22.93	30.94	86.6	167
Calceta	2013	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	71.1	154.22	25.56	22.54	30.04	84.5	143
Calceta	2014	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	73.33	122.57	26.19	22.03	30.7	83.4	177
Calceta	2015	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	108.42	136.35	26.55	22.55	31.79	83.9	145
Calceta	2016	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	90.75	155.52	27.1	22.74	31.63	82.1	117
Calceta	2017	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	111.07	187.78	26.74	22.67	31.61	83.9	169

Calceta	2018	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	88.77	116.33	22.99	22.11	30.68	82.1	178
Calceta	2019	Trueno	1	3	1.08	34	3	4.58	77.92	151.85	26.55	22.33	30.99	86.8	173
<b>Calceta</b>	<b>2011</b>	<b>Triunfo</b>	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	114.62	79.72	25.9	22.06	30.92	83.6	109
Calceta	2012	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	106.22	266.5	26.34	22.93	30.94	86.6	201
Calceta	2013	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	71.1	154.22	25.56	22.54	30.04	84.5	178
Calceta	2014	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	73.33	122.57	26.19	22.03	30.7	83.4	199
Calceta	2015	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	108.42	136.35	26.55	22.55	31.79	83.9	180
Calceta	2016	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	90.75	155.52	27.1	22.74	31.63	82.1	119
Calceta	2017	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	111.07	187.78	26.74	22.67	31.61	83.9	203
Calceta	2018	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	88.77	116.33	25.99	22.11	30.68	82.1	200
Calceta	2019	Triunfo	4	2	1.22	32.9	2.4	5.46	77.92	151.85	26.55	22.33	30.99	86.8	200

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el modelo para el cálculo del rendimiento en el maíz duro del cantón Bolívar-Calceta, se recopilaron datos climatológicos y edáficos de la zona, donde las principales texturas de suelos que predominan son arcilloso 1 y franco arcilloso 4, presentando estructuras granular prismático 2 y granular 3.

Al existir presencia de suelos francos son favorables para el drenaje y la permeabilidad, permitiendo así que sea fácil realizar siembras, ya que las plantas brotan y crecen fácilmente. Además, los suelos francos tienen una característica especial de almacenar más agua que los otros suelos para posteriormente ser aprovechada por la planta. También se encuentran texturas de suelos arcillosos mismos que son ricos en nutrientes debido a que la CICE (capacidad de intercambio iónico) es más alta que en suelos que poseen menos cantidad de arcilla (Ayaviri, 1996).

De acuerdo a las variedades de maíz duro, que se encuentran en el cantón, existen dos híbridos que son triunfo y trueno, ambos presentan alto rendimiento, pero esto se ve limitado en ocasiones por la cantidad y disponibilidad del agua, así como también por el tiempo en el que se realice la siembra. Ambos híbridos tienen una estrecha relación en la producción de materia verde misma que beneficia al sector ganadero cuando es la época seca y el ganado bovino necesita alimento puede realizar uso del mismo por medio de ensilaje (Borbor, 2018).

Tabla 4. Cálculos estadísticos.

Estadísticos	Densidad Aparente	Capacidad de Campo	Velocidad de Infiltración	Conductividad e Hidráulica	Heliofanía	Precipitación	Temperatura media	TMIN	TMAX	HR%	Ren qq/ha
Media	1.09	34.5	2.92	4.5	93.6	152.3	26.2	22.4	31.0	84.1	164
Mediana	1.12	33.5	2.70	4.8	90.8	151.9	26.3	22.5	30.9	83.9	173
Moda	1.22	32.9	3.00	5.5	114.6	79.7	26.6	22.1	30.9	83.9	178
Varianza de la muestra	0.011	25.779	1.047	1.203	272.985	2589.964	0.826	0.099	0.295	2.649	1033.952
Desviación estándar	0.107	5.077	1.023	1.097	16.522	50.892	0.909	0.314	0.543	1.628	32.155
Error típico	0.015	0.691	0.139	0.149	3.894	11.995	0.214	0.074	0.128	0.384	4.4
Coefficiente de variación (%)	9.79	14.72	35.09	24.34	17.66	33.41	3.48	1.40	1.75	1.94	19.66
Variación relativa (%)	1.3	2.0	4.8	3.3	4.2	7.9	0.8	0.3	0.4	0.5	2.7
Precisión (%)	98.7	98.0	95.2	96.7	95.8	92.1	99.2	99.7	99.6	99.5	97.3
Curtois	-1.25	-1.38	0.33	0.88	-1.71	1.43	9.01	-1.38	-0.59	-0.64	-1.04
Coefficiente de asimetría	<b>-0.42</b>	0.30	1.23	-1.52	-0.11	1.08	-2.64	-0.01	-0.19	0.58	-0.62
Rango	0.3	14	3.1	3.29	43.52	186.78	4.11	0.9	1.75	4.7	98
Mínimo	0.92	28	1.9	2.17	71.1	79.72	22.99	22.03	30.04	82.1	105
Máximo	1.22	42	5	5.46	114.62	266.5	27.1	22.93	31.79	86.8	203
Suma	59.04	1862.1	157.5	243.27	1684.4	2741.68	470.84	403.92	558.6	1513.8	8830
n	54	54	54	54	18	18	18	18	18	18	54
Intervalo de confianza (95%)	0.029	1.354	0.273	0.292	7.633	23.511	0.420	0.145	0.251	0.752	9
Limite inferior de $\mu$	1.065	33.129	2.644	4.213	85.945	128.805	25.738	22.295	30.782	83.348	<b>155</b>
Limite superior de $\mu$	1.122	35.838	3.190	4.797	101.211	175.826	26.578	22.585	31.284	84.852	<b>172</b>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos estadísticos obtenidos, se presenta una muestra de 164 con un error de  $\pm 4.4$  pero al proyectarse el rendimiento se estima en 164  $\mu$  donde se puede presentar variaciones entre 155 y 172. También se procede a comparar si existe tendencia de normalidad en la moda, media y mediana de los diferentes parámetros, donde la densidad aparente, capacidad de campo, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, heliofanía, temperatura, humedad relativa y rendimiento tienden a ser normal, mientras en la precipitación presenta gran variación.

En cuanto los datos de curtosis muestran que tan apuntada o aplanada se halla una distribución en relación con un comportamiento normal (distribución normal), donde los datos que se encuentren estrechamente concentrado hacia la media son considerados como una distribución leptocúrtica ( $cu > 0$ ), en el caso de estar muy dispersos estos datos son considerados como distribución platicúrtica ( $cu < 0$ ) y una curtosis es considerada mesocurtica cuando el comportamiento normal

requiere que sea igual a cero (SECME, 2015); por lo tanto, los resultados obtenidos de humedad relativa, temperatura, heliofanía, densidad aparente, capacidad de campo se encuentran en una distribución platicúrtico, mientras que la precipitación y velocidad de infiltración tienden a presentar una distribución ligeramente leptocúrtica.

Otro parámetro que se toma en consideración es el coeficiente de asimetría que permite medir el grado de asimetría con relación a la moda, donde el signo determina la dirección del sesgado que tiene; es decir, cuando su signo es positivo se encuentra sesgado hacia la derecha y sesgado hacia la izquierda significa que su signo es negativo. Entonces, dentro del análisis estadístico, los valores de capacidad de campo, velocidad de infiltración, precipitación y humedad relativa se encuentran sesgado hacia la derecha, mientras que los restantes se encuentran sesgado hacia la izquierda.

### Análisis de Correlaciones.

Tabla 5. Análisis de correlación con respecto al rendimiento.

Variables	Densidad Aparente	Capacidad de Campo	Velocidad de Infiltración	Conductividad Hidráulica	Heliofanía	Precipitación	Temperatura media	TMIN	TMAX	HR%	Ren qq/ha
Densidad Aparente	1										
Capacidad de Campo	-0.0414	1									
Velocidad de Infiltración	0.2009	-0.8071	1								
Conductividad Hidráulica	-0.0211	-0.7195	0.4929	1							
Heliofanía	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1						
Precipitación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1441	1					
Temperatura media	0.1887	-0.1887	-0.1887	0.1887	0.1949	<b>0.2916</b>	1				
TMIN	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	<b>0.2804</b>	<b>0.8479</b>	<b>0.4455</b>	1			
TMAX	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	<b>0.6230</b>	0.1218	<b>0.5629</b>	<b>0.380</b>	1		
HR%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0315	<b>0.5734</b>	0.2097	0.331	-0.161	1	
Ren qq/ha	-0.0950	-0.0233	-0.1153	0.1545	<b>-0.2800</b>	<b>0.3723</b>	-0.1029	0.014	-0.167	<b>0.343</b>	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Valores críticos permisibles.

Valor crítico permisible	r
0.05	0.273
0.01	0.354

El análisis estadístico de correlación se utiliza para determinar si dos variables observadas tienen relación entre sí o no, donde se presentan valores positivos y negativos, en cual el signo establece el tipo de correlación que se presenta entre dos variables. Al presentarse el signo positivo indica que la relación existente entre las dos variables es positiva; esto quiere decir, que cuando la magnitud de una incrementa la otra también, mientras que con signo negativo pasa lo contrario ya que mientras una incrementa la otra disminuye (Alquicira, 2017). Es necesario tener en cuenta el valor de Pearson permisible, mismo que tiene como objetivo indicar cuán asociadas se encuentran las variables entre sí, de acuerdo a los resultados el valor crítico analizar es 0.273 que hace referencia al 5%, donde se buscan todos los valores que se encuentren por encima de dicho valor para así buscar el modelo que se empleara para el rendimiento, donde sobresalen la precipitación y humedad relativa; esto quiere decir, que entre más destaque estos valores se produce mayor rendimiento.

Tabla 7. Variables relacionadas en el modelo del rendimiento.

<b>HR% (X1)</b>	<b>Precipitación (X2)</b>	<b>Ren (Y)</b>
83.6	79.72	109
86.6	266.5	201
84.5	154.22	178
83.4	122.57	199
83.9	136.35	180
82.1	155.52	119
83.9	187.78	203
82.1	116.33	200
86.8	151.85	200
83.6	79.72	107
86.6	266.5	167
84.5	154.22	143
83.4	122.57	177
83.9	136.35	145
82.1	155.52	117
83.9	187.78	169
82.1	116.33	178
86.8	151.85	173

Fuente: Elaboración propia

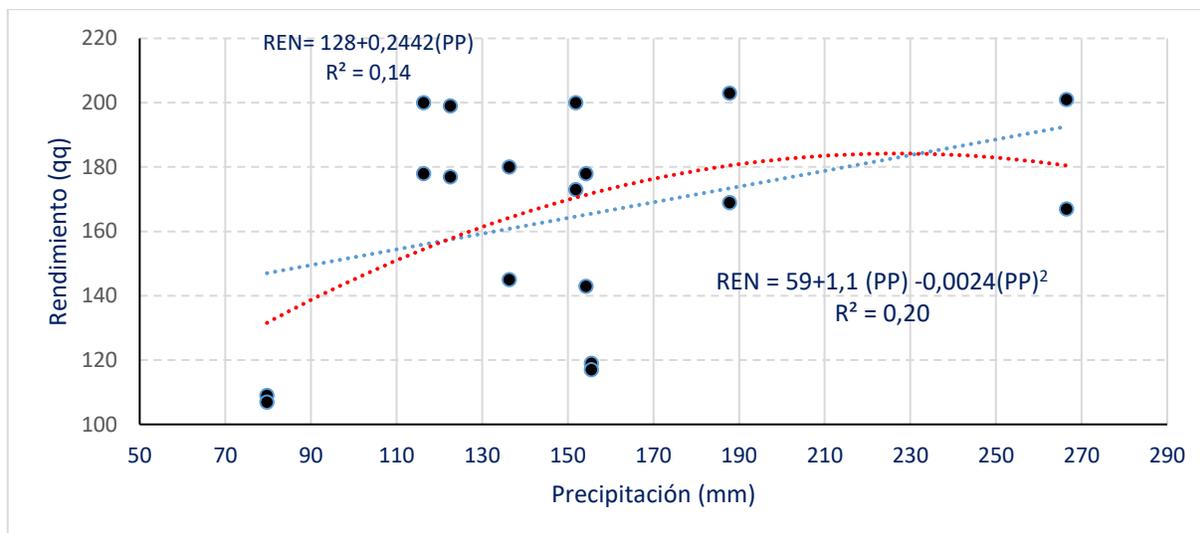


Ilustración 1 Cálculo del modelo lineal y polinómica. Fuente: Elaboración propia.

El modelo lineal contribuye de manera muy baja presentando un valor  $R^2$  de 0.14, mientras que el modelo cuadrático o polinómica se ajusta para lograr la optimización teniendo un valor de  $R^2$  de 0.20, esta relación es la que se espera en datos cuantitativos.

### Análisis de Regresión.

Tabla 8. Análisis de regresión para elaborar el modelo de rendimiento.

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-194.52	481.19	-0.40	0.69	-1220.15	831.12	-1220.15	831.12
HR% (X1)	3.96	5.91	0.67	0.51	-8.64	16.56	-8.64	16.56
Precipitación (X2)	0.17	0.19	0.91	0.38	-0.23	0.57	-0.23	0.57

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtiene los datos estadísticos de regresión se procede a evaluar los resultados obtenidos para conocer el modelo que se empleara para el rendimiento, donde se parte de los datos conseguidos de la intercepción, humedad relativa y la precipitación considerando el valor de sus coeficientes, dando como resultado el siguiente modelo:

$$\mathbf{REN = -195 + 3.6HR + 0.17PP}$$

Al ser negativo el primer dato no afecta a la ecuación, ya que no tiene un valor biológico el dato, solamente es un dato independiente del intercepto cuando se realiza un análisis de regresión lineal.

Tabla 9. Datos pronosticados en relación del rendimiento.

<i>Pronóstico</i>	15	19	16	15	16	15	17	15	17	15	19	16	15	16	15	17	15	17
<i>Ren (Y)</i>	0	4	7	7	1	7	0	1	5	0	4	7	7	1	7	0	1	5

Fuente: Elaboración propia

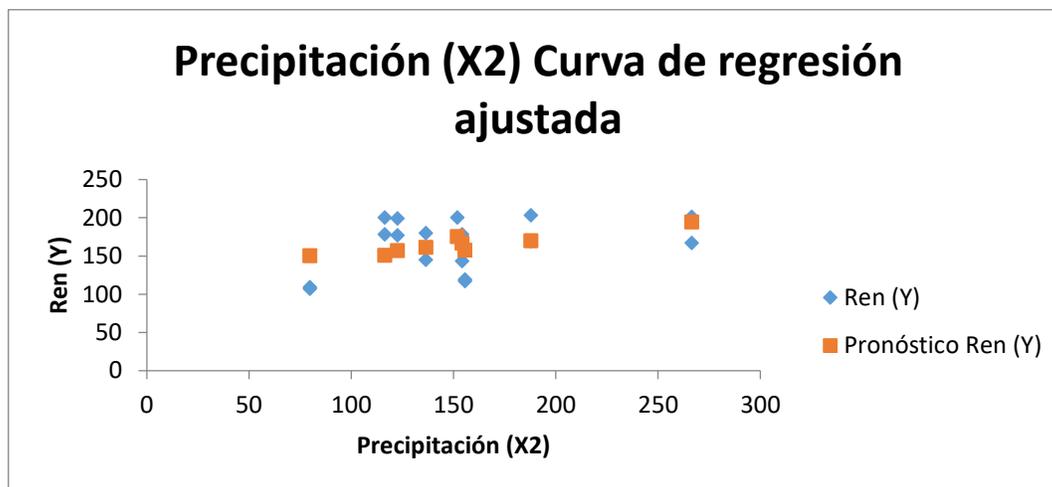


Ilustración 2 Curva de regresión ajustada entre el rendimiento y lo que se pronostica. Fuente:

Elaboración propia.

Con los valores pronosticados, se pretende observar si el modelo empleado presenta relación con dicho factor.

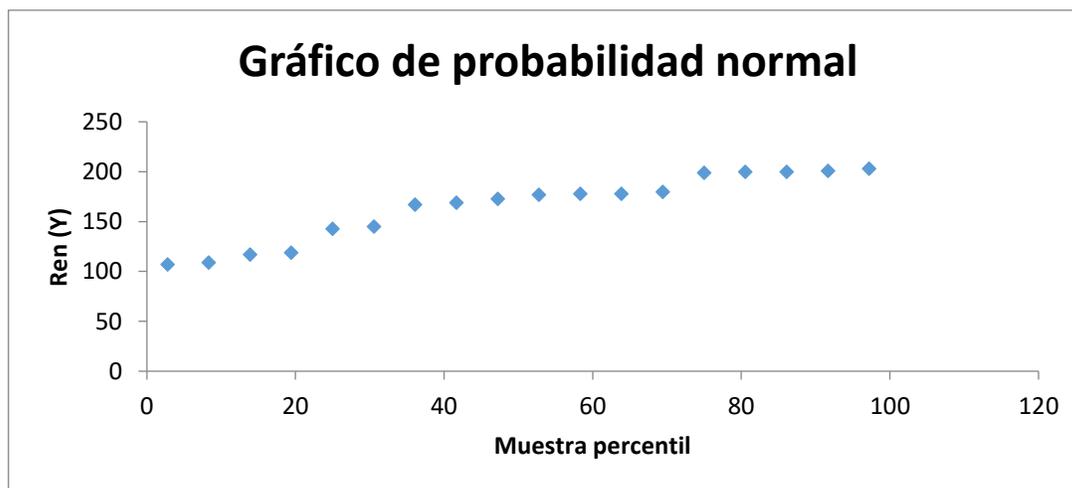


Ilustración 3. Percentiles. Fuente: Elaboración propia.

El gráfico representa que el percentil de menor valor es de 2.777, representando así, el 2.777% del rendimiento del *Zea mays* con un valor de 107, encontrándose de esta manera debajo del 97.222% que representa un valor de rendimiento de 203 o menos. En el análisis estadístico para la obtención de percentil se procede a ordenar los datos de forma ascendente, entonces, se tiene un número de muestra de 18 datos donde se pretende calcular el percentil, para esto se le resta 0.5 a la posición que ocupe dicho percentil para luego dividirlo para el número de muestras y posteriormente multiplicarlo por 100; así obtenemos que el percentil 25 ocupa el puesto 5 y se le resta 0.5, dando un valor de 25, es decir que el 25% del rendimiento en el maíz tienen un valor de 143 o menos. En el caso de tener un percentil 75 (P75), quiere decir, que el 75% del rendimiento del maíz presenta un valor de 199 o menor.

**Modelo para el cálculo del REN.  $REN = -195 + 3.96 HR + 0.17 PP$**

Tabla 10. Cálculo del modelo.

<b>HR% (X1)</b>	<b>Precipitación (X2)</b>	<b>Ren (Y) observado</b>	<b>Ren (Y) Predicción</b>	<b>Residuo</b>	<b>REN</b>
83.6	79.72	109	150	-41	150
86.6	266.5	201	194	7	193
84.5	154.22	178	167	11	166
83.4	122.57	199	157	42	156
83.9	136.35	180	161	19	160
82.1	155.52	119	157	-38	157
83.9	187.78	203	170	33	169
82.1	116.33	200	151	49	150
86.8	151.85	200	175	25	175
83.6	79.72	107	150	-43	150
86.6	266.5	167	194	-27	193
84.5	154.22	143	167	-24	166
83.4	122.57	177	157	20	156
83.9	136.35	145	161	-16	160
82.1	155.52	117	157	-40	157
83.9	187.78	169	170	-1	169
82.1	116.33	178	151	27	150
86.8	151.85	173	175	-2	175

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado los cálculos del rendimiento, aplicando el modelo que más se ajustó para llevar a cabo la investigación del rendimiento, se compara si tienen relación con los valores del Ren (Y) Predicción para evaluar si el modelo empleado es el correcto, evidenciando así que el modelo tiene un completo funcionamiento presentando valores similares a los que se pronostican.

Tabla 11. Balance hídrico multianual.

Balance Hídrico	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2011	42.48	26.98	-16.36	115.7	-34.90	-19.42	-22.54	-32.32	-41.92	-36.94	-41.56	-20.74
2012	229.64	331.50	255.58	64.52	84.42	24.10	-20.44	-31.72	-40.00	-36.04	-34.12	-17.08
2013	170.60	83.88	246.02	38.54	-14.56	-20.20	-23.62	-30.88	-42.16	-29.50	-34.30	-25.90
2014	131.24	116.04	70.58	3.14	20.84	-11.80	-28.90	-32.80	-32.92	-27.52	-33.16	-14.20
2015	45.70	6.52	19.28	15.24	21.70	39.80	38.20	61.28	62.24	59.28	61.32	28.32
2016	160.84	262.60	41.88	80.88	-34.18	-29.26	-25.66	-38.62	-25.78	-38.20	-45.28	-33.76
2017	246.30	239.46	61.22	33.54	26.70	-7.90	-22.96	-26.08	-32.32	-22.30	-31.00	-11.56
2018	8.20	250.16	78.68	-5.98	-10.30	-22.48	-24.40	-35.50	-37.90	-36.88	-33.70	13.94
2019	120.32	194.22	112.86	8.78	34.14	4.34	-12.94	-35.08	-38.56	-26.68	-28.84	-34.60

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de las variables climáticas y edáficas como son precipitación efectiva, evapotranspiración real, escurrimiento superficial, percolación profunda y la cantidad de agua almacenada en el suelo se elabora el modelo de balance hídrico que tiene como punto de arranque la ecuación de balance de masa, donde una vez que se obtiene dichas variables se procede a realizar el procesamiento de datos climatológicos y edáficos, logrando así realizar el cálculo en la ecuación para obtener el balance hídrico multianual.

Como referencia se tomó la época de lluvia, donde es usual que se realicen las siembras. Aunque el maíz puede presentar cierta resistencia a las dificultades climáticas durante el periodo vegetativo y de maduración; esto no quiere decir que su rendimiento no se vea afectado a lo largo del proceso de cosecha, como es el caso que se presenta en el periodo de floración, donde al existir déficit hídrico provoca que exista una disminución de los números de granos por mazorca afectando al rendimiento del cultivo (Rivetti, 2006).

Por lo general, las siembras se proyectan para los meses donde existe mayor disponibilidad de agua, pero en ciertos casos no se produce esta condición como pasó en el año 2013, 2015, 2016, donde en la época de lluvia comenzó a mostrar valores bajos de balance en sus últimos meses del periodo lluvioso en relación con el de otros años; dicha condición se debe a la cantidad de precipitación que se aportaba era en ocasiones menor a la que salía, dándonos así déficit hídrico en meses donde la siembra se vería afectada en su proceso, disminuyendo su rendimiento viéndose en la tabla 12. Entonces se dice que al ser mayor la precipitación sobre la evapotranspiración existe un alto excedente de agua, en el caso de ser lo contrario que la evapotranspiración sea mayor a la precipitación, causa que se generen déficit hídrico teniendo así que integrar tecnología de riego.

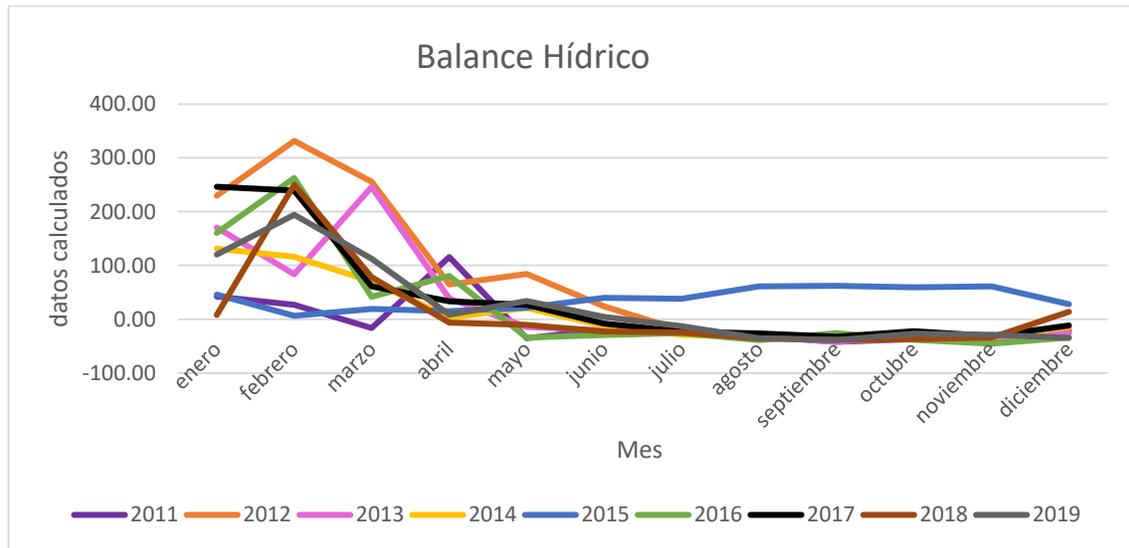


Ilustración 4 Balance hídrico multianual. Fuente: Elaboración propia.

Los valores que se observan indican cómo se va comportando el balance hídrico del cultivo de maíz duro en el paso de los años y en cada uno de sus meses, donde los datos con los valores más altos se deben a la cantidad de agua que aporta y asimilada por el suelo, y los más bajos son los periodos de déficit o sequía.

Tabla 12. Rendimiento multianual.

Años	Rendimiento quintales/ha	Rendimiento calculado
2011	108.00	150
2012	184	193
2013	160.50	166
2014	188	156
2015	162.50	160
2016	118	157
2017	186.00	169
2018	189	150
2019	186.50	175

Fuente: Elaboración propia.

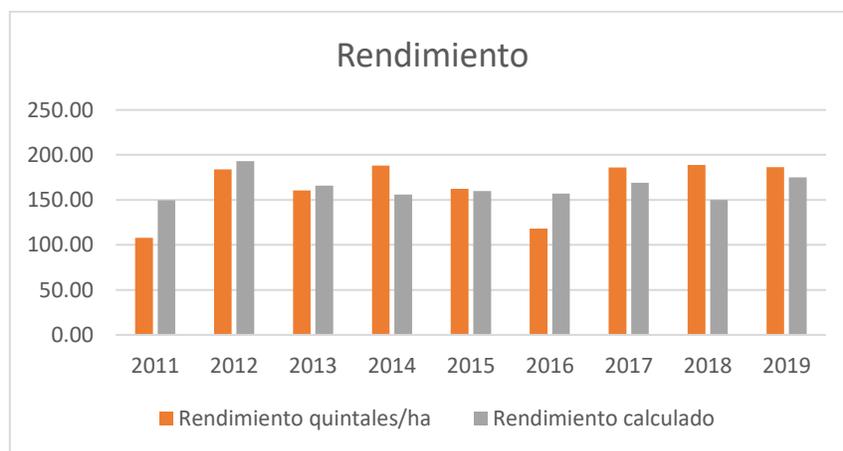


Ilustración 5 Rendimiento multianual. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los rendimientos obtenidos por datos multianuales y el rendimiento calculado por medio de un modelo estadístico, se elaboró a partir de las variables de humedad relativa y precipitación que eran la que más concordancia presentaban entre sí de acuerdo al grado de libertad que se le dio, dando como resultado, valores calculados que se aproximan al rendimiento de la localidad.

## CONCLUSIONES.

Se generó un modelo de rendimiento para la evaluación y la relación que lleva con el balance hídrico respecto a los parámetros climatológicos y edáficos, sustentados en análisis estadísticos para poder detectar y describir que variables son las que tienen más aproximación al parámetro que se quiere

tener. Permite a su vez explicar el por qué las variables seleccionas, a partir de un análisis de correlación y de regresión.

Los resultados del balance hídrico determinan que su evaluación está ligada con las variables climatológicas, y a su vez, tienen relación con el rendimiento del cultivo. Además, el balance guarda una estrecha relación con la disponibilidad del agua, misma que beneficia al aprovechamiento del cultivo en el proceso de siembra y cosecha.

En general, realizar modelaciones mediante herramientas son muy útil, ya que permite equiparar como ha ido progresando el sector de la agricultura en su interacción con los diferentes escenarios climáticas que en la actualidad se presentan y la importancia que posee tener un apropiado manejo de los recursos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos tropicales, 30(2), 00-00.
2. AGRIMED. (2014). Sistema Nacional de Referencia demandas de agua en la agricultura. Centro de Agricultura y Medioambiente. Obtenido de [http://www.agrimed.cl/informaciones\\_detalle.asp?Solicitud=2&Tipo\\_Contenido=Proyectos%20en%20ejecuci%F3n](http://www.agrimed.cl/informaciones_detalle.asp?Solicitud=2&Tipo_Contenido=Proyectos%20en%20ejecuci%F3n)
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).
4. Alquicira, J. (2017). Análisis de correlación. Conogasi. Obtenido de <http://conogasi.org/articulos/analisis-de-correlacion-2/>
5. Ayaviri, T. (1996). Clasificación de suelos por el sistema de fertilidad y capacidad (FCC), en los módulos agroforestales implementados en el trópico de Cochabamba. Bolivia: Plurinational State Of FAO.

6. Borbor, A. (2018). Producción de materia verde de cuatro híbridos de maíz (*Zea mays* L.). (Tesis de grado). Universidad de las Fuerzas Armadas. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15124/5/T-ESPESD-002888.pdf>
7. Caiza Farinango, J. B. (2015). Determinación del balance hídrico en el cultivo de maíz duro (*Zea mays* L.). (Bachelor's thesis, Quito). Universidad Central del Ecuador.
8. Cespón, M. F., Curbelo, G. M., Varela, D. C., & García, A. B. (2015). Control de la temperatura para la prevención de plagas poscosecha en la conservación de granos. *Ingeniería y desarrollo*, 33(2), 216-237.
9. Cleves, J. A., Toro, J., & Martínez, L. F. (2016). Agricultural water balances in agroclimatic simulation models. An analytical review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149-163.
10. Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado-Fernández, M. E. (2019). Estimación Del Balance Hídrico De Una Cuenca Andina Tropical. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 56-69.
11. FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014a). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Obtenido de Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
12. FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma, Italia: FAO. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
13. FAO-Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2009). Tierras y aguas. FAO Organizational chart. Obtenido de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>

14. Flores, H. E., & Ruíz, J. A. (1998). Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 219-229.
15. González Subiabre, B. G. (2017). Modelación del balance hídrico, para mejorar la gestión del recurso en la cuenca del Río Limarí. Universidad de Chile.
16. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2016). Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales. Bolivia. MMAG: [https://www.researchgate.net/publication/318646276\\_Guia\\_metodologia\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_balances\\_hidricos\\_superficiales\\_version\\_resumida](https://www.researchgate.net/publication/318646276_Guia_metodologia_para_la_elaboracion_de_balances_hidricos_superficiales_version_resumida)
17. Morejón Miranda, Y. M., Vega Carreño, M. B., Escarré Esteve, A., Peralta Vital, J. L., Quintero Silveiro, A., & González Piedra, J. I. (2015). Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 94-108.
18. Nicolas G., Bernal V., Romero C., Rodríguez C., & Josse J. (2019). Expectativas de la cosecha de maíz 2019. *Revista El Productor*. Obtenido de: <https://elproductor.com/wp-content/uploads/2019/04/revista%20abril%20maiz.pdf>
19. Ordóñez, M. R., Gely, M. C., & Pagano, A. M. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171.
20. Rivetti, A. R. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 38(2), 25-36.
21. Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., Ramírez Díaz, J. L., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Manríquez Olmos, J. D., ... & Mora Orozco, C. (2011). Climate change and its implications in five producing areas of maize in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (Especial 2), 309-323.

22. Sacón, F. C., Chávez, J. C., Dueñas, J. C., Mendoza, J., Álava, G. L., & García, G. C. (2018). Aplicación foliar de micronutrientes y fitorreguladores como complemento de la fertilización edáfica en maíz amarillo duro. *La Técnica*, (19), 19-30.
23. Sánchez, I., Esquivel, G., López, A., Inzunza, M., & catalán, E. (2014). Balance hídrico como fundamento para toma de decisiones en agricultura de temporal. *Agrofaz* 11-1.
24. SECME. (2015). Medidas de asimetría y curtosis. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32032/secme-21228.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. Tapia, C., Paredes, N., Naranjo, E., Tacán, M., Monteros, Á., Pérez, C., & Valverde, Y. (2017). Caracterización morfológica de la diversidad de razas de *Zea mays* en la Sierra norte de Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

#### **DATOS DE LOS AUTORES.**

1. **Mario Enmanuel Lucas Zambrano.** Ingeniero Hidráulico. Maestrante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [mlucas7313@pucesm.edu.ec](mailto:mlucas7313@pucesm.edu.ec)
2. **Jesús Enrique Chavarría Párraga.** Magister en Riego y Drenaje. Profesor de Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Hidráulica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [jchavarría@pucem.edu.ec](mailto:jchavarría@pucem.edu.ec)
3. **Luis Alberto Duicela Guambi.** Magíster en Ciencias Agrícolas. Docente de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí-ESPAM MFL, Coordinador del Grupo de Investigación en Fitotecnia de la ESPAM. E-mail: [luis.duicela@espam.edu.ec](mailto:luis.duicela@espam.edu.ec)

**RECIBIDO:** 4 de febrero del 2021.

**APROBADO:** 17 de febrero del 2021.