



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL
BALANCE HÍDRICO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS,
ECUADOR**
TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA
VERA CAÑAR ANA BELÉN

TUTORA
ZAMBRANO ZAVALA LEILA ELIZABETH

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ZAMBRANO ZAVALA LEILA ELIZABETH, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL BALANCE HÍDRICO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR, realizado por la estudiante VERA CAÑAR ANA BELÉN; con cédula de identidad N°0928794239 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Oce. Leila Elizabeth Zambrano Zavala, M. Sc.

Guayaquil, 29 de octubre del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL BALANCE HÍDRICO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR", realizado por la estudiante VERA CAÑAR ANA BELÉN, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Luis Morocho Rosero, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Karla Crespo León, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Blgo. Raúl Arízaga Gamboa, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Oce. Leila Zambrano Zavala, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 28 de octubre del 2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Edison y Anita, siempre presente en toda decisión que haya tomado, a mi querida hermana Nikole, por ser inspiración en muchas actividades que he realizado, los amo por siempre.

Agradecimiento

Agradezco a Dios de todo corazón, por su misericordia hacia mi vida y la de mi familia, a mis amorosos padres, por todo el esfuerzo realizado durante mi vida estudiantil, a mi hermana por ser mi mejor amiga, a la Sra. Olimpia Carranza por el apoyo y paciencia incondicional. Y quedo agradecida a cada uno de los docentes que brindaron su conocimiento desinteresadamente, a favor de los estudiantes, Dios les bendiga siempre.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **VERA CAÑAR ANA BELÉN**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL BALANCE HÍDRICO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR”** para optar el título de INGENIERA AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, octubre/28/2021

VERA CAÑAR ANA BELÉN
C.I. 0928794239

Índice general

PORTADA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general.....	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
Resumen.....	14
Abstract	15
1. Introducción	16
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	19
1.2.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2.2 Formulación del problema.....	23
1.3 Justificación de la investigación.....	23
1.4 Delimitación de la investigación	24
1.5 Objetivo general	25
1.6 Objetivos específicos	25
2. Marco teórico	26
2.1 Estado del arte	26
2.2 Bases teóricas.....	30
2.2.1 Recurso hídrico.....	30

2.2.1.1	Disponibilidad del recurso hídrico	30
2.2.2	Ciclo hidrológico	31
2.2.2.1	Fases del ciclo hidrológico	32
2.2.2.1.1	<i>Evaporación</i>	32
2.2.2.1.2	<i>Condensación</i>	33
2.2.2.1.3	<i>Precipitación</i>	33
2.2.2.1.4	<i>Agua almacenada</i>	34
2.2.2.1.5	<i>Contención</i>	34
2.2.2.1.6	<i>Escorrentía superficial</i>	34
2.2.2.1.7	<i>Infiltración</i>	35
2.2.2.1.8	<i>Transpiración</i>	35
2.2.2.1.9	<i>Intercepción</i>	35
2.2.2.1.10	<i>Evapotranspiración</i>	35
2.2.2.1.11	<i>Escorrentía subterránea</i>	36
2.2.2.2	Factores que intervienen en el ciclo hidrológico	37
2.2.2.2.1	<i>Temperatura</i>	37
2.2.2.2.2	<i>Radiación solar</i>	37
2.2.2.2.3	<i>Humedad</i>	38
2.2.3	Balance hídrico	38
2.2.3.1	Ecuación general del balance hídrico	39
2.2.3.2	Componentes de la ecuación de balance hídrico	39
2.2.3.3	Métodos para estimación de evapotranspiración	41
2.2.4	Cambio climático	42
2.2.4.1	Efectos del cambio climático	43
2.2.5	Variabilidad climática	45

2.3 Marco legal	46
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador	46
2.3.2 Acuerdo de París.....	46
2.3.3 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	47
2.3.4 Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua.....	47
2.3.5 Lineamientos para Planes de Cambio Climático de gobiernos autónomos.....	48
3. Materiales y métodos.....	50
3.1 Enfoque de la investigación	50
3.1.1 Tipo de investigación.....	50
3.1.2 Diseño de investigación	51
3.2.1 Variables	51
 3.2.1.1. Variable independiente	51
 3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i>	51
3.2.2 Tratamientos	51
3.2.3 Diseño experimental	51
3.2.4 Recolección de datos	52
 3.2.4.1. <i>Recursos</i>.....	52
 3.2.4.2. <i>Métodos y técnicas</i>	52
3.2.5 Análisis estadístico.....	54
4. Resultados.....	60
4.1 Corrección y validación de datos climatológicos de precipitación y temperatura registrados en la estación meteorológica Milagro (M0037).....	60

4.1.1	Relleno de datos faltantes de precipitación y temperatura	60
4.1.2	Análisis de la precipitación	61
4.1.3	Comportamiento de la precipitación	62
4.1.4	Comportamiento de la temperatura	64
4.1.5	Heliofanía.....	66
4.2	Cálculo del balance hídrico climatológico mediante el método de Thornthwaite para describir escenarios e impactos de cambio climático en el lugar de influencia.	67
4.2.1	Cálculo de Balance Hídrico Climatológico.....	67
4.2.2	Escenarios de Cambio Climático.....	69
4.2.3	Índice de Aridez.....	73
4.3	Diseño del balance hídrico del cantón Milagro mediante Sistemas de Información Geográfica para la identificación de evidencias del calentamiento global.	74
5.	Discusión.....	76
6.	Conclusiones	79
7.	Recomendaciones	80
8.	Bibliografía	81
9.	Anexos.....	94
9.1	Anexo 1. Figuras y tablas complementarias.	94
9.2	Anexo 2: Mapas elaborados mediante SIG de Balances Hídricos Mensual y Anual del Cantón Milagro.	99

Índice de tablas

Tabla 1. Datos faltantes, mes de marzo.....	55
Tabla 2. Relleno de datos faltantes	56
Tabla 3. Evaluación del coeficiente de correlación mediante Chaddock	57
Tabla 4. Cálculo de la ETP mediante método de Thornthwaite	67
Tabla 5. Estimación del Balance Hídrico del cantón Milagro	68
Tabla 6. Estimación de ETP en el escenario optimista.....	70
Tabla 7. Balance Hídrico en el escenario optimista	70
Tabla 8. Estimación de la ETP para el escenario pesimista	72
Tabla 9. Balance Hídrico del escenario pesimista	72
Tabla 10. Índice de Aridez del Balance Hídrico Normal, Escenario optimista, Escenario pesimista	74
Tabla 11. Comparación de balances hídricos	75
Tabla 12. Suma de precipitaciones para aplicación del análisis de doble masa. .	96
Tabla 13. Series de precipitaciones de la estación meteorológica Milagro (M0037) INAMHI	97
Tabla 14. Series de temperatura de la estación meteorológica Milagro (M0037) INAMHI	98

Índice de figuras

Figura 1. Análisis de correlación lineal para las precipitaciones en el mes de marzo.....	60
Figura 2. Análisis de correlación lineal para la Temperatura (°C) en el mes de agosto.....	61
Figura 3. Análisis de Doble Masa de las series de precipitación de la Estación Milagro frente a Datos de la NASA.....	62
Figura 4. Comportamiento de la precipitación (mm) durante el periodo 1980-2019	63
Figura 5. Media climatológica mensual de precipitación (mm) para el cantón Milagro.....	64
Figura 6. Comportamiento de la temperatura durante el periodo 1980 - 2019.....	65
Figura 7. Comportamiento de la temperatura media mensual de la estación meteorológica Milagro (M0037).....	66
Figura 8. Horas de brillo solar propuestas por la FAO.....	66
Figura 9. Representación del Balance Hídrico Climatológico del cantón Milagro.. ..	69
Figura 10. Representación del Balance Hídrico del escenario optimista	71
Figura 11. Representación del Balance Hídrico del escenario pesimista	73
Figura 12. Mapa de área de estudio.....	94
Figura 13. Anomalías observadas en la temperatura de las superficies durante 1850-2012.....	94
Figura 14. Tabla teórica de valores de horas luz para método Thornthwaite.....	95
Figura 15. Mapa Balance Hídrico mes de enero Cantón Milagro	99
Figura 16. Mapa Balance Hídrico mes de febrero Cantón Milagro	100

Figura 17. Mapa Balance Hídrico mes de marzo Cantón Milagro.....	101
Figura 18. Mapa Balance Hídrico mes de abril Cantón Milagro	102
Figura 19. Mapa Balance Hídrico mes de mayo Cantón Milagro	103
Figura 20. Mapa Balance Hídrico mes de junio Cantón Milagro	104
Figura 21. Mapa Balance Hídrico mes de julio Cantón Milagro	105
Figura 22. Mapa Balance Hídrico mes de agosto Cantón Milagro	106
Figura 23. Mapa Balance Hídrico mes de septiembre Cantón Milagro	107
Figura 24. Mapa Balance Hídrico mes de octubre Cantón Milagro.....	108
Figura 25. Mapa Balance Hídrico mes de noviembre Cantón Milagro	109
Figura 26. Mapa Balance Hídrico mes de diciembre Cantón Milagro	110
Figura 27. Mapa Balance Hídrico Anual Cantón Milagro	111

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo principal analizar la influencia del cambio climático en el balance hídrico del cantón Milagro, debido a que, su principal actividad es el sector agrícola, por ello, es importante conocer el comportamiento del agua para un óptimo desarrollo de los cultivos. Para evaluar el comportamiento del agua se elaboró el balance hídrico climatológico, determinando la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite, usando valores de precipitación y temperatura durante el periodo 1980 a 2019. Entre los datos de las variables se registraron una correlación ≥ 0.7 , indicando la consistencia entre los datos de la estación Milagro (M0037) y datos de la NASA. En el balance hídrico normal, la precipitación fue de 1446.7 mm, mientras que, para los escenarios, optimista y pesimista, fue de 1302.03 mm y 1157.4 mm, respectivamente. Para el balance normal, la evapotranspiración real fue de 924.88 mm, lo que indica un 63.9% de la precipitación total, y para los escenarios climáticos fue de 1041.2 mm y 1157.4 mm, que señala el 79.9% y el 100% de la precipitación total anual, determinando que, para el escenario pesimista se evapotranspirará el total de la precipitación en un largo plazo. En el análisis del balance hídrico, se evidencia que, en ciertos intervalos de tiempo existe un déficit del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de los cultivos.

Palabras clave: Balance hídrico, Cambio Climático, Precipitación, Thornthwaite.

Abstract

The main objective of this study was to analyze the influence of climate change on the water balance of the Milagro canton, because its main activity is the agricultural sector, therefore, it is important to know the behavior of water for optimal crop development. To evaluate the behavior of the water, the climatological water balance was elaborated, determining the evapotranspiration through the Thornthwaite method, using precipitation and temperature values during the period 1980 to 2019. Among the data of the variables, a correlation ≥ 0.7 was recorded, indicating the consistency between data from Milagro station (M0037) and NASA data. In the normal water balance, precipitation was 1446.7 mm, while, for the optimistic and pessimistic scenarios, it was 1302.03 mm and 1157.4 mm, respectively. For the normal balance, the real evapotranspiration was 924.88 mm, which indicates 63.9% of the total precipitation, and for the climatic scenarios it was 1041.2 mm and 1157.4 mm, which indicates 79.9% and 100% of the total precipitation. annual, determining that, for the pessimistic scenario, the total precipitation will evaporate in the long term. In the analysis of the water balance, it is evident that, in certain time intervals, there is a deficit of the water resource to satisfy the needs of the crops.

Keywords: Water balance, Climate Change, Precipitation, Thornthwaite.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

En los últimos 130 años, el planeta Tierra ha aumentado su temperatura aproximadamente 0,85 °C, debido a la actividad humana, el uso de energía de los combustibles fósiles y su relación con el aumento de la demanda por satisfacer necesidades, las mismas que contribuyen al incremento de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, asociados con el calentamiento de la superficie de la tierra, que provoca retención de calor en las capas de la atmosfera y de este modo acontece la alteración del clima a nivel mundial. (Blackburn, 2007; OMS, 2018).

Mediante un informe emitido por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018) los expertos manifiestan que la temperatura del planeta podría alcanzar los 4°C a finales de este siglo, si se continúa al ritmo actual, el calentamiento global llegaría a 1,5°C entre los años 2030 y 2052. Por su parte, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2015) afirma que el incremento de la presión demográfica, daño a servicios ecosistémicos, variabilidad y cambio climático son los factores que influyen en el aumento de riesgos de inundaciones. A nivel global, se observa las consecuencias del cambio climático, aunque se presentan de distinta manera a nivel regional.

La alteración en el sistema climático es evidente, ha aumentado la temperatura de la atmosfera y del océano, en contraste, ha disminuido el volumen de glaciares (IPCC, 2013); el patrón de lluvias está cambiando, se observa que los fenómenos meteorológicos son cada vez más intensos y continuos, este cambio en los patrones climáticos tiene efectos en ecosistemas globales (Mulhollem et al., 2016; OMS, 2018). Entre 1902 y 2015, el nivel medio global del mar aumentó 16 centímetros (Endersby, 2019). Las emisiones de gases a la atmosfera son

absorbidas por el océano y ecosistemas terrestres, pero suele ser sensible al clima (Cox et al., 2000).

El clima se comporta de forma monótona en el ciclo anual, es decir, la estación lluviosa sigue a la estación seca, pero varios expertos aseguran que hoy en día, no es predecible el patrón climático, ya que torrenciales lluvias ocasionan inundaciones que suelen estar relacionados a eventos de El Niño, y que también manifiesta escasez de agua e incendios forestales (Göltenboth & Erdelen, 2006). El cambio climático es un desafío serio y a largo plazo que tiene el potencial de afectar en todo el mundo y a medida que avanza, actúa sobre la atmósfera, alterando varios ciclos, entre ellos, el ciclo hidrológico (Blackburn, 2007; EPA, 2017).

En Reino Unido, el cambio climático es innegable, debido a que se han presentado los diez años más cálidos de esa región desde 2002, con olas de calor como en verano de 2018, ahora son 30 veces más propensas como consecuencia del cambio climático (Endersby, 2019). Los riesgos relacionados con este tipo de anomalías se centran en la posición geográfica, vulnerabilidad, así como la adaptación y mitigación (IPCC, 2018).

El suministro de agua más importante hacia los continentes es la precipitación, sin embargo, no se distribuye de igual forma en el planeta, ya que depende del clima y ubicación geográfica (Del Toro et al., 2014; Kottek et al., 2006). El deterioro y alteración del ambiente trae consigo desastres naturales, entre ellos, inundaciones por causa de intensas lluvias y su tiempo de duración, esto provoca que los cuerpos de agua se saturen y excedan el límite de carga, lo que origina desbordamientos (Rossel et al., 1996).

Las inundaciones son eventos naturales que afectan a varios países, entre ellos, a las poblaciones de China, Estados Unidos, Brasil y Guatemala, produce consecuencias devastadoras. Asia presentó inundaciones que generó gran cantidad de pérdidas de cultivos, a finales de 1990, primordialmente, en China, India, Bangladesh y Vietnam (Vergara et al., 2011). Asimismo, uno de los países más afectados en África Oriental es Tanzania, la razón principal, es que las ciudades no están preparadas para enfrentar este tipo de riesgos de desastres y presentan vulnerabilidad a eventos relacionados con el clima (Erman et al., 2019).

Incluso, el cambio climático a nivel global, es la causa de eventos climáticos que ocasionan desastres en el archipiélago de Indonesia (Göltenboth & Erdelen, 2006). Las inundaciones debido a su potencial para causar pérdidas, tanto económicas como humanas, se consideran muy significativas. En el año 2014, los daños por inundaciones en Estados Unidos resultaron aproximadamente de \$ 2.86 mil millones (Saharia et al., 2017).

En Ecuador, durante los años 1982 y 1983 se realizó un proyecto de cartografía de inundaciones donde se concluyó que entre las zonas inundadas se encuentran Guayaquil, Milagro, Babahoyo, Salitre y Daule, razón por la que al tener suelos arcillosos no permite la infiltración de gran cantidad de agua proveniente de las precipitaciones en el lapso de la estación lluviosa (Acosta & Winckell, 1983).

En el 2008, el país presenció mayor duración de la época lluviosa, lo que trajo consigo desbordamiento de ríos, inundaciones, deslizamiento de terrenos. Los cantones Salitre, Naranjal, Bucay, El Triunfo y Milagro, resultaron los más afectados ante el fenómeno, debido a la temporada y a distintos aspectos como, localización de los cantones, construcción de viviendas en la ribera de ríos, tala

de árboles, falta de obras de mitigación, infraestructura sanitaria deficiente, los cuales se convirtieron en factores de riesgo para los habitantes (Ministerio de Salud Pública, 2008). Se han suscitado varios eventos climáticos relacionados con el fenómeno de El Niño, dejando a su paso, varias pérdidas de toda índole.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El Cambio Climático es un fenómeno que genera alteraciones en los ecosistemas del planeta y produce el cambio a largo plazo en los patrones climáticos promedio en todo el mundo, por ello, según Milly et al. (2008) ya no se puede suponer estacionariedad, y hace que los registros históricos solo proporcionen información sobre el clima actual o pasado y no se pueda utilizar para informar sobre los desafíos futuros del agua (Verbist et al., 2020).;no obstante, los procesos de desarrollo industrial, los cuales influyen en el clima, y amenazan con la vida de humanos en el planeta, se han acrecentado y acelerado (Secretaría de Ambiente, 2009).

Aproximadamente desde 1800, los humanos han colaborado a la emisión de dióxido de carbono y otros componentes de efecto invernadero en la atmósfera, por lo tanto, se ha logrado que la temperatura global incremente, y origine cambios en el clima. Antes de la Revolución Industrial, la temperatura media en todo el planeta se mantuvo estable en torno a 14°C; hoy en día, la temperatura del mundo está ascendiendo a más de un grado centígrado, desde que sucedió la industrialización; la temperatura global anual en 2019 fue de 1,1 °C por encima de los niveles que existían entre 1850-1900 (Endersby, 2019; OMM, 2019).

Los técnicos en el tema de cambio climático argumentan, que la temperatura mundial no debe ascender más de 2°C para finales de este siglo, si la intención

es evitar impactos irreversibles (ONU, 2020). Ante las evidencias del calentamiento global, hay mucha preocupación, por ende, abarca la atención en varios espacios de discusión y decisión (Ochoa et al., 2015). El IPCC concluyó en que los diferentes peligros hidrometeorológicos, tales como, ciclones tropicales, tornados, inundaciones repentinas, entre otros, son muestra significativa y acertada de cambio climático (WMO, 2014), de la misma manera, afecta el inicio, duración e intensidad de estos eventos extremos (Verbist et al., 2020).

Aunque en los países desarrollados se origina la mayor concentración de emisiones de gases de efecto invernadero, las consecuencias del cambio climático podrían ser desproporcionadas en los países pobres y en desarrollo, ya que las naciones en desarrollo padecerán los efectos graves, debido a que tienen menos recursos para adaptarse a estas variaciones (Correa & Comim, 2013; Endersby, 2019). La evaluación de los impactos del cambio climático se realiza calculando el cambio en las condiciones de sequía entre períodos futuros e históricos mediante el uso de modelos climáticos múltiples (Gu et al., 2019).

Muchos factores intervienen en la disponibilidad futura de agua (Winstanley et al., 2006); se necesita agua para actividades como la agricultura, producción de energía, navegación, recreación e industrias. El aumento de temperatura en el planeta, cambios en las precipitaciones y escorrentía, y el aumento del nivel del mar perjudica el suministro y calidad de agua (EPA, 2017), puesto que, varias actividades humanas se focalizan principalmente en la agricultura y almacenamiento de agua y su distribución para la supervivencia (Francisco et al., 2016).

La producción agrícola en Ecuador, representa la mayor fuente de trabajo y apoyo a la economía de las familias ecuatorianas, por tanto, esta labor es muy

importante; el factor climático es el componente característico y definitivo de la actividad a nivel nacional, debido a su ubicación geográfica, distintos niveles de temperatura y precipitación, y simboliza una virtud competitiva en la actividad. Cabe recalcar, que también se suscitan varios fenómenos climatológicos que dificultan el buen desarrollo de los cultivos, en consecuencia, de la posición geográfica del país (Cadier & Gómez, 1997).

El escurrimiento y distribución de precipitaciones en el territorio costero es irregular, en efecto, el 85% de precipitación se presenta en los cuatro primeros meses del año, de modo que el 15% se dispone en los meses restantes, aunque el patrón de lluvias puede variar drásticamente de un año a otro. Sin embargo, al incidir la desigualdad interanual en los patrones de precipitación, se designa responsable al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Sur), en efecto, este evento genera sequías frecuentes, y también inundaciones con excesiva continuidad (Rossel et al., 1996).

Cadier & Gómez (1997) manifiestan que las inundaciones en la zona costera se generan por la debilidad del relieve que complica el avenamiento de las aguas-lluvia, y que este inconveniente se acrecienta cuando aparece el fenómeno “El Niño” que podría aumentar de forma considerable las precipitaciones. Por su parte, Rossel et al. (1996) indican que la deforestación, erosión de cuencas de los ríos, taponamiento de esteros son factores antrópicos que interfieren en las inundaciones.

Milagro, es un cantón perteneciente a la provincia del Guayas, en el área de productividad, es uno de los pilares agrícolas, siendo su mayor afinidad su progreso en la agricultura a nivel nacional. Las actividades principales de la ciudad son la industria azucarera, el comercio y la agricultura, en relación con los

cultivos y flujo comercial de distintos productos agrícolas, como, caña de azúcar, piña, cacao, banano, arroz, plátano, entre otras clases de frutas tropicales (GAD Municipal de Milagro, 2015; Lascano & León, 2011).

Por otra parte, en 2017, el cantón sufrió estragos de una de las inundaciones más fuertes en su historia (desde aquel desastre que ocurrió en los años 1997-1998 debido a la presencia del fenómeno de El Niño), en donde se registraron 104,1 mm de precipitación en un solo día, en la estación meteorológica del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), en ese año la suma de precipitación de un mes llegó a 551,5 mm (Paucar, 2017). Asimismo, se desbordó el río Milagro, colapsó el sistema de alcantarillado y se inundó el cantón casi en un 100% (El Telégrafo, 2017).

En el cantón, las inundaciones son el principal problema, particularmente en el área rural, aunque en la zona urbana marginal del cantón se han implementado muros de contención, no obstante se necesitan otras actividades para que se contrarreste la vulnerabilidad (GAD Municipal de Milagro, 2015). Las estaciones seca y lluviosa se presentan en el cantón al mismo periodo de tiempo con el resto del país, además que la estación seca frecuente con fuerte sequía o con eventos adversos como inundaciones, lo que origina pérdidas a los agricultores del lugar, siendo este cantón sustentado en su mayoría de habitantes, mediante la agricultura (Lascano & León, 2011).

Debido a los problemas de los eventos climatológicos suscitados en el cantón, se plantea analizar la influencia del cambio climático sobre el balance hídrico durante un periodo de 40 años, de modo que se pueda determinar escenarios futuros en relación a las variables climáticas y el comportamiento de las mismas.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del cambio climático en la alteración del balance hídrico climatológico del cantón Milagro, Guayas, Ecuador?

1.3 Justificación de la investigación

El cambio climático influye en la disponibilidad de agua, el análisis de escenarios proporcionará estimaciones de la cantidad de agua disponible en la superficie y acuíferos, y la porción necesaria para los consumidores (Winstanley et al., 2006). Esta variación del clima trae consigo muchas consecuencias, afecta a las personas de todo el mundo de distintas formas, el nivel de impacto depende de las características climatológicas de la zona y la riqueza del país (Endersby, 2019). Winstanley et al. (2006) aseguran que con datos históricos se puede caracterizar sequías futuras, en base a lo ocurrido en el pasado ya que puede volver a ocurrir en el futuro, en cambio, Verbist et al. (2020) refieren que debido a los estragos del cambio climático ya no es certero caracterizar posibles escenarios.

El conocimiento de la necesidad y disponibilidad hídrica en una zona, es relevante para concretar la planificación agrícola y ambiental, contemplando la importancia del uso racional de los recursos naturales, de modo que, se considera el monitoreo del agua como suministro decisivo para destinarlos a actividades antropogénicas, industriales y de agricultura, sobre todo en la conservación del ambiente (Santos et al., 2013; Targa et al., 2019). La disponibilidad y sostenibilidad de un suministro de agua adecuado y confiable es esencial para la salud pública, ambiental y económica (Kelly et al., 2018). El recurso agua es valioso para el sustento de los habitantes, que utilizan a diario en múltiples

labores diarias, del cual hay factores antrópicos que asignan irregularidad en el ciclo natural del agua (Loor, 2017).

El cantón Milagro, ubicado en la provincia del Guayas, al ser una zona con alta productividad, es necesario el conocimiento de la disponibilidad de agua para proveer a los habitantes de cantidades necesarias, y para el crecimiento de los cultivos, debido a que al contener suelos con pendientes relativamente bajas y ondulaciones poco pronunciadas, por consiguiente, los efectos implican la generación de inundaciones durante la época lluviosa, y de este modo haya riesgo en los sectores poblados, debido a la vulnerabilidad que presentan (GAD Municipal de Milagro, 2015).

La población de Milagro ante una amenaza como las inundaciones debe tomar medidas para la prevención (Lasso, 2018). La poca disponibilidad de información acerca de análisis de balance hídrico, debido a que hay escasos estudios que abarcan este tema y la demanda de los recursos hídricos en el cantón Milagro, en condición de las principales actividades que se realizan en el mismo, por ello, es imprescindible la comprensión de la dinámica del agua y analizar la influencia del Cambio Climático en el balance hídrico de la zona, ya que permitirá conocer la cantidad de agua disponible en el lugar, y el suelo para el desarrollo óptimo de cultivos, con relación a la humedad, y de este modo la producción sea eficaz y disminuyan riesgos de desastres, con la finalidad de manejar y gestionar de forma adecuada este valioso recurso.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** el análisis se realizará en el Cantón Milagro, ubicado en la provincia del Guayas:
 - Norte: Lat. 1°58'3" S, Long. 79°31'12" W

- Sur: Lat. 2°14'24" S, Long. 79°32'24" W
 - Este: Lat. 2°6'41" S, Long. 79°27'54" W
 - Oeste: Lat. 2°4'1" S, Long. 79°38'43" W
- **Tiempo:** el tiempo aproximado es de 3 meses.
 - **Población:** Este trabajo está orientado para los habitantes del cantón Milagro, aproximadamente 166.634 personas, según datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010).

1.5 Objetivo general

Analizar la influencia del Cambio Climático en el balance hídrico climatológico mediante el método de Thornthwaite para la identificación de evidencias del calentamiento global en el cantón Milagro, Guayas, Ecuador.

1.6 Objetivos específicos

- Corregir y validar datos climatológicos de precipitación y temperatura registrados en la estación meteorológica Milagro (M0037) facilitados por el INAMHI.
- Calcular el balance hídrico climatológico mediante el método de Thornthwaite para describir escenarios e impactos de cambio climático en el lugar de influencia.
- Diseñar el balance hídrico del cantón Milagro mediante Sistemas de Información Geográfica para la identificación de evidencias del calentamiento global.

1.7 Hipótesis

El aumento de precipitación es el principal factor climatológico que influye en la alteración del balance hídrico del cantón Milagro.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Medeiros et al. (2012) realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de las condiciones del agua como resultado del calentamiento global, analizando la disponibilidad futura de agua del municipio de Cabaceiras, se efectuó mediante el cálculo del balance hídrico aplicando el método de Thornthwaite y Mather; concluyó con que la distribución anual de precipitación del municipio presenta tendencia de equilibrio, la cual es mayor que la disminución de la precipitación de escenarios futuros. El promedio anual histórico, con 86 años de observación, es de 336.6 mm, siendo el trimestre más lluvioso marzo, abril, mayo y junio, el mes de abril presenta altos valores debido a factores meteorológicos que actúan en la región, que durante varios años presentaron precipitaciones anómalas y de alta intensidad debido a la presencia del fenómeno de La Niña.

Santos et al. (2013) desarrollaron una investigación con el propósito de determinar el balance hídrico espacial del cultivo como herramienta de planificación ambiental e hidroagrícola en la cuenca de Santa Rita, en el noroeste de São Paulo, utilizando el software ArcView para establecer componentes del balance hídrico del cultivo, como, precipitación, evapotranspiración del cultivo y capacidad de agua disponible, el balance hídrico ponderado del cultivo se elaboró mediante el método Thornthwaite y Mather, teniendo como resultado que la cuenca tiene nueve meses de deficiencia de agua (abril a diciembre), lo que define prácticas de riego limitadas debido a que tienen en uso 92.7% del flujo otorgable.

Por otra parte, Aguilar (2016) en su análisis de disponibilidad hídrica en relación con problemas de acceso de agua, empleo el método propuesto por

Thornthwaite y Mather para estimar el balance hídrico en la cuenca alta del río Turrubares, en Costa Rica, obtuvo datos de cuatro estaciones meteorológicas, dando como resultado, que la época seca se extiende de diciembre a abril, puesto que, la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas, por el contrario, los mayores aportes de agua se dan en los meses de mayo a noviembre.

Una investigación que se efectuó en Indonesia por Nugroho et al. (2019), con la finalidad de analizar el balance hídrico Thornthwaite y Mather en la cuenca Tambakbayan, para comprender su capacidad hidrológica; estudiaron tres áreas de la cuenca (río arriba, medio y abajo), cuyo resultado demostró que en mayo-junio empiezan los meses secos y culminan en septiembre-octubre; el mes de agosto, suele ser el mes más seco, con un déficit que alcanza los 179,2 mm, aun así, la precipitación anual es más alta que la evapotranspiración anual, también se muestra que la zona baja de la cuenca, tiene menor capacidad de retención de agua.

En la investigación realizada por Targa et al. (2019), con el objetivo de evaluar el balance hídrico en el suelo cubierto por un bosque tropical en regeneración durante 30 años, se calculó la capacidad de agua disponible en el suelo, utilizando valores de capacidad de campo y punto de marchitez, que se determinó mediante la curva de humedad del suelo. La precipitación se caracterizó por un máximo de 454 mm en enero de 2017 y ninguna lluvia en julio de 2016. El balance hídrico del suelo del área de bosque tropical, hasta 120 cm de profundidad, mantuvo el contenido de agua del suelo cerca de su capacidad máxima, que es, 173 mm.

El estudio realizado en Colombia por Velásquez y Poveda (2019), denominado “Estimación del balance hídrico de la región Pacífica Colombiana”, la escorrentía

media anual la estimó a través de la ecuación de balance hídrico superficial, dispuso los registros de caudales 4 ríos: Atrato, Baudó, San Juan, Mira y Patía, de las estaciones de distintas entidades, así como para la estimación de datos de la precipitación, y evapotranspiración, usando métodos de Choudhury y Budyko, a partir de información de ETP. En efecto, se concluye que se muestra equilibrio en la ecuación de balance hídrico en los ríos Atrato y Baudó, con errores de 10-20%, al contrario, del río Mira, con errores de 40%.

El estudio de Caguana (2015) titulado “Determinación del balance hídrico en la microcuenca del Río Atapo”, estableció tres zonas en la microcuenca, instalando seis estaciones meteorológicas temporales, para registrar datos de precipitación, evapotranspiración, realizó pruebas de escorrentía e infiltración. Para determinar el balance hídrico se empleó la fórmula propuesta por Nicolay, en el 2007, en el manual de manejo sustentable de cuencas hidrográficas; como resultado se suscitó que la precipitación promedio es menor que la evapotranspiración, con ello, llegó a la conclusión que la microcuenca presenta déficit hídrico.

Carchi (2015) en su trabajo “Elaboración de un balance hídrico en la cuenca del río Machángara”, evaluó la disponibilidad hídrica de la cuenca, con tres variables climatológicas, precipitación, temperatura y evapotranspiración, para el cálculo de ETP utilizó el método de Thornthwaite, elaborando un balance para cada mes del año, dividiendo la cuenca en alta y baja. Como resultado, para la cuenca alta existe una demanda que cumple el 100% a excepción de los meses de agosto y septiembre, en cambio, para la cuenca baja se observan resultados de déficit hídrico en los meses enero, junio, julio, agosto y septiembre, dentro del balance, lo que podría traer consigo efectos a futuro, por la falta del recurso agua.

El estudio de Loor (2017), acerca de la estimación del balance hídrico en las microcuencas Huayrapungu y Quillosa del Bosque Protector Aguarongo, consistió en indagar el comportamiento hídrico. Para el desarrollo, se ocuparon datos de precipitación, durante un periodo de 34 años. Se realizaron dos tipos de balance, el primero calculado de manera empírica con cálculos manuales y el segundo con el programa ArcGIS. Se utilizó la metodología de Thornthwaite para obtener datos de evapotranspiración potencial. Ambos balances hídricos demostraron similitud, en los meses desde febrero a mayo, la precipitación es mayor a la evapotranspiración, los meses agosto y septiembre, son los meses más secos.

Finalmente, en el trabajo elaborado por Duque et al. (2019), con el objetivo de estimar el balance hídrico para una cuenca tropical en los Andes de Ecuador, se indagó sobre el cambio temporal de precipitación y temperatura de la microcuenca Chaquilcay, ubicada en Gualaceo. Para identificar la variabilidad temporal de la temperatura y la precipitación, se obtuvo datos de cuatro estaciones meteorológicas del INAMHI desde 1982 a 2015. Se utilizó un análisis de doble masa para validar datos de precipitación y temperatura y completar valores faltantes. Se empleó el método Thornthwaite para evaluar la evapotranspiración. En el resultado del balance hídrico, durante la estación seca, los déficits de agua ocurren en enero, junio, julio, agosto y septiembre, mientras que los otros meses retribuyen las demandas de la evapotranspiración, siendo abril el mes de mayor precipitación con 102,5 milímetros.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Recurso hídrico

Todos los cuerpos de agua en el mundo, componen el recurso hídrico, entre ellos, mares, lagos, ríos, acuíferos, manantiales, capas de hielo y lagunas. Se los encuentra de modo disponible, renovable y finito en la naturaleza, y por su fácil acceso en muchos lugares, está a disposición del ser humano, ya sea, en la atmosfera, en océanos, en la superficie o debajo de ella. El agua es considerada como recurso, cuando se utiliza para satisfacer necesidades humanas (Fennell, 2013). Estos recursos tienen un valor esencial es la vida del ser humano, sin embargo, debido al mal uso, la calidad de este bien ambiental, se ha deteriorado, debido al incremento de la actividad antropogénica.

En Ecuador, la cobertura del recurso hídrico es de 80% de los habitantes, aunque, el porcentaje de la población que tiene acceso sostenible y calidad mejorada de las fuentes de suministro es de 87,62% (ENCA, 2016).

2.2.1.1 Disponibilidad del recurso hídrico

La disponibilidad del recurso hídrico, tanto a nivel superficial como a nivel subterráneo se precisa como oferta aprovechable, en la que se utiliza una porción de agua con un propósito específico y que estará disponible a largo plazo. De acuerdo, al término oferta aprovechable, se logra comprender que es el recurso hídrico, que luego de la precipitación y de cumplir con la demanda (en varios casos lo demandado por los cultivos), queda disponible para ser usado para las distintas actividades económicas, sociales, culturales, ambientales, que realizan las personas (Aguilar, 2016).

2.2.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se constituye por procesos continuos de agua en el planeta, tanto de movimiento como de transferencia, que abarca cuerpos de agua, océanos, la atmosfera terrestre (Loor, 2017). También se lo reconoce como ciclo del agua, y especifica el movimiento continuo y cíclico del agua, del mismo modo, el agua puede cambiar su estado, entre ellos, líquido, vapor, hielo, en varias etapas del ciclo (Sánchez, 2004).

Cabe recalcar que, al referir la palabra ciclo, se entiende que no tiene punto de inicio específico, sin embargo, es recomendable empezar por la evaporación, la cual se genera en los mares, ríos, embalses, lagos, es decir, que incluye todo cuerpo de agua que se encuentre en el mundo. Del mismo modo, se da la evapotranspiración, que se refiere a la composición del agua que se pierde por evaporación del suelo y de cobertura vegetal (Carrasco, 2014).

Debido a la intervención directa de la energía del sol sobre la superficie de la tierra y de las características climáticas de la zona, tales como, temperatura, humedad, viento, radiación, se originan los cambios de estado que soportará el agua, en los procesos de evapotranspiración y evaporación, es decir, de líquido a gaseoso (Hämmerly, 2001).

En el proceso de evaporación del agua de la superficie terrestre y de los mares, por la formación de nubes, el agua retorna a la Tierra a modo de lluvia, nieve o granizo, sobre los mares regresa la mayor parte. Por consiguiente, la precipitación que incide sobre los continentes, se restituye al mar y favorece a los pobladores del lugar donde circula. Aunque en las zonas áridas puede no llover durante periodos de tiempo, en los trópicos la precipitación suele ser abundante

mientras ocurre la estación lluviosa, por ende, la distribución de la precipitación no es uniforme sobre la superficie terrestre (Carchi, 2015).

Por otra parte, la precipitación al acaecer es interceptada por la vegetación, pero también caerá en terreno libre, y si el agua se escurre en la superficie, se infiltra o se encharca, dependerá del tipo de suelo y la pendiente del lugar. Por tanto, se dirige hacia los ríos y consecuentemente al mar, el agua que se escurre en la superficie. En consecuencia, el agua que se infiltra en el suelo, la cual es importante para la utilización de las plantas, es retenida ya que obedece la estructura, textura del mismo, y la capacidad de carga. Luego, cuando se satura la capacidad del suelo de almacenamiento el agua infiltrada procede a convertirse en escorrentía superficial, otra porción pasa como flujo subsuperficial y el resto del agua cumple la función de percolar hacia los cuerpos de agua subterráneos, acuíferos (Salvador, 2005).

2.2.2.1 Fases del ciclo hidrológico

Son algunos factores que componen las fases del ciclo hidrológico y que hacen posible la presencia de este ciclo en los ecosistemas del planeta.

2.2.2.1.1 Evaporación

La evaporación es la transformación del estado líquido del agua al estado gaseoso. Se produce cuando parte de la lluvia, que cae en forma de precipitación, es interceptada por la vegetación, generando el efecto de la evaporación, asimismo, otra porción de esta lluvia llega al suelo, donde se evapora por condiciones de humedad del terreno y finalmente la lluvia que se escurre hacia los ríos, lagos y mares también sufre el proceso de evaporación (Custodio et al., 2000).

En los grandes cuerpos de agua, entre ellos, lagos, mares y océanos, inicia el ciclo del agua, donde la radiación solar beneficia a que se origine vapor de agua. Este vapor, se eleva a las capas de la atmósfera, lugar en el que se enfría y se condensa dando lugar a la formación de nubes (Sánchez, 2004).

2.2.2.1.2 Condensación

El vapor de agua asciende a las capas superiores de la atmósfera mediante las corrientes de aire, en el que la baja temperatura ocasiona que el vapor se condense y origine la formación de nubes (Caguana, 2015).

2.2.2.1.3 Precipitación

Las nubes al no poder retener el agua y por efecto de la gravedad hacen que el agua en diversos estados precipite hacia la superficie de la Tierra, a este descenso se considera como precipitación (Loor, 2017).

Durante el proceso de precipitación, en el ascenso del agua a la atmósfera, el vapor de agua pierde calor, promoviendo el proceso de condensación y generando gotas pequeñas de agua, en las nubes. En la etapa de circulación, las pequeñas gotas se unen con otras gotas diminutas, produciendo gotas de mayor tamaño, que al fusionarse y por su peso, precipitan en diferentes formas, como, lluvia, granizo o nieve (Chereque, 2011).

Los procesos convectivos, de estratificación y orográficos son los mecanismos encargados de producir la precipitación. El proceso convectivo es originado por las fuertes corrientes ascendentes, que ocasionan variación en la atmósfera para una zona específica, de modo que produce precipitaciones intensas, por el contrario, los procesos de estratificación, se vinculan a vientos ascendentes más débiles generando precipitaciones menos intensas, mientras que, los procesos orográficos son causados por la ascensión de una columna de aire húmedo, que

al colisionar con obstáculos, tal como una montaña, asciende, y se enfría el aire promoviendo la saturación del vapor de agua, finalmente, se origina la lluvia (Loor, 2017).

2.2.2.1.4 Agua almacenada

El agua almacenada en los glaciares y casquetes polares de la capa de hielo continental, es agua congelada almacenada por millones de años, esto se debe, a que parte de la precipitación cae a modo de nieve (Caguana, 2015).

2.2.2.1.5 Contención

Del agua que precipita a la superficie del planeta, no toda alcanza a llegar a la tierra. Parte de la precipitación, se evapora en el descenso y otra parte es retenida, debido a la vegetación, carreteras, entre otras, y después se evapora. El agua que llega a la superficie terrestre, se conserva en lagos, embalses y charcos, es decir, almacenamiento superficial, retornando luego en forma de vapor a la atmosfera (Sánchez, 2004).

2.2.2.1.6 Escorrentía superficial

A la lluvia que precipita y que es improbable que sea absorbida debido a su intensidad, se denomina escorrentía. El agua de escorrentía se traslada siguiendo la pendiente del suelo, dejando como rastro a su paso la erosión en algunos casos. Generalmente, los suelos que se consideran buenos absorben gran parte del líquido, lo que provoca que el agua de escorrentía no ocasione daños; por el contrario, al ser impermeables los suelos arcillosos, el agua fluye por las laderas hasta hallar un curso normal en los ríos u otro cuerpo de agua (Leitón, 1985).

2.2.2.1.7 Infiltración

Mediante los poros y grietas del suelo o rocas, penetra parte del agua que proviene de la precipitación, de modo que, se rellena de agua el medio poroso (Caguana, 2015).

El desplazamiento del agua desde la superficie hacia las capas subsuperficiales del suelo se denomina infiltración. Cuando los suelos superan el nivel máximo de absorción, disminuye la capacidad de infiltración, dando inicio a la escorrentía (Montaner & Sánchez, 1988).

2.2.2.1.8 Transpiración

Del agua que precipita y se infiltra en el suelo, es absorbida por las raíces de las plantas, una pequeña porción de agua es retenida para el crecimiento de las mismas y una mayor porción transpira (Sánchez, 2004). La transpiración es la evaporación por medio de las hojas, la alimentación de las plantas se lleva a cabo por el transcurso de agua al interior de ellas, y este recorrido se debe a la transpiración (Ordóñez, 2011).

2.2.2.1.9 Intercepción

En el ciclo, al momento de que la vegetación impide o retiene el flujo de precipitación cuando está destinada a llegar al suelo, se define como intercepción (Caguana, 2015).

Generalmente, la cantidad de precipitación que es interceptada por la cubierta vegetal o por objetos superficiales, no llega al suelo, debido a que se incorpora y humedece estas superficies, y finalmente se evapora (Ordóñez, 2011).

2.2.2.1.10 Evapotranspiración

Al efecto de la transpiración de las plantas y evaporación del suelo hacia la atmosfera, se denomina evapotranspiración; es esencial en el ciclo hidrológico,

porque se involucra en el balance calorífico y distribución de energía, y que mediante ella se origina la variación de los estados del agua (Maderey, 2005). El conocimiento de la evapotranspiración en una zona va a aproximar la cantidad de agua disponible, por ende, se puede recomendar mejor uso del recurso hídrico.

Ordóñez (2011) afirma que la evapotranspiración es la cantidad de agua en su totalidad, que ha pasado a vapor por causa de la vegetación, implicando también a la evaporación desde el suelo, evaporación del agua interceptada y la transpiración de las hojas.

En efecto, se usa la palabra evapotranspiración para incluir ambos fenómenos, evaporación y transpiración, debido a que no es fácil separarlos (Caguana, 2015).

2.2.2.1.11 Escorrentía subterránea

El agua que no se evapora ni es absorbida por las raíces, por acción de la gravedad o por proceso de percolación llega a la zona saturada, de ese modo, compone el agua subterránea, aunque, es posible que esta acumulación de agua, ascienda a la atmosfera por medio de la evapotranspiración, al momento de que el nivel saturado esté cercano a la superficie (Sánchez, 2004).

Finalmente, en ocasiones se genera descarga de acuíferos que convergen en caudales de ríos, también confluyen con manantiales, suelen llegar al mar y a otros cuerpos de agua mediante descarga directa, de ese modo, se cierra el ciclo hidrológico (Maderey, 2005).

Cabe recalcar, que la renovación del agua durante las distintas fases del ciclo, no son similares, ejemplo de ello es la renovación de agua de los océanos que lo hace cada 3000 años, por el contrario, el vapor atmosférico se renueva cada 10 días (Salvador, 2005). En realidad, cuando se introduce la actividad del ser

humano en el ciclo del agua, provoca cambios significativos, modificando el curso del agua, entre otros impactos.

2.2.2.2 Factores que intervienen en el ciclo hidrológico

Existen varios factores que intervienen en este ciclo, entre ellos, temperatura, radiación solar, horas de brillo solar, humedad.

2.2.2.2.1 Temperatura

Chereque (2011) sustenta que, en el ciclo hidrológico, la temperatura es un factor relevante, debido a que interviene en cada una de las fases. Este factor climático influye como parámetro de las fórmulas empíricas para estimación de evaporación en el cálculo del balance hídrico (p. 4).

Por su parte, Ibáñez (2013) afirma que la temperatura disminuye en la ascensión a la troposfera y sufre cambios en relación con las características geográficas y topográficas de un lugar, aunque, la temperatura oscila en torno a los 0.6°C por cada 100 metros de altitud en su gradiente vertical (p. 32).

En la disponibilidad de agua también influye la temperatura, a mayor temperatura, mayor es la cantidad de agua que se pierde de la superficie terrestre y retorna a la atmósfera por medio de la evapotranspiración (ISWS, 2013).

2.2.2.2.2 Radiación solar

La radiación solar es un proceso físico establecido por la transmisión de energía a modo de ondas electromagnéticas dirigidas a la tierra y que se relacionan con la temperatura del planeta, poseen propiedades como longitud y frecuencia. El sol es la principal fuente de este tipo de energía y es esta radiación solar que involucra el 99.97% de energía de los fenómenos meteorológicos, por esta razón, la radiación solar es un factor que está involucrado directamente en el ciclo de agua (Sánchez G., 2014).

2.2.2.2.3 *Humedad*

La cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmosfera y que es generado por la evaporación principalmente en cuerpos de agua, tales como, océanos, ríos, lagos, suelos húmedos o plantas, es representado por la humedad atmosférica (Chereque, 2011).

De acuerdo a Bateman (2007), la humedad conlleva distintas relaciones, por ello, la humedad relativa es la relación entre presión de vapor real y de saturación, por otra parte, la humedad absoluta representa la masa de vapor de agua comprendida en una unidad de volumen, y la humedad específica interpreta la relación entre masa de vapor y masa de aire húmedo, es decir, aire y vapor (pp. 19-20).

2.2.3 Balance hídrico

Baldión (1987) sustenta que el balance hídrico es el cálculo de las necesidades de agua mediante el uso de los datos reales de precipitación e información climatológica.

En la opinión de otro autor, afirma que entre la atmosfera y la superficie del suelo se suscita un movimiento cíclico del agua, a ello, se considera balance hídrico, involucrando variables como precipitación, evaporación y escorrentía, las cuales al momento de aplicar la ecuación de balance hídrico, incluyendo la evapotranspiración, se expresan como volumen de agua (Whittow, 1984).

Por su parte, la UNESCO (2006), manifiesta que el balance hídrico analiza el principio de la conservación de masas, esto significa que, para cualquier volumen de agua y durante un periodo de tiempo, entre las entradas y salidas existirá cambios en el volumen almacenado, por ende, el estudio de este balance involucra mediciones de almacenamiento de flujos de agua, la desigualdad de las

entradas y salidas en su totalidad, lo que es igual a los cambios en el almacenamiento (p. 9).

El método de balance hídrico también se emplea en investigaciones con relación a la estimación del agua, de modo que, permite originar criterios para detectar y resolver problemas, asimismo es una herramienta que proporciona la evaluación de modo cuantitativo del recurso hídrico, a nivel temporal y espacial (Aguilar, 2016).

2.2.3.1 Ecuación general del balance hídrico

En el equilibrio hídrico, además de la precipitación (P) y la evapotranspiración (ET), también el suelo tiene un papel importante en este balance. Una cantidad de precipitación se escurre sobre la superficie o en profundidad (E= escorrentía) y otra cantidad puede almacenarse en el suelo, la variación en el almacenamiento se identifica como DS, por lo tanto, la ecuación del balance hídrico puede expresarse como:

$$P = ET + E + DS$$

Asimismo, este balance hídrico es esencial en la vida de animales, plantas y su distribución, inclusive en zonas donde se tiene conocimiento que siempre hay agua disponible, en un estudio se manifestó que suelen ocurrir periodos de déficit hídrico, del que, su frecuencia, gravedad y duración se altera de un año a otro (Göltenboth & Erdelen, 2006).

2.2.3.2 Componentes de la ecuación de balance hídrico

Con respecto a los componentes de la ecuación del balance hídrico, es necesario reconocer el significado y características de cada uno:

Precipitación: este factor se puede medir desde un instrumento denominado pluviómetro, y se encarga de calcular la precipitación líquida o pluviometría. Se

mide en milímetros o en litros por metro cuadrado, debido a que, un litro en un envase de un metro cuadrado asciende un milímetro (Carchi, 2015). También se pueden encontrar el registro de datos de precipitación en las estaciones meteorológicas y climatológicas del lugar.

Evapotranspiración: este fenómeno depende de: características del suelo, atmosfera y vegetación, se mide en milímetros, dentro de un periodo, ya sea por año o por mes. Entre las teorías que analizan la evapotranspiración se encuentran las que profundizan el flujo de calor absorbido mediante un balance de energía y por otra parte, las que determinan el flujo de vapor de agua que asciende a la atmosfera, desde estas teorías emergen varias fórmulas empíricas y algoritmos que calculan un aproximado de la evapotranspiración potencial, real y de referencia (Hämmerly, 2001).

- **Evapotranspiración Potencial (ETP)**, es la máxima cantidad de evapotranspiración que se produce sin llegar a estrés hídrico, es decir, en condiciones óptimas cuando el terreno tiene cubierta vegetal densa (UNESCO, 2006).
- **Evapotranspiración de Referencia (ETo)**, representa la pérdida de agua, por causa de evapotranspiración de cultivos, como gramíneas y pastos, que cubren el suelo totalmente y surge el efecto debido a las características climáticas de una zona (FAO, 2009).
- **Evapotranspiración Real (ETR)**, se refiere a la cantidad que realmente se evapotranspira de agua, es decir, lo que se halla en el terreno, el efecto varía dependiendo de factores climáticos como viento, radiación, ya que, depende sobre todo de la disponibilidad de agua y de la vegetación y su característica (SENAMHI, 2013).

En referencia a métodos para el cálculo de la evapotranspiración son varios, entre los que se pueden nombrar, métodos directos e indirectos. Los métodos indirectos son aquellos que emplean formulas empíricas, que tiene relación con varias condiciones o parámetros del lugar y características climáticas, y los métodos directos mencionan la estimación de la evapotranspiración real, y ocupan instrumentos denominados lisímetros (Loor, 2017).

2.2.3.3 Métodos para estimación de evapotranspiración

Para la estimación de la evapotranspiración existen varios métodos, tanto directos como indirectos, los métodos indirectos involucran fórmulas empíricas, entre ellas se puede nombrar Thornthwaite, Jensen-Heise, Penman-Monteith, Hargreaves, que usan distintas variables (Hämmerly, 2001). Para el análisis del balance hídrico del presente trabajo investigativo se utilizará el método de Thornthwaite y Mather (1957).

Método de Thornthwaite y Mather

Este método es uno de los más utilizados debido a su forma sencilla para calcular la evapotranspiración en función de la temperatura media mensual, duración del día o latitud, se establecen cálculos detallados de balance de agua, mensual y anual. En zonas más o menos húmedas contribuyen con valores aceptables, aunque para las zonas áridas o semiáridas no funciona bien (Carchi, 2015).

En 1942, Thornthwaite describió una idea sobre la evapotranspiración potencial (ETP), manifestando que la misma se relaciona con la pérdida de agua por la evaporación directa de agua desde el suelo y la transpiración de la vegetación. Después en 1948, especificó que el cálculo de la ETP de un mes se corrige mediante la temperatura media y de un coeficiente que indique el número de días

de aquel mes, y el tiempo de horas luz, así se adquirirá la corrección de la ETP para el cálculo del balance hídrico (Sánchez, 2004). La ecuación sin corregir se presenta de la siguiente manera:

$$ETP_{\text{sin corregir}} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

Donde la **ETP** es la ETP sin corregir mensual en mm/mes, la **t** indica la temperatura media mensual (°C), la **I** comprende el índice de calor anual y el término **a** es un coeficiente que equivale a $675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0,49239$.

$$ETP = ETP_{\text{sin corregir}} \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde **ETP** es la Evapotranspiración potencial corregida, **N** representa el número máximo de horas de sol que depende del mes y la latitud de la zona, la **d** simboliza el número de días del mes.

En lo que se refiere a las horas de sol se estima por medio de una tabla teórica que muestra la FAO según la latitud, que se encuentra adjunta en la sección Anexos.

2.2.4 Cambio climático

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) indica que el cambio climático es como cualquier variación en el clima a través del tiempo, ya sea debido a su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”.

La definición de “cambio climático” para el IPCC (2013) representa en la condición climática una alteración visible, de la que se observa un cambio en el promedio y variabilidad de las propiedades climáticas, durante un periodo largo de tiempo, decenios o más años, por ejemplo, se registraron anomalías en el

promedio global de temperaturas en la superficie, terrestres y oceánicas combinadas, desde 1850 hasta 2012 (Ver Figura 13).

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1992) afirma que el cambio climático es la alteración de los patrones climáticos a largo plazo y se atribuye esta consecuencia debido a las actividades del ser humano y su empeño por mejorar la economía que conlleva al consumismo, por ende, una mayor producción e incremento de industrias y con ello las actividades, alterando la composición atmosférica mundial.

Las consecuencias del cambio climático se logran observar a nivel mundial, entre ellos, el derretimiento de casquetes polares, precipitaciones y fenómenos extremos irregulares, tales como, inundaciones, huracanes, sequías, incendios, entre otros, afectando de tal manera a los ecosistemas y al ser humano. Cuando suceden las inundaciones amenazan a muchas personas, esto ocurre con el incremento del nivel del mar (OMM, 2019). Varios eventos climáticos extremos de inusual ocurrencia son interesantes y críticos para los ecosistemas. Estos eventos se describen por noches frías, tormentas fuertes, sequía extrema, eventos de El Niño y La Niña, y vientos fuertes (Göltenboth & Erdelen, 2006).

Como lo indica Ochoa et al. (2015), el cambio climático comprende cambios en la aparición e intensidad de los eventos extremos, por ejemplo, sequías, olas de calor, inundaciones, lluvias torrenciales. Corresponde a ello, que ahora se pretende reducir riesgos de desastres ya que se vinculan al tiempo y clima, por eso, se relaciona con la adaptación al cambio climático.

2.2.4.1 Efectos del cambio climático

La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, 2020) confirma que el cambio climático tiene consecuencias en el ambiente, los

glaciares han disminuido, el hielo se está derritiendo antes de tiempo, los ecosistemas de plantas y animales se han modificado, ascenso del nivel del mar, intensas olas de calor. Según varios informes del IPCC, la capacidad de mitigación y adaptación al cambio surgirá con el tiempo, aunque son cada vez más observables los efectos:

- Las temperaturas incrementarán, y no será de manera uniforme en todas las regiones de la Tierra.
- Alteración en los patrones de lluvia, en varias zonas del mundo se supone incremento y otras experimentarían disminución de precipitaciones.
- Olas de calor y sequías prolongadas, serán intensas en algunos lugares y las olas de frío menos intensas y sucederá viceversa.
- Los huracanes serán intensos y duraderos. Se pronostica que los índices de precipitaciones y de las tormentas se intensificarán al ritmo que el clima siga incrementando su temperatura.
- Probablemente el Ártico se quede sin hielo, se predice que el océano Ártico no presente hielo a mediados del presente siglo en el verano, y conlleve a una elevación del nivel del mar.

En efecto, las temperaturas en el Ártico aumentan con más rapidez que la media global. Se prevé veloz disminución del hielo marino, las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida, cuyo índice de deshielo incrementan cada vez más, han acrecentado en 1,8 cm el mar a nivel mundial desde 1990, del igual modo concuerda con los mayores escenarios de calentamiento global. Si estos valores continúan, se predice que aumente en 17 cm el nivel del mar y que 16 millones de personas sufran las consecuencias de las inundaciones (WMO, 2020).

2.2.5 Variabilidad climática

El planeta ha soportado alteraciones en su clima, durante millones de años, produciendo cambios en el ambiente, sobre todo en variables climáticas como temperatura, humedad, presión, vientos, precipitaciones, nubosidad. Cuando estos cambios son originados de manera natural se refiere a variabilidad climática, por el contrario, cuando se debe a la acción del hombre se denomina cambio climático antropogénico (Ochoa et al., 2015).

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2014) enuncia que la variabilidad climática se analiza por las desviaciones de estadísticas climáticas en un lapso de tiempo específico con respecto a la estadística para el mismo periodo de tiempo a largo plazo. Estas desviaciones se conocen también como anomalías.

Mediante, el análisis de la variabilidad climática se mide el rango de variación de elementos climáticos, como temperatura y precipitación, y su alteración de un año a otro, este cambio suele ser mayor a nivel regional o local en comparación con el nivel global (CIIFEN, 2016).

Usualmente se relaciona el término clima y variabilidad climática, pero el asunto es que difieren. Verbigracia de ello, es que la “variabilidad climática” es dependiente de las características atmosféricas extremas que sobrepasan lo normal. Son varios los fenómenos que originan los eventos climáticos extremos como sequias, huracanes, perturbaciones tropicales y épocas con desproporcionada humedad. Sin embargo, los eventos meteorológicos extremos pueden implicar precipitaciones prolongadas así también como sequías duraderas. Se tiene en cuenta que en varias regiones del mundo, estos fenómenos, se relacionan con ENOS (El Niño Oscilación Sur) (OAS, 2016).

2.3 Marco legal

El presente trabajo de sustenta en las siguientes bases legales:

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

TITULO II

Capítulo segundo

Derechos del buen vivir

Sección segunda Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Capítulo sexto

Derechos de libertad

Art. 66, numeral 27.- Se reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Art. 73, inciso primero, determina que el Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la destrucción de las especies, la destrucción de ecosistemas, o a la alteración permanente de los ciclos naturales.

Art. 395.- que el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado, así como las políticas de gestión ambiental serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado y por todas las personas naturales o jurídicas (...).

Art. 396.- “El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas”.

“La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas”.

2.3.2 Acuerdo de París

Artículo 2.

1. El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos;

Artículo 8.

1. Las Partes reconocen la importancia de evitar, reducir al mínimo y afrontar las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los fenómenos de evolución lenta, y la contribución del desarrollo sostenible a la reducción del riesgo de pérdidas y daños.

2.3.3 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Artículo 3. Principios

Las Partes, en las medidas que adopten para lograr el objetivo de la Convención y aplicar sus disposiciones, se guiarán, entre otras cosas, por lo siguiente:

1. Las Partes deberían proteger el sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras, sobre la base de la equidad y de conformidad con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus respectivas capacidades. En consecuencia, las Partes que son países desarrollados deberían tomar la iniciativa en lo que respecta a combatir el cambio climático y sus efectos adversos.

Artículo 4. Compromisos

b) Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático.

2.3.4 Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua

TÍTULO I

Disposiciones Preliminares

Capítulo I De Los Principios

Artículo 4.- Principios de la Ley.

- b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
- c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
- d) El agua es patrimonio nacional y estratégico al servicio de las necesidades de las y los ciudadanos y elemento esencial para la soberanía alimentaria; en consecuencia, está prohibido cualquier tipo de propiedad privada sobre el agua;
- e) El acceso al agua es un derecho humano;
- f) El Estado garantiza el acceso equitativo al agua;
- g) El Estado garantiza la gestión integral, integrada y participativa del agua; y,
- h) La gestión del agua es pública o comunitaria

2.3.5 Lineamientos para Planes de Cambio Climático de gobiernos autónomos.

Art. 4.- Glosario: Para los efectos de este instrumento y la incorporación del Cambio Climático en la planificación local de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, se establecen las definiciones que constan a continuación, sin perjuicio de las definiciones previstas en la legislación nacional, ordenanzas y resoluciones.

Adaptación: Ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos.

Cambio Climático: Es la modificación de todos los componentes del sistema climático (temperatura, precipitación, entre otros) en comparación con los cambios históricos atribuidos a causas antropogénicas que han generado un incremento de gases de efecto invernadero. Tiene efectos de diversa naturaleza sobre las poblaciones humanas y ecosistemas del planeta.

Gases de Efecto Invernadero: Componente gaseoso de la atmósfera de origen natural o antropogénico que provoca calentamiento global.

Escenario tendencial: Establece la situación que se daría si se mantienen las tendencias detectadas en el diagnóstico.

Escenario probable: Es el que se generaría de la acción de factores externos y previsibles. Para esto, se debe identificar los posibles efectos (impactos) que podrían provocar algunos factores exógenos, que modificarían el escenario tendencial y que podrían ser beneficiosos o perjudiciales dentro de los económico, social, cultural, ambiental y político - institucional.

Escenario consensuado: Corresponde al escenario que se considera más conveniente para el territorio, considerando tanto las posibilidades y limitaciones propias como las nuevas opciones y condicionantes generadas por el escenario general probable, de manera que se aprovechen las oportunidades potenciales y se mitiguen los posibles efectos adversos.

Escenario deseado: Es el que se estructura como referente para la toma de decisiones (propuesta) orientadas para el logro del Buen Vivir.

Mitigación: Intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Vulnerabilidad: El Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

- **Investigación documental**

Según Ávila (2006) la investigación documental se trata de una técnica que permite obtener nuevos documentos, en los que se puede describir, explicar, analizar, comparar, criticar una temática a través de análisis de fuentes de formación.

Para la elaboración del análisis, se empleará documentos que servirán de guía para la aplicación de la metodología para realizar el balance hídrico de la zona en estudio, con ello, se recopilarán datos de fuentes como libros, artículos científicos, tesis, información relevante de Internet, los mismos que tendrán relación con la investigación, y oportunamente el documento en elaboración aportará conocimiento acerca del tema en desarrollo.

- **Investigación aplicada**

Según Tam Málaga, Vera, & Oliveros Ramos (2008) define que este tipo de investigación tiene como objetivo diseñar nuevas tecnologías a partir de la obtención de conocimientos mediante la investigación estratégica para predecir si pueden ser aplicados para los propósitos definidos.

La finalidad del trabajo mediante la elaboración y análisis del balance hídrico es que a partir de ello se pueda adquirir nuevos conocimientos sobre el comportamiento de los factores meteorológicos sobre el cantón, con respecto a evaluar si ha existido influencia del cambio climático en el mismo, de modo que, este documento de iniciativa para proponer medidas de mitigación ante la ocurrencia de eventos extremos que provocan pérdidas y desastres.

- **Investigación descriptiva**

La investigación es de tipo descriptiva, porque se realizó cálculos a partir de datos registrados de temperatura y precipitación, empleando un método para

evaluar el desarrollo del balance hídrico de la zona delimitada, y de este modo, identificar los posibles escenarios a futuro, con respecto a los patrones climáticos.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental, debido a que el propósito se basa en la elaboración de un balance hídrico a partir de datos de temperatura y precipitación otorgados por el INAMHI, y describir los escenarios a futuro, referente al comportamiento de las variables climáticas.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Temperatura
- Precipitación
- Heliofanía
- Latitud
- Evapotranspiración potencial
- Capacidad de retención de agua del suelo

3.2.1.2. Variable dependiente

- Balance hídrico climatológico

3.2.2 Tratamientos

Este estudio en desarrollo no implica tratamientos, sino el análisis del balance hídrico, mediante los datos obtenidos de precipitación y temperatura.

3.2.3 Diseño experimental

De acuerdo a la investigación, no involucra diseño experimental.

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

- Recursos Bibliográficos: Artículos científicos, libros electrónicos, páginas web, tesis.
- Recursos Humanos: Estudiante tesista encargado de la investigación, Docente tutor designado para seguimiento de investigación.
- Recursos Materiales: Hojas A4, impresora, computador portátil, internet, cuaderno de apuntes.
- Recursos de Software: Microsoft Excel, Microsoft Word, ArcGIS

3.2.4.2. Métodos y técnicas

Se programaron objetivos específicos para lograr el alcance del estudio, los cuales deben ser cumplidos para analizar la influencia del cambio climático en el balance hídrico del cantón Milagro.

Para corregir y validar datos climatológicos de precipitación y temperatura registrados en la estación meteorológica Milagro (M0037), que se encuentra ubicada en el cantón del mismo nombre, son necesarios datos de temperatura media mensuales y de precipitación acumulada mensual, solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que es la entidad a cargo del monitoreo de las variables atmosféricas que registran datos en las estaciones meteorológicas a nivel nacional.

Se obtuvieron datos de un periodo de 40 años (1980 - 2019), que es esencial para cumplir lo que afirma la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1994) con respecto a la selección de datos de la estación, indica que para el cálculo del Balance Hídrico Climático (BHC), el periodo de registro de datos deben ser de mínimo 30 años. A los datos de temperatura y precipitación otorgados por el

INAMHI, es necesario rellenar y validar los datos faltantes, para ello, se utilizará el programa POWER Data Access Viewer perteneciente a la NASA, que arroja datos de precipitación y temperatura según la ubicación geográfica y el periodo de tiempo.

Para estimar los datos faltantes se utilizó el método de regresión lineal, siendo uno de los más usados para estimar datos meteorológicos faltantes en una estación. Para ello, es correcto establecer una estación base, en este caso, los datos del programa de la NASA debido a que esta completa la información de las variables y los datos de la estación Milagro son los datos a rellenar.

Luego de corregir y validar los datos de la estación meteorológica se procederá a calcular el balance hídrico climatológico, el que se realizará mediante la fórmula empírica de Thornthwaite & Matter (1955), para determinar la evapotranspiración que se basa en datos de temperatura media mensual y por consiguiente determinar el BHC de las condiciones normales; además se planteó dos escenarios de cambio climático que establece el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2013) en su Quinto Informe de Evaluación, para describir los posibles impactos a largo plazo de cambio climático en el lugar de influencia. Los escenarios se describen a continuación, para la precipitación mensual (disminución de 10% y 20%) y para la temperatura (incremento de 1,5°C y 4°C), denominando los escenarios optimista y pesimista respectivamente, de este modo, se analizaron los efectos que pueden ocasionar si estas variables se alteran.

Para diseñar las figuras del balance hídrico se fomentará la contribución de un formato electrónico de Excel desarrollada y dispuesta por Rolim & Sentelhas (1999), debido a ello, se requieren los datos de temperatura media, promedio

mensual de precipitación, coordenadas geográficas, altitud y capacidad de retención o disponibilidad de agua del suelo, tomando como referencia 100 mm. Con este conjunto de datos se deducirá mediante el balance hídrico la deficiencia de agua, el excedente de agua y el total de agua retenida a lo largo de los meses.

Consecuentemente, se desarrollará una estadística descriptiva, para discernir de mejor manera los cálculos efectuados en las ecuaciones, suministrando medidas de distribución y concentración, de modo que se obtendrá figuras para evaluar el comportamiento hídrico durante el periodo de tiempo del análisis.

Finalmente, según los resultados obtenidos se diseñó el balance hídrico mensual del cantón Milagro mediante Sistemas de Información Geográfica, para identificar evidencias del calentamiento global. Se usó el programa ArcMap de ArcGis, se aplicó interpolación de datos para las variables precipitación y temperatura con la herramienta Raster Interpolation, para posteriormente determinar el balance hídrico mediante la calculadora ráster del programa, por tanto, obtener el mapa que represente el BHC.

3.2.5 Análisis estadístico

Para la presente investigación se efectuó un análisis estadístico descriptivo en base a los cálculos que se emplearon, tales como, promedio, máxima y mínima de las variables de temperatura, precipitación, evapotranspiración, y a los datos de los resultados obtenidos del cálculo del balance hídrico.

Estimación de datos faltantes de las variables para el cálculo

- **Temperatura y Precipitación**

El relleno de datos faltantes de la variable temperatura y precipitación se logró mediante el uso de la técnica de regresión lineal, estableciendo como estación

base los datos obtenidos de la POWER Data Access Viewer de la NASA y los datos del INAMHI como la estación para completar la información.

Tabla 1. Datos faltantes, mes de marzo.

Marzo	NASA (mm)	INAMHI (mm)
1980	155,3	288,5
1981	221,8	327,9
1982	54,9	30,8
1983	393,9	661,7
1984	194,3	304,0
1985	110,9	208,7
1986	83,3	56,7
1987	318,2	531,7
1988	24,8	29,8
1989	278,7	305,0
1990	105,5	177,6
1991	115,2	222,4
1992	398,3	687,5
1993	203,8	389,5
1994	170,6	264,2
1995	104,6	159,7
1996	144,6	338,6
1997	346,6	680,0
1998	550,8	966,4
1999	358,8	-
2000	270,0	284,9
2001	422,2	748,4
2002	440,8	594,0
2003	133,8	173,1
2004	194,8	332,7
2005	87,4	263,8
2006	92,9	339,0
2007	49,2	481,6
2008	346,7	619,2
2009	159,6	187,6
2010	125,1	238,4
2011	38,6	39,2
2012	276,9	494,1
2013	269,0	329,5
2014	28,7	125,4
2015	187,9	329,9
2016	210,7	449,5
2017	359,0	667,2
2018	3,9	234,9
2019	5,0	67,8

Fuente: INAMHI

En la Tabla 1, se observa la información meteorológica de precipitaciones del mes de marzo, la cual cuenta con un dato faltante del año 1999, se completó mediante la ecuación de la recta, sustituyendo el valor de x por el de la NASA, de ese modo, se halla el valor del INAMHI (y), arrojando un coeficiente de correlación de 0,89.

$$y = 1,4685x + 60,38$$

$$y = 1,4685 (358,8) + 60,38$$

$$y = 587,28$$

Tabla 2. Relleno de datos faltantes

Diciembre	NASA	INAMHI	Relleno	Coeficiente
1999	358,8	-	587,28	0,89

Fuente: INAMHI
Vera, 2021

El relleno de datos faltantes se observa en la Tabla 2, dando como resultado 587,28 mm para el mes de marzo. De la misma manera se completa los datos escasos de la variable de temperatura para todos los meses.

La validación de los datos meteorológicos se efectuó a través del método de la curva de doble masa, la que consta de la sumatoria anuales acumuladas de todos los años de las variables en los registros anuales de precipitación y temperatura, entre la estación Milagro y los datos obtenidos de la NASA, y la correlación que presenta. Por ello, los resultados se analizaron por medio del coeficiente de correlación de Pearson con los valores de criterio de Chaddock (Ver Tabla 3).

En la aplicación de esta metodología, mientras el valor de correlación más de acerque a 1, confirma que los datos son consistentes, es decir, tienen relación positiva.

Tabla 3. Evaluación del coeficiente de correlación mediante Chaddock

Categoría de correlación Chaddock	Rango r
Muy bajo	< 0,3
Bajo	0,3 – 0,5
Medio	0,5 – 0,7
Bueno	0,7 – 0,9
Muy bueno	0,9 – 1
Funcional	r=1

Fuente: Gutiérrez (2014)
Vera, 2021

Los datos que se ubican dentro del rango 0,7 a 1 del coeficiente r, se consideran aceptables; en varias regiones donde faltan estaciones meteorológicas que tengan cercanía a la zona de influencia se emplea este método (Gutiérrez, 2014).

- **Heliofanía**

Debido a que la estación Milagro no cuenta con datos acertados de heliofanía, se estimará por medio de tablas teóricas (ver Figura 14; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) propuestas por la FAO (2006), con parámetros correspondientes a la latitud y estimaciones para el día 15 de cada mes. En nuestro caso, en relación a la latitud, el Ecuador se posesiona en latitud de 2° S, y se establece la fórmula descrita a continuación:

$$N = \frac{24}{\pi} W_s$$

Donde:

N= Horas de brillo solar (h)

W_s = Ángulo a la hora de la puesta de sol (rad)

Estimación del balance hídrico

- **Cálculo de la evapotranspiración potencial**

El método utilizado en este caso Thornthwaite & Matter (1955), se estimó la ETP, a partir de la temperatura media de cada mes y anual, dentro de un periodo de tiempo. Para el desarrollo de los cálculos se emplearán las siguientes ecuaciones:

- Ecuación para el cálculo del índice de calor mensual:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

- Cálculo del índice de calor anual:

$$I = \sum i$$

- Cálculo de la ETP sin corregir:

$$ETP_{\text{sin corregir}} = 16\left(\frac{10 \cdot t}{I}\right)^a$$

- Ecuación para corregir según el número de días en el mes y el número de horas de sol, según la tabla teórica propuesta por la FAO, que se refleja en la Figura 14.

$$ETP = ETP_{\text{sin corregir}} \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde:

t= representa la temperatura media mensual

i= Índice de calor mensual

I= Índice de calor anual

a= $675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0,49239$.

N= Número máximo de horas de sol

d= Número de días del mes

ETP= Evapotranspiración corregida.

- **Cálculo de balance hídrico**

Se considera como única entrada de agua a la precipitación y como salida de agua a la evapotranspiración potencial del lugar. La ecuación será:

$$EX \text{ (Lluvia neta)} = P - ETP - \Delta \text{Vol de agua en el suelo}$$

Donde:

EX= mostrará el exceso de agua anual

P= precipitación anual

ETP= es la indica la evapotranspiración potencial anual

Δ Vol de agua= Capacidad de retención de agua en el suelo

Con este conjunto de datos se deducirá mediante el balance hídrico la deficiencia de agua, el excedente de agua y el total de agua retenida a lo largo del año.

En base a la ecuación:

$$P - ETP = \Delta$$

Donde:

Δ = Cantidad de agua existente (superávit o déficit), o simboliza la disponibilidad de agua luego de haber realizado la diferencia (P – ETP). Es decir, mediante las desigualdades $P-ETP < 0$ y $P-ETP > 0$, se puede establecer si existe exceso o deficiencia de agua en el lugar. Tomando como principal variable a la precipitación y verificar si es el principal factor que interviene en la alteración del BHC.

4. Resultados

4.1 Corrección y validación de datos climatológicos de precipitación y temperatura registrados en la estación meteorológica Milagro (M0037).

4.1.1 Relleno de datos faltantes de precipitación y temperatura

En este trabajo se comprobó que, la estación Milagro (M0037) no presentaba datos completos de sus variables, razón por la cual se aplicó la regresión lineal para esta estación en los datos de ambas variables, logrando la comparación entre datos meteorológicos obtenidos de la NASA y la estación Milagro, durante el periodo de tiempo.

La Figura 1 representa la regresión lineal y la ecuación para el relleno de datos faltantes, en la serie de precipitaciones de cada año del mes de marzo entre ambas fuentes de información meteorológica.

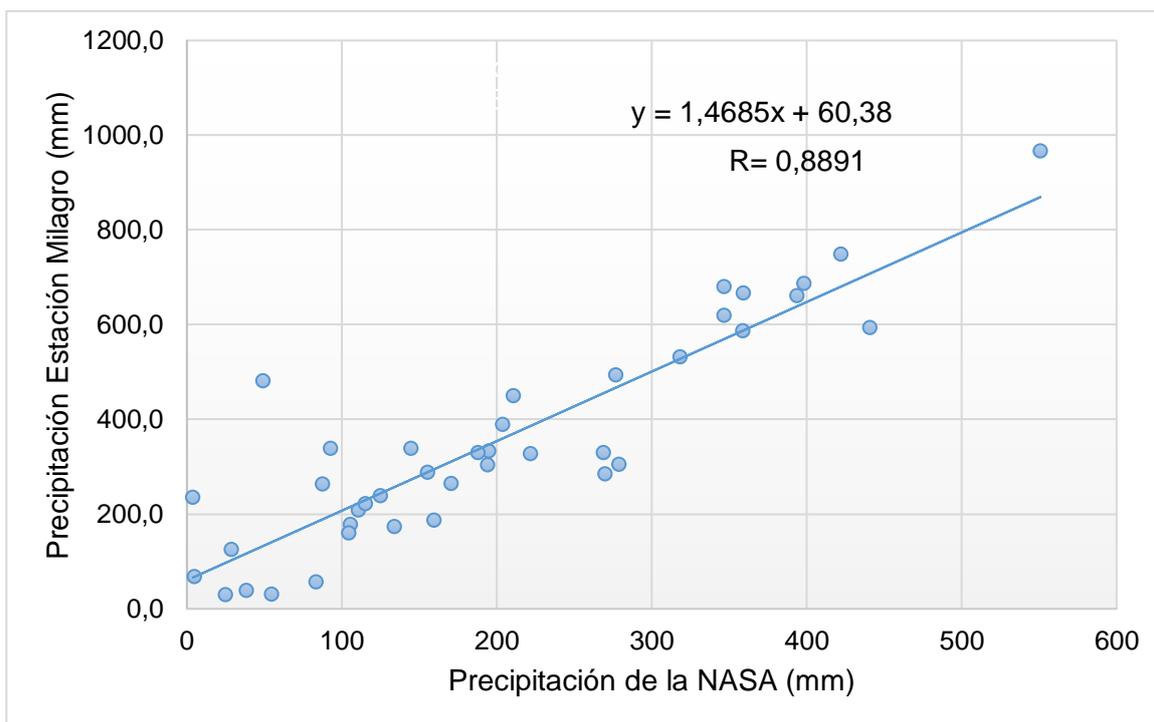


Figura 1. Análisis de correlación lineal para las precipitaciones en el mes de marzo. Comparación entre datos de precipitación de la NASA (mm) y la Estación Milagro (mm).

Vera, 2021

Se identifica la ecuación para el relleno de datos, la línea de regresión lineal con tendencia positiva y el coeficiente de correlación (r) igual a 0.88, de modo que si comparamos con el rango de evaluación de Chaddock, se encuentra en el espacio de correlación buena (Gutiérrez, 2014).

Con respecto a Figura 2, se indica el resultado de la regresión lineal entre ambas bases de datos de temperatura del mes de agosto, del mismo modo, se observa la ecuación para el relleno de datos faltantes.

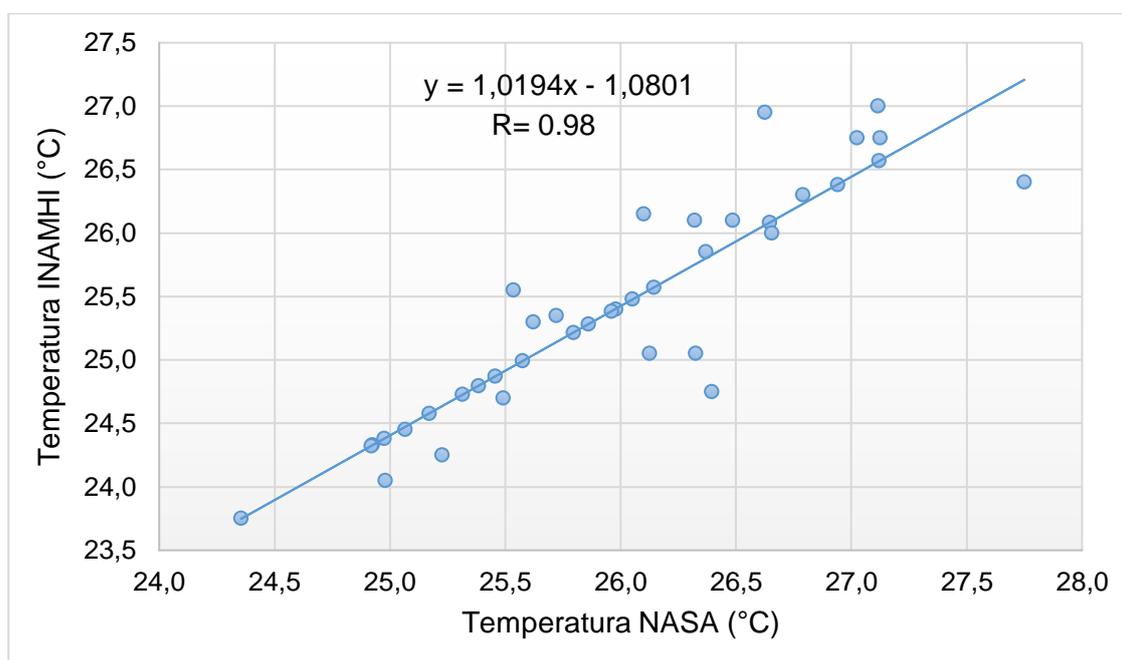


Figura 2. Análisis de correlación lineal para la Temperatura (°C) en el mes de agosto; comparación entre datos de temperatura de la NASA (°C) y la Estación Milagro (°C).

Vera, 2021

Para el relleno de datos se utilizó la ecuación de la regresión lineal, en la cual, se determinó que para el mes de agosto se presenta tendencia positiva entre los datos de ambas estaciones.

4.1.2 Análisis de la precipitación

En la Figura 3, se observa la comparación entre ambas fuentes de información para corroborar la consistencia de los datos.

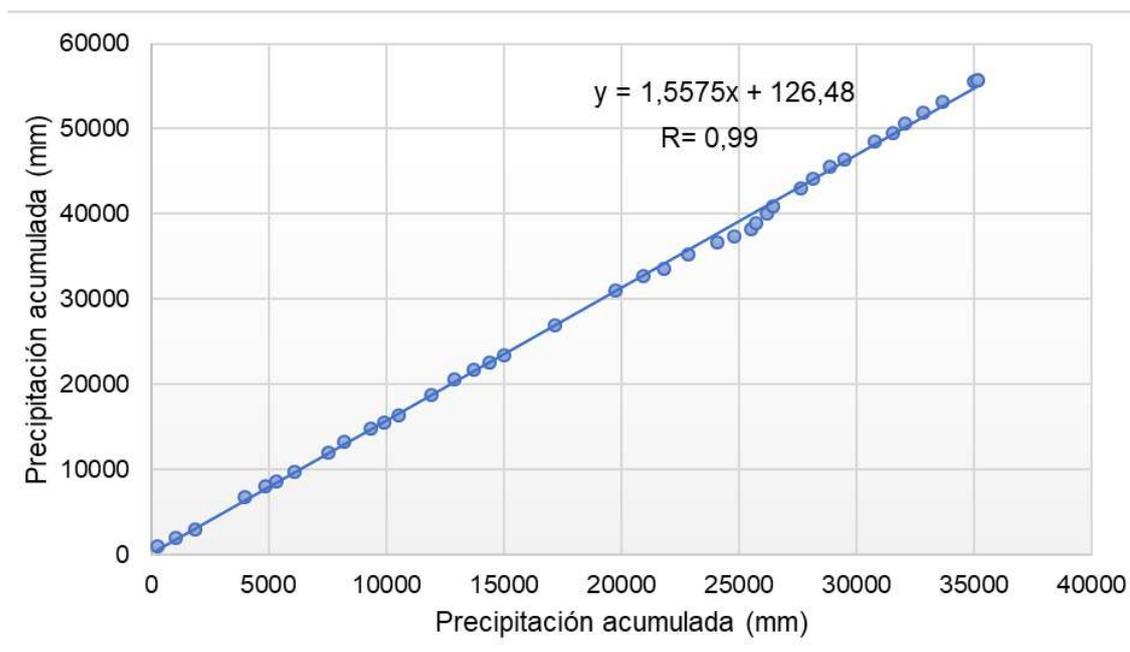


Figura 3. Análisis de Doble Masa de las series de precipitación de la Estación Milagro frente a Datos de la NASA. Vera, 2021

De acuerdo a la Figura 3, se evidencia una dispersión casi nula de los datos corregidos y rellenos de las estaciones, es decir, el valor del coeficiente de correlación de la curva doble masa de las precipitaciones acumuladas anualmente (mm) de ambas estaciones (Ver Tabla 12) es muy próximo a 1. El periodo 1980-2019 se estima como homogéneo, debido a que, los valores de correlación son mayores a 0.9, obteniendo como resultado una alta dependencia entre ambas bases de datos de las variables. En fin, una vez se valide la información se procede a rellenar los datos faltantes y con ello adquirir los datos estimados.

4.1.3 Comportamiento de la precipitación

La distribución anual de la precipitación del cantón Milagro durante los años 1980 - 2019 se muestran en la Figura 4, cuyos datos anuales fueron emitidos por la estación Milagro (M0037).

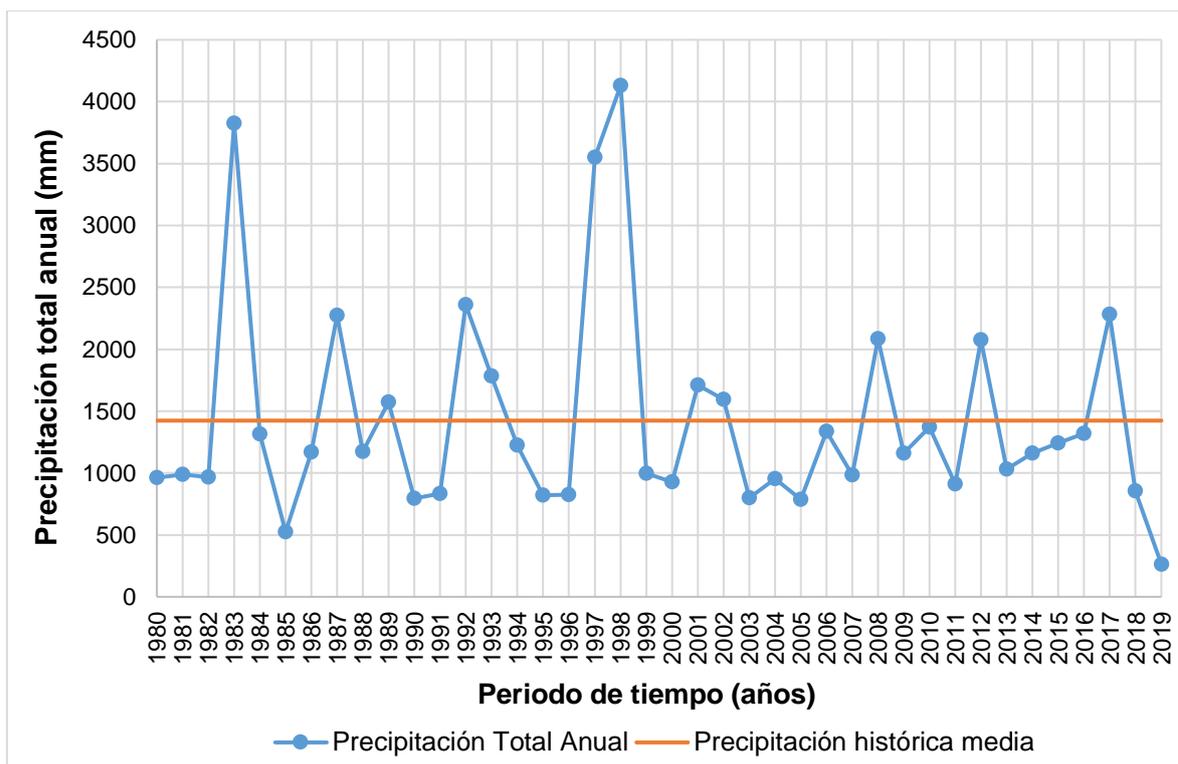


Figura 4. Comportamiento de la precipitación (mm) durante el periodo 1980-2019 Vera, 2021

Al realizar el análisis del comportamiento de la precipitación de la estación Milagro (M0037), se logró visualizar varios picos en distintos años, en efecto, se determinó que en aquellos años se registró presencia del fenómeno de El Niño en el Ecuador, la que llevó consigo abundante precipitación durante meses de la estación lluviosa, en los años 1982-1983 y 1997-1998 (MSP & OPS, 2005). El promedio histórico anual, con 40 años de observaciones, es de 1423,4 mm, con alta variabilidad en los totales anuales.

La Figura 5 representa la distribución media mensual de precipitación climatológica de la zona de estudio, en otras palabras, el promedio del patrón de lluvias de cada mes, durante el periodo de tiempo establecido para el análisis.

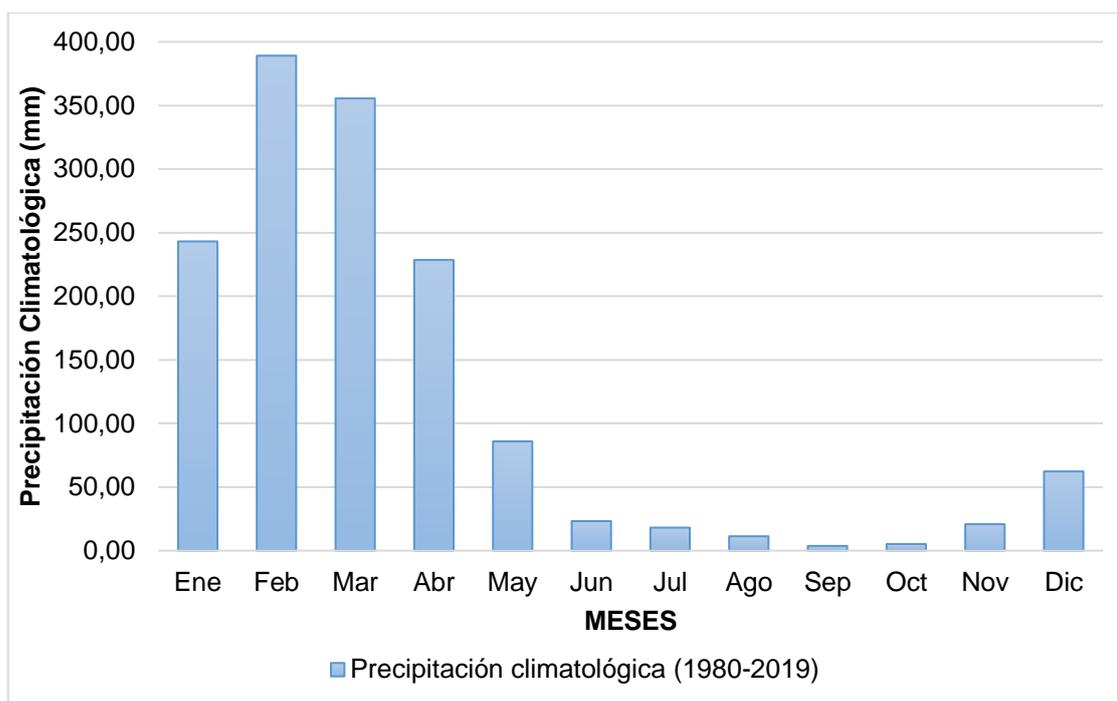


Figura 5. Media climatológica mensual de precipitación (mm) para el cantón Milagro.
Vera, 2021

Se considera a los meses de enero, febrero, marzo y abril como los meses más húmedos, ya que presentan valores altos, sobresaliendo el mes de febrero, debido a los factores meteorológicos que actúan en el cantón Milagro y que, en algunos años de dichos meses, hubo lluvias anómalas y de alta intensidad inducidas por la presencia del fenómeno de El Niño a gran escala. En contraste, entre los meses más secos se encuentran agosto, septiembre y octubre, siendo, septiembre el mes más seco según el promedio climatológico del periodo de estudio, sucediéndole el mes de octubre.

4.1.4 Comportamiento de la temperatura

Los datos de temperatura son esenciales al momento de realizar el balance hídrico, a continuación, en la Figura 6, se advierte la tendencia de la temperatura de los datos obtenidos de la NASA, que en este caso representa la estación base debido a que cuenta con los datos completos durante el periodo 1980 – 2019.

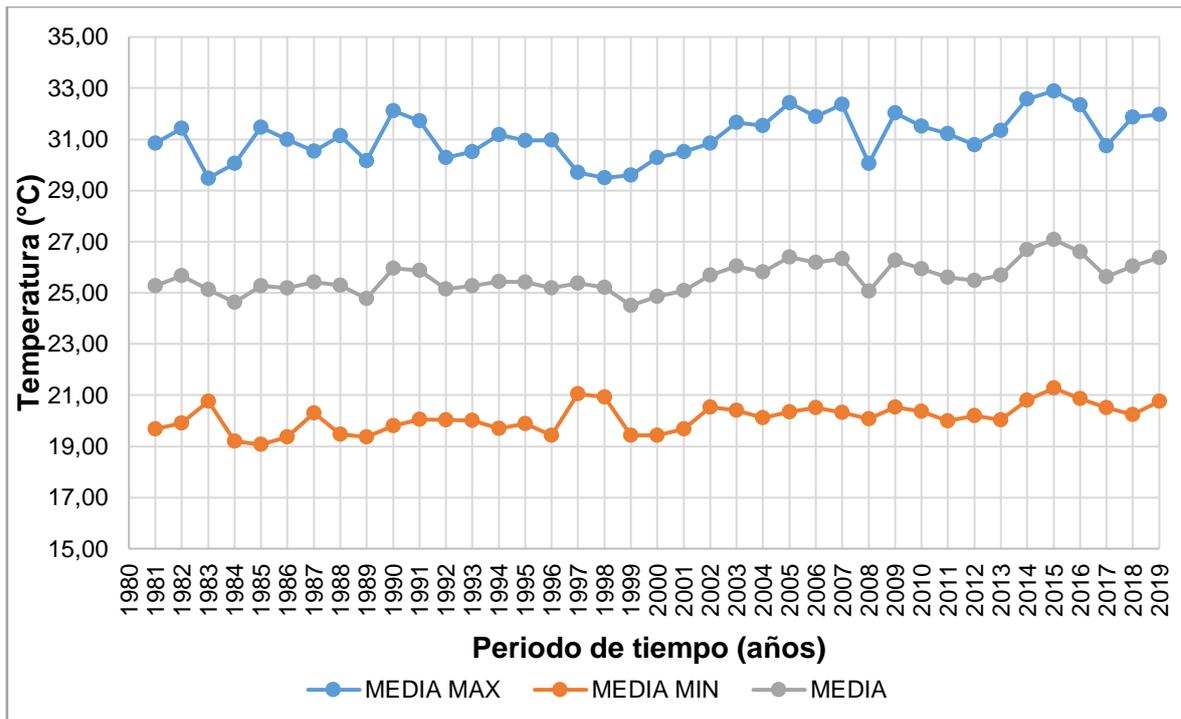


Figura 6. Comportamiento de la temperatura durante el periodo 1980 - 2019. Vera, 2021

La variable temperatura presenta un comportamiento homogéneo durante los años de análisis. En referencia a la tendencia de la Máxima de Temperatura se identificó como el dato más elevado al aproximado de 33°C que se observó en el año 2015. Sin embargo, en la tendencia de la Mínima de Temperatura se expone como los datos más bajos en los años 1984 y 1985 aproximadamente.

Luego de realizar los debidos ajustes en los datos de las series de temperatura media mensual de la estación Milagro, se estimó la Figura 7, donde se identifica el rango de valores que se utilizaron para el balance hídrico siendo el promedio de las medias mensuales de cada mes durante los años de 1980 hasta 2019. Con respecto a estos valores que se usaron al momento de elaborar el balance hídrico por cada mes.

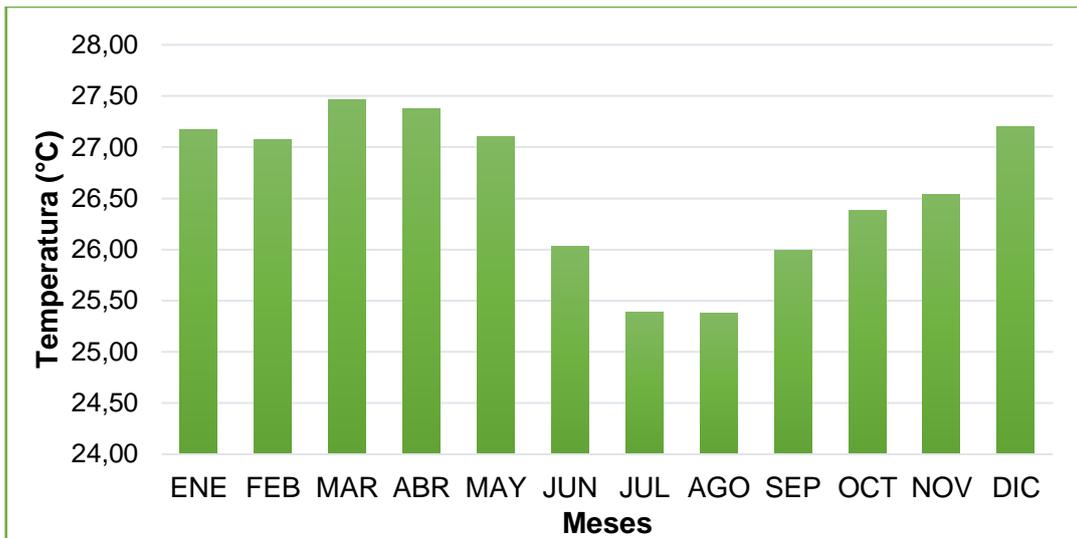


Figura 7. Comportamiento de la temperatura media mensual de la estación meteorológica Milagro (M0037)
Vera, 2021

Entre los resultados destacables en la Figura 7, se puede diferenciar con facilidad los meses de mayor temperatura como marzo y abril seguido por diciembre y de menos temperatura, a los meses de julio y agosto, aunque son ciertamente similares.

4.1.5 Heliofanía

En cuanto a las horas de brillo solar se representa mediante la Figura 8, las horas de las tablas teóricas estimadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009).

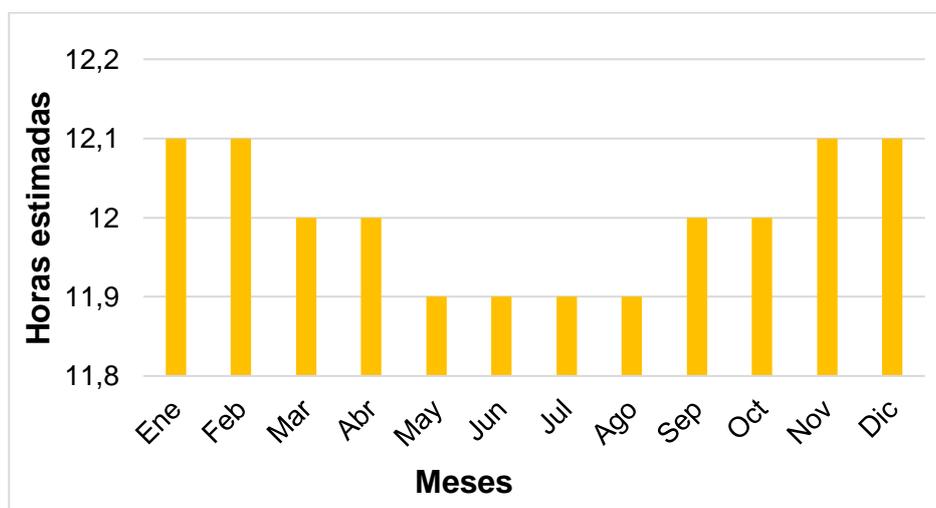


Figura 8. Horas de brillo solar propuestas por la FAO
Vera, 2021

4.2 Cálculo del balance hídrico climatológico mediante el método de Thornthwaite para describir escenarios e impactos de cambio climático en el lugar de influencia.

4.2.1 Cálculo de Balance Hídrico Climatológico

En primera instancia, se realizó el cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) mediante el método de Thornthwaite, reflejado en la Tabla 4, en la que se puede apreciar la precipitación media mensual del periodo de tiempo establecido, la temperatura, las horas de insolación, los días del mes, índice de calor mensual, coeficiente a, ETP sin corregir, y finalmente la ETP de cada mes.

Tabla 4. Cálculo de la ETP mediante método de Thornthwaite

Meses	PP media (mm)	T° media (°C)	Horas insol.	Días en un mes	Índice de calor mensual	a	ETP sin corregir	ETP cada mes
Enero	243,10	27,17	12,1	31	12,9709	3,75	145,92	152,04
Febrero	389,10	27,07	12,1	28	12,8987	3,75	143,92	135,44
Marzo	355,50	27,46	12,0	31	13,1811	3,75	151,85	156,91
Abril	228,50	27,37	12,0	30	13,1158	3,75	149,99	149,99
Mayo	85,90	27,10	11,9	31	12,9204	3,75	144,52	148,09
Junio	23,20	26,03	11,9	30	12,1559	3,75	124,26	123,22
Julio	18,10	25,39	11,9	31	11,7063	3,75	113,18	115,98
Agosto	11,30	25,38	11,9	31	11,6993	3,75	113,01	115,81
Septiembre	3,70	25,99	12,0	30	12,1276	3,75	123,54	123,54
Octubre	5,20	26,38	12,0	31	12,4042	3,75	130,64	134,99
Noviembre	20,80	26,54	12,1	30	12,5183	3,75	133,63	134,75
Diciembre	62,30	27,20	12,1	31	12,9926	3,75	146,53	152,68
Suma	1446,7				150,69			1643,46

Vera, 2021

En el cálculo de la ETP mediante el método de Thornthwaite, se obtuvo un resultado de 1446.7 mm en la suma de las precipitaciones medias mensuales de los años en observación, y el valor obtenido de la ETP es 1643.46 mm, es decir, la ETP anual es mayor que la precipitación en el periodo de tiempo establecido.

En referencia a la Tabla 5, se expone la estimación del Balance Hídrico Climatológico (BHC) de lugar de estudio, en donde se detalla la precipitación útil, reserva de agua en el suelo, el excedente de agua en algunos meses y la evapotranspiración real.

Tabla 5. Estimación del Balance Hídrico del cantón Milagro

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
P mensual	243,1	389,1	355,5	228,5	85,90	23,20	18,10	11,3	3,70	5,20	20,80	62,3	1446,7
ETP	152,0	135,4	156,9	149,9	148,1	123,2	115,9	115,8	123,5	134,9	134,7	152,7	1643,4
P - ETP	91,06	253,6	198,6	78,51	-62,2	-100	-97,9	-104,5	-119,8	-129,8	-113,9	-90,4	-196,7
Reserva	91,06	100,0	100,0	100,0	37,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1840,2
Excedente	0,00	244,7	198,6	78,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	521,8
ETR	152,0	135,4	156,9	149,9	148,1	61,01	18,10	11,3	3,70	5,20	20,80	62,3	924,8

Vera, 2021

Para el cantón Milagro en la serie de observación de precipitación de 40 años, el valor anual de la evapotranspiración potencial, 1643.46 mm es cercano al valor de la precipitación 1446.7 mm, y el valor de la evapotranspiración real es 924.88 mm, que es casi la mitad de la ETP.

Se tomó en cuenta la capacidad de campo que fue de 100 mm, se observa que las precipitaciones en algunos meses son menores que los requisitos de ETP, notando que los meses desde junio a diciembre, como periodos de tiempo, en los que la cantidad de precipitación y las reservas de agua en el suelo están agotadas para compensar este déficit. Todo lo contrario, ocurre en los meses de enero a mayo donde las precipitaciones son abundantes inclusive para llenar las reservas de agua en el suelo, en donde se equipará el balance y precisamente es en los meses de febrero, marzo y abril que se produce los excedentes que generan escorrentía en el suelo de la zona de influencia.

La Figura 9 es la representación del BHC mediante líneas de tendencia de resultados mencionados en la Tabla 5.

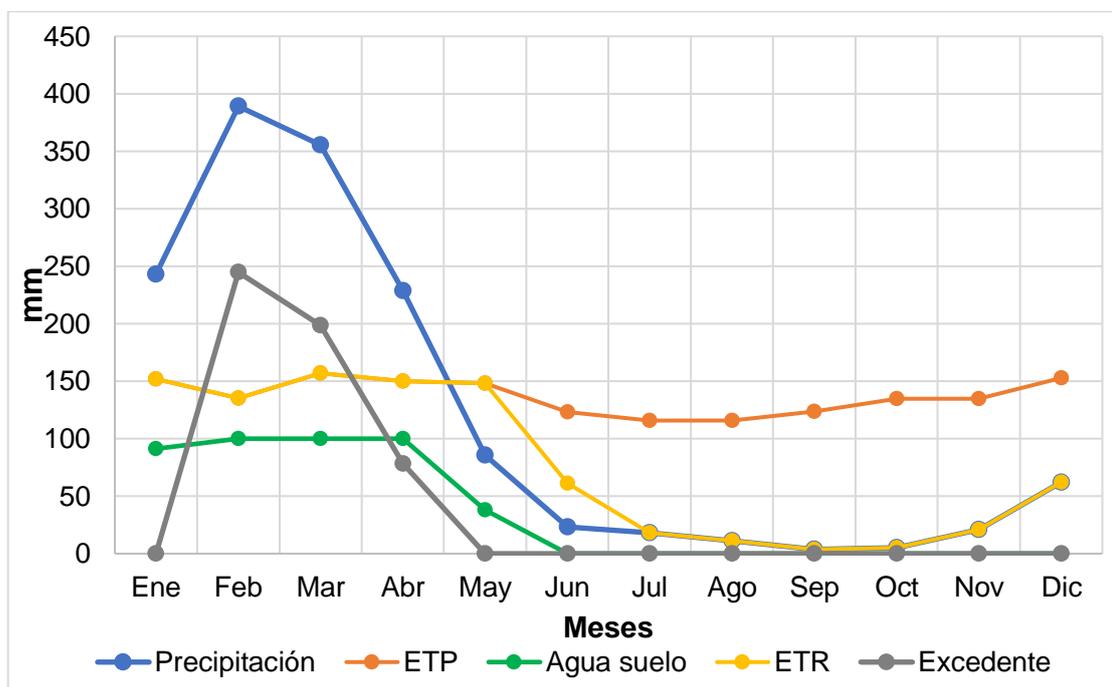


Figura 9. Representación del Balance Hídrico Climatológico del cantón Milagro Vera, 2021

Mediante la Figura 9, se presentó el BHC para una mejor visualización del comportamiento de las variables establecidas a través de tiempo para cada mes.

Se puede notar que en los meses de enero a mayo la ETP y la ETR son iguales, Sánchez (2004) manifiesta que esta igualdad se produce por tener escenarios óptimos de humedad.

4.2.2 Escenarios de Cambio Climático

Como se describió en la metodología, se desarrolló una simulación de escenarios del balance hídrico climático, optimista y pesimista, para observar lo que podría suceder a largo plazo sino se controlan las emisiones de GEI (IPCC, 2014).

En la Tabla 6, se detalla la estimación de la ETP para el escenario optimista, es decir, el aumento de 1.5°C a la temperatura media y disminución del 10% de las precipitaciones media mensual en las condiciones normales.

Tabla 6. Estimación de ETP en el escenario optimista

Meses	PP media (mm)	T° media (°C)	Horas insol.	Días en un mes	Índice de calor mensual	a	ETP sin corregir	ETP cada mes
Enero	218,79	28,67	12,1	31	14,0704	4,32	179,90	187,45
Febrero	350,19	28,57	12,1	28	13,9961	4,32	177,21	166,77
Marzo	319,95	28,96	12,0	31	14,2864	4,32	187,90	194,16
Abril	205,65	28,87	12,0	30	14,2192	4,32	185,39	185,39
Mayo	77,31	28,60	11,9	31	14,0184	4,32	178,01	182,42
Junio	20,88	27,53	11,9	30	13,2320	4,32	150,98	149,72
Julio	16,29	26,89	11,9	31	12,7691	4,32	136,39	139,76
Agosto	10,17	26,88	11,9	31	12,7619	4,32	136,17	139,54
Septiembre	3,33	27,49	12,0	30	13,2029	4,32	150,03	150,03
Octubre	4,68	27,88	12,0	31	13,4875	4,32	159,45	164,76
Noviembre	18,72	28,04	12,1	30	13,6049	4,32	163,44	164,80
Diciembre	56,07	28,70	12,1	31	14,0926	4,32	180,72	188,30
Suma	1302,03				163,74			2013,11

Vera, 2021

Se llevó a cabo el mismo procedimiento como el del Balance Hídrico Normal, dando como resultado 1302,03 mm de precipitación y 2013,11 mm para la ETP, siendo esta última mayor a la precipitación.

En la Tabla 7, se determinó el balance hídrico para el escenario optimista.

Tabla 7. Balance Hídrico en el escenario optimista

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
P mensual	218,8	350,2	319,9	205,6	77,31	20,88	16,29	10,17	3,33	4,68	18,7	56,07	1302,03
ETP	187,5	166,8	194,2	185,4	182,4	149,7	139,8	139,5	150,0	164,7	164,8	188,3	2013,1
P - ETP	31,34	183,4	125,8	20,3	-105,1	-128,8	-123,5	-129,4	-146,7	-160,1	-146,1	-132,2	-711,07
Reserva	31,34	100,0	100,0	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2724,17
Excedente	0,00	114,8	125,8	20,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,81
ETR	187,5	166,8	194,2	185,4	177,3	20,88	16,29	10,17	3,33	4,68	18,7	56,07	1041,2

Vera, 2021

Se obtuvo como resultado al mes de septiembre como el más seco, asimismo se determina que algunas precipitaciones son menores a los requisitos de la ETP, notando que, en los meses desde mayo a diciembre, hay déficit en la reserva de agua debido a que la cantidad de precipitación es baja con respecto a la ETP.

La Figura 10 demuestra el balance hídrico del escenario optimista de las variables detalladas en la Tabla 7.

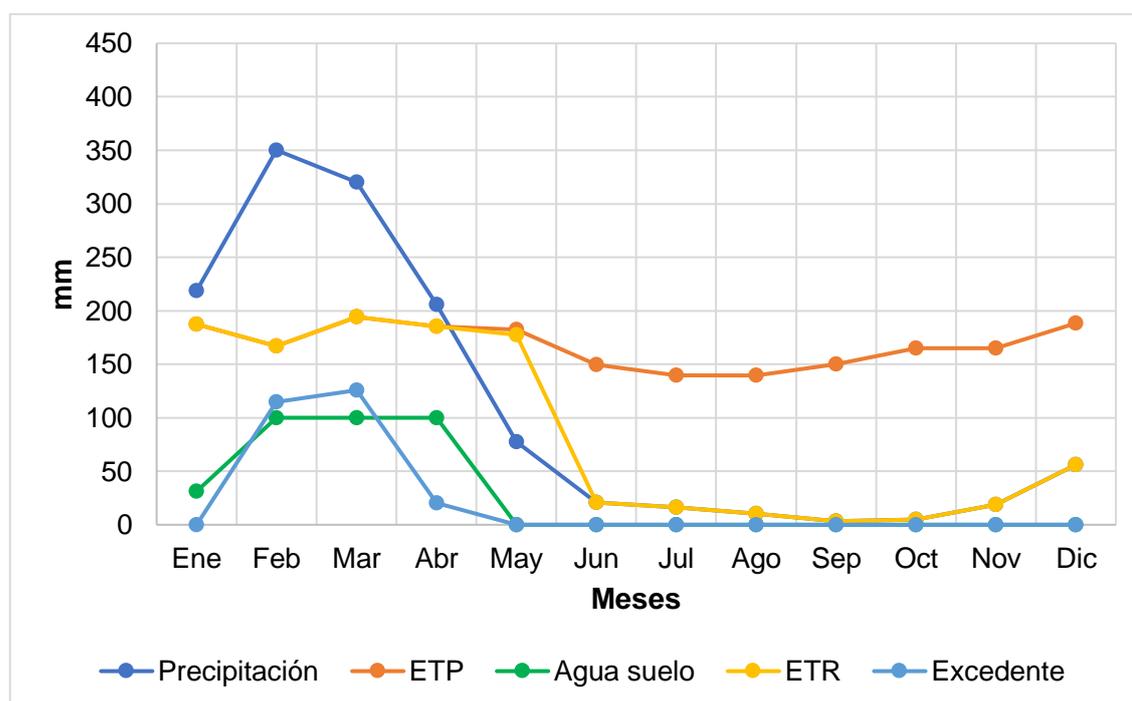


Figura 10. Representación del Balance Hídrico del escenario optimista Vera, 2021

Para una mejor observación del comportamiento de las variables establecidas a través de tiempo para cada mes. Se puede notar que en los meses de enero a mayo la ETP y la ETR son iguales, luego la ETR tiene un descenso, siendo igual a la precipitación desde el mes de junio a diciembre.

En la Tabla 8, se estima la ETP para el escenario pesimista, esto es, el aumento de 4°C a la temperatura media y disminución del 20% de las precipitaciones media mensual en las condiciones normales.

Tabla 8. Estimación de la ETP para el escenario pesimista

Meses	PP media (mm)	T° media (°C)	Horas insol.	Días en un mes	Índice de calor mensual	A	ETP sin corregir	ETP cada mes
Enero	194,48	31,17	12,1	31	15,9690	5,52	274,18	285,68
Febrero	311,28	31,07	12,1	28	15,8915	5,52	269,36	253,50
Marzo	284,40	31,46	12,0	31	16,1944	5,52	288,56	298,18
Abril	182,80	31,37	12,0	30	16,1244	5,52	284,03	284,03
Mayo	68,72	31,10	11,9	31	15,9147	5,52	270,80	277,49
Junio	18,56	30,03	11,9	30	15,0931	5,52	223,21	221,35
Julio	14,48	29,39	11,9	31	14,6088	5,52	198,18	203,08
Agosto	9,04	29,38	11,9	31	14,6012	5,52	197,81	202,70
Septiembre	2,96	29,99	12,0	30	15,0627	5,52	221,57	221,57
Octubre	4,16	30,38	12,0	31	15,3602	5,52	237,95	245,89
Noviembre	16,64	30,54	12,1	30	15,4829	5,52	244,95	247,00
Diciembre	49,84	31,20	12,1	31	15,9922	5,52	275,64	287,20
Suma	1157,4				186,30			3027,68

Vera, 2021

La Tabla 9 indica el cálculo del balance hídrico en el escenario pesimista, la que contiene los datos adaptados al escenario climático.

Tabla 9. Balance Hídrico del escenario pesimista

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
P mensual	194,5	311,3	284,4	182,8	68,7	18,6	14,5	9,04	2,96	4,16	16,64	49,8	1157,4
ETP	285,7	253,5	298,2	284,03	277,5	221,4	203,1	202,7	221,6	245,9	247,0	287,2	3027,7
P - ETP	-91,2	57,78	-13,8	-101,2	-208,8	-202,8	-188,6	-193,7	-218,6	-241,7	-230,4	-237,4	-1870
Reserva	0,00	57,78	44,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4897,9
Excedente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETR	194,5	253,5	298,2	226,8	68,7	18,6	14,5	9,04	2,96	4,16	16,64	49,84	1157,4

Vera, 2021

En este balance se determinó que solamente en los meses de febrero y marzo existe reserva de agua en el suelo, por su parte, si sucediera este escenario en un futuro, no habría excedente de agua en el suelo, y se registraría un gran déficit de agua en la zona de influencia, debido a que la ETP sería mucho mayor a la precipitación, con gran aumento de temperatura.

La Figura 11 es la representación gráfica del balance hídrico en el escenario pesimista del cambio climático.

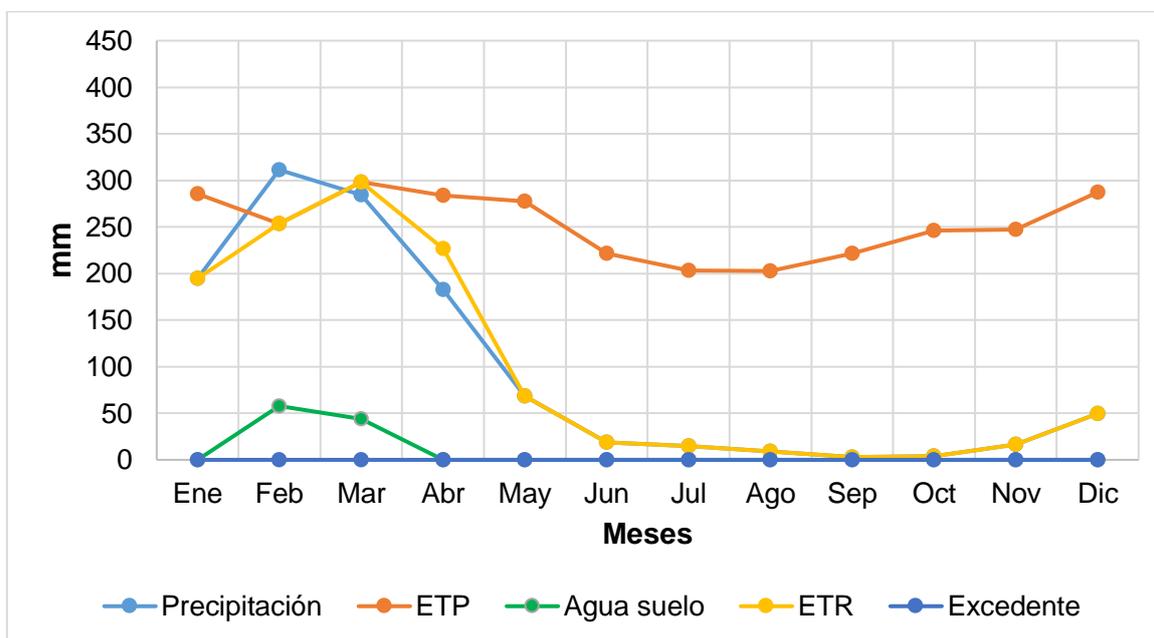


Figura 11. Representación del Balance Hídrico del escenario pesimista Vera, 2021

En la simulación del balance hídrico con una reducción del 10% de la precipitación y un aumento de 1.5 °C en la temperatura promedio, hay una reducción de la precipitación y la evaporación real, mientras que la evapotranspiración potencial muestra un aumento, y la misma descripción se puede repetir para el escenario con reducción de precipitaciones en un 20% y un aumento de 4.0°C en la temperatura promedio.

4.2.3 Índice de Aridez

En la Tabla 10, se indica el índice de aridez para cada balance hídrico, tanto para balance hídrico normal, como para el balance de los escenarios de cambio climático.

Tabla 10. Índice de Aridez del Balance Hídrico Normal, Escenario optimista, Escenario pesimista

Índice	Precipitación y Temperatura Normal	Precipitación -10% y Temperatura 1,5°C	Precipitación -20% y Temperatura 4°C
Aridez	0.46	0.55	0.66

Vera, 2021

Cabe destacar que, el índice de aridez en los distintos escenarios está aumentando, es decir, acorde pasa el tiempo con respecto al cambio climático va en ascenso la aridez en la zona de estudio, por ende, para el escenario pesimista disminuye la humedad del suelo, debido a la reducción de precipitación e incremento de temperatura.

4.3 Diseño del balance hídrico del cantón Milagro mediante Sistemas de Información Geográfica para la identificación de evidencias del calentamiento global.

El balance hídrico climatológico también se desarrolló mediante los Sistemas de Información Geográfica con algunas herramientas del programa ArcMap, se logró una interpolación de datos de ambas estaciones a través del comando Spline, el cual permite una mejor apreciación de la información reflejada en los mapas ya que suaviza en la superficie la curvatura general, lo que efectúa una superficie suave. En la Tabla 11, se observan los resultados obtenidos del Balance Hídrico, aplicando ambas metodologías, como es el método empírico para determinar la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite y el uso de los Sistemas de Información Geográfica. La cantidad de agua en el suelo se identificó con dos cualidades déficit y superávit, en la que el déficit es representado por valores negativos y el superávit con valores positivos, respectivamente.

Cabe recalcar, que la diferencia de los resultados se debe a la interpolación de datos de las variables climatológicas de ambas estaciones en el BHC elaborado

en SIG, por lo que, en el método empírico mediante la metodología de Thornthwaite se usó solo datos de las variables proveniente de la estación Milagro (M0037).

Tabla 11. Comparación de balances hídricos

Meses	BHC cantón Milagro	BHC cantón Milagro (SIG)
Enero	91,06	113,63
Febrero	253,66	125,68
Marzo	198,59	97,96
Abril	78,51	23,66
Mayo	-62,19	-66,06
Junio	-100,02	-93,76
Julio	-97,88	-102,72
Agosto	-104,51	-117,57
Septiembre	-119,84	-115,17
Octubre	-129,79	-114,01
Noviembre	-113,95	-99,38
Diciembre	-90,38	-86,80

Vera, 2021

Es necesario enfatizar que, los datos obtenidos de balance hídrico si guardan relación, en los déficits y superávits, no con los valores exactos, pero si presentan cercanía; los meses de febrero, marzo y abril son los que presentan menos proximidad en los valores obtenidos.

Los mapas obtenidos a nivel mensual y anual para el cantón Milagro como resultado de la metodología aplicada en ArcGis, se encuentran en el apartado de anexos (Ver Figura 15 a Figura 26).

5. Discusión

La finalidad de este trabajo fue analizar la influencia del cambio climático en el balance hídrico del cantón Milagro, que se desarrolló mediante tres objetivos, debido a que, al ser un cantón que se dedica netamente a la agricultura es necesario el conocimiento del tiempo, en que las condiciones del clima son óptimas para un mejor desenvolvimiento de los cultivos.

En el balance hídrico climatológico normal del cantón Milagro, se identificó superávit de agua en los meses de enero a abril, lo que significa que, la precipitación es superior a las necesidades de evapotranspiración potencial, e incluso es mayor que el nivel de la capacidad de campo, lo que genera excedentes en los meses de febrero con 244,7 mm, marzo con 198,6 mm y abril con 78,51 mm. También se observó que el mes más seco del año es septiembre, evidenciando relevantes déficits para el balance, los que no logran ser compensados por las reservas de agua en el suelo, las mismas que empiezan a ser utilizadas en los meses de mayo y junio. La demanda de ETP es mayor a las precipitaciones, a partir de mayo hasta diciembre, observando evapotranspiración real en meses que van desde enero hasta mayo, es decir, la ETP y ETR son iguales desde enero a mayo.

Por su parte, el balance hídrico para el escenario optimista del cambio climático muestra meses favorables, en otras palabras, meses donde la precipitación satisface las demandas de ETP, que son de enero a abril, originando excedentes en febrero con 114,8 mm, marzo con 125,8 mm y abril con 20,3 mm. La evapotranspiración real de la zona de influencia se prolonga desde enero a abril y es en el mes de abril donde se utiliza la reserva de agua en el suelo, para cumplir con las necesidades de ETP. La ETP y la ETR presenta valores iguales desde el mes de enero a abril.

En tanto que, para el balance hídrico del escenario pesimista, solo existe superávit para el mes de febrero, este balance hídrico no presenta excedentes en ningún mes, por el contrario, presenta déficit del recurso agua en casi todos los meses. Los meses de febrero y marzo muestran reservas de agua en el suelo, la evapotranspiración real es igual a la precipitación a excepción del mes de febrero.

Mediante el método empírico de la evapotranspiración se obtuvieron estos resultados, sucede lo contrario con el balance hídrico determinado por medio de los SIG, ello se justifica debido a que el programa utilizado, ArcGis, utiliza la interpolación de datos de ambas bases de datos, ocupando los valores de precipitación y temperatura, mientras que en el método tabulado se ocupó solo los valores de precipitación y temperatura de la estación Milagro (M0037); la variación es ocasionada por el método de estimación de las variables en el lugar de estudio.

En los tres balances hídricos desarrollados, tanto en el normal, como en el de los escenarios de cambio climático, la precipitación media es menor que la evapotranspiración lo que indica que la zona de influencia presenta valores de déficit hídrico lo que concuerda con el estudio de Caguana (2015), el cual recalca que en la microcuenca donde realizó su trabajo presentó meses de déficit hídrico, dado que los valores de precipitación y evapotranspiración, son distintos, siendo el primero menor y el segundo mayor, respectivamente.

De la misma manera que Carchi (2015) en su trabajo "Elaboración de un balance hídrico en la cuenca del río Machángara" se evaluó la disponibilidad hídrica del lugar utilizando el método de Thornthwaite para la determinación de la evapotranspiración potencial, coincidiendo en los resultados obtenidos, en que el mes de septiembre es el más seco, y presentando déficits de agua en los meses

desde junio a diciembre, lo que probablemente traerá consecuencia a largo plazo por falta de este recurso.

En este estudio se realizó de dos formas el balance hídrico, uno empíricamente y otro mediante los SIG, en efecto, se comparó los balances hídricos que demostraron similitud en los superávits y déficits de la zona, lo que coincide con el estudio de Loor (2017), al corresponder los excedentes y déficits del lugar de estudio, en donde la precipitación es mayor a la evapotranspiración en los meses de febrero a mayo, y los meses más secos son agosto y septiembre.

6. Conclusiones

El relleno de los datos de las variables climatológicas tuvo consistencia en la información referida, debido a la técnica de correlación que se usó, presentó una tendencia positiva por la relación cercana entre los datos, aunque hubo varios datos faltantes, luego de corregir y rellenar las anomalías encontradas en la estación Milagro, se determinó que existe una consistencia muy buena de los datos ajustados. Lo que brinda garantía al momento de elaborar el balance hídrico climatológico.

La realización del balance hídrico permitió estudiar el comportamiento de las variables climatológicas y la afectación que se produce en el rendimiento del agua, definiendo así las estaciones secas y húmedas; se produce déficits hídricos en los meses de mayo a diciembre, mientras que los meses restantes satisfacen las demandas de evapotranspiración siendo febrero el mes de mayor precipitación, cabe recalcar que, ante la escasez de información. Los escenarios optimista y pesimista indican situaciones críticas de las condiciones del suelo que causará impactos para los recursos hídricos a largo plazo, ya que las precipitaciones serán más escasas y, cuando se analiza desde la perspectiva del escenario pesimista, la condición para el almacenamiento de agua de lluvia para consumo humano y animal es crítica.

En referencia a la disponibilidad hídrica en el cantón Milagro analizado mediante SIG, indica que la precipitación y evapotranspiración durante ciertos intervalos de tiempo es insuficiente el recurso hídrico para satisfacer las necesidades de los cultivos. Este estudio realiza una primera estimación del balance hídrico, lo cual resulta un trabajo importante para el manejo y planificación del recurso agua.

7. Recomendaciones

Es indispensable el mantenimiento de las estaciones para que este modo exista mayor confiabilidad de los datos que se registran a diario, o de modo que se requiera utilizar otro método para determinar la ETP para desarrollar el balance hídrico, es importante asegurarse que las estaciones tengan completos los datos de las variables requeridas.

Comparar la información obtenida de este estudio con el método estándar propuesto por la FAO, Penman-Monteith, debido a que abarca un mayor número de parámetros climáticos permitirá que el balance hídrico sea más preciso.

Utilizar programas satelitales que arrojen valores completos de las variables, tal es el caso del programa POWER Data Access Viewer de la NASA, que contiene datos históricos de estas variables climáticas requeridas.

Usar los datos del balance hídrico para aplicarlo técnicamente, de forma que se pueda preservar este valioso recurso tanto para el ser humano como para los cultivos que se encuentran en la zona de influencia, con el propósito mejorar la cantidad y calidad, aún en los meses donde se observan déficits y existe necesidad de agua en el lugar de influencia.

8. Bibliografía

- Acosta, J., & Winckell, A. (1983). *Apuntes sobre la cartografía de las inundaciones en la cuenca del Guayas*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21849.pdf
- Aguilar, M. J. (2016). *Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, Costa Rica*. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Costa Rica, UNA, Costa Rica. https://www.repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13495/TESIS_FINAL_FEBRERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ávila, H. (2006). Introducción a la metodología de la Investigación. Edición electrónica. En *Eumed.net*. Servicios Académicos Intercontinentales. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/index.htm>
- Baldión, J. (1987). *Conceptos básicos y métodos de cálculo del balance hídrico*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. HIMAT. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/011636/BALANCEHIDRICO.pdf>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*. Grupo de investigaciones en transporte y sedimentos. <https://www.upct.es/~minaeees/hidrologia.pdf>
- Blackburn, W. (2007). *The Sustainability Handbook: The Complete Management Guide to Achieving Social, Economic and Environmental Responsibility*. (J. Justus & S. Fletcher, Eds.). Earthscan Publications Ltd, Index. <https://books.google.com.ec/books?id=miNjQr8DPjoC&pg=PA635&lpg=PA635&dq=Stabilising+Climate+to+Avoid+Dangerous+Climate+Change+-+A+Summary+Of+Relevant+Research+at+the+Hadley+Centre&source=bl&>

ots=dGhT1aH58V&sig=ACfU3U2IO-

LW7IPRv7RPHINsZA2I0URwng&hl=es-419&s

- Cadier, E., & Gómez, G. (1997). *Estudio de las Inundaciones y Sequías en el Ecuador: El proyecto INSEQ*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-05/010056884.pdf
- Caguana, J. (2015). *Determinación del balance y demanda hídrica en la microcuenca del río Atapo, parroquia Palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo* (Tesis de Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4878/1.pdf>
- Carchi, E. (2015). *Elaboración de un balance hídrico de la cuenca del río Machángara*. (Tesis de Pregrado) Universidad de Cuenca, Azuay, Ecuador <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23005/1/TESIS.pdf>
- Carrasco, N. (2014). *Estimación del caudal ecológico en las vertientes anexas a la parroquia de Cangahua sujetas a la intervención del proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla, que garantice la sustentabilidad ambiental de la zona*. (Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7554/6/UPS-ST001302.pdf>
- Chereque, W. (2011). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. CONCYTEC. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIIFEN. (2016). *Variabilidad Climática y Extremos*. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Centro Regional del Clima.

http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573:variabilidad-climatica-y-extremos&catid=98&Itemid=131&lang=es

Correa, E., & Comim, F. (2013). Mudança climática e desenvolvimento humano: Uma análise baseada na Abordagem das Capacitações de Amartya Sen. *Economía Sociedad y Territorio*, *XIII*(43), 577-618. <https://doi.org/10.22136/est00201340>

Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., & Totterdell, I. J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature Publications Index*, *408*(6809), 184-187. <https://doi.org/10.1038/35041539>

Custodio, E., Llamas, M., & Sahuquillo, A. (2000). Retos de la hidrología subterránea. *Ingeniería del agua*, *7*(1), 23. Universidad Politécnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2834>

Del Toro, F., Kretzschmar, T., & Hinojosa, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y ciencias del agua*, *5*(6), 69-81. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000600005&lng=es&tlng=es.

Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., & Delgado, M. (2019). Estimation of the Water Balance of a Small Tropical Andean Catchment. *La Granja*, *29*(1), 56-69. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>

El Telégrafo. (2017). *El desbordamiento de un río deja el 90% de Milagro bajo el agua*. El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayas/1/el-desbordamiento-de-un-rio-deja-el-90-de-milagro-bajo-el-agua>

- ENCA. (2016). *ESTRATEGIA NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA*.
https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- Endersby, P. (2019). *Effects of climate change*. Met Office.
<https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate-change/effects-of-climate-change>
- EPA. (2017). *Climate Impacts on Water Resources*. EPA U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-water-resources_.html#:~:text=Warmer%20temperatures%20increase%20the%20rate,excess%20precipitation%20on%20other%20areas.
- Erman, A., Tariverdi, M., Obolensky, M., Chen, X., Vincent, R., Malgioglio, S., Rentschler, J., Hallegatte, S., & Yoshida, N. (2019). Wading Out the Storm—The Role of Poverty in Exposure, Vulnerability and Resilience to Floods in Dar Es Salaam. *Policy Research Working Paper*.
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/788241565625141093/pdf/Wading-Out-the-Storm-The-Role-of-Poverty-in-Exposure-Vulnerability-and-Resilience-to-Floods-in-Dar-Es-Salaam.pdf>
- FAO. (2009). *Evapotranspiración del cultivo* (N.º 56; Estudio FAO, riego y drenaje). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Fennell, M. (2013). *Las concesiones de la prestación del servicio de agua potable por parte de sujetos privados desde la perspectiva del derecho ambiental: El caso Sardinal de Carrillo, Guanacaste* (Tesis de Pregrado) Universidad

de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2103/35936.pdf?sequence=1>

Francisco, P., Medeiros, R., & Melo, V. (2016). *Estudo Agroclimático do Município de Cabaceiras-PB*. Campina Grande: EDUFPG.

GAD Municipal de Milagro. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón San Francisco de Milagro*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD) del cantón Milagro. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0960000730001_DIAGN%C3%93STICO,%20PROPUESTA%20Y%20MODELO%20DE%20GESTION_16-03-2015_16-48-06.pdf

Göltenboth, F., & Erdelen, W. (2006). Ecology of Insular Southeast Asia—The Indonesian Archipelago. *Science Direct - Elsevier*, 18. <https://doi.org/10.1016/B978-044452739-4/50001-2>

Gu, L., Chen, J., Xu, C.-Y., Kim, J.-S., Chen, H., Xia, J., & Zhang, L. (2019). The contribution of internal climate variability to climate change impacts on droughts. *Science of The Total Environment*, 684, 229-246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.345>

Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Universidad Abya-Yala. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6758/1/Hidrologia%20basica%20y%20aplicada.pdf>

Hämmerly, R. D. C. (2001). *Modelación de la evapotranspiración con métodos de balance de agua*. (Tesis de Posgrado) Universidad Nacional del Litoral, <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/262/Tesis.pdf>

- Ibáñez, L. (2013). *El tiempo atmosférico y la hidrología*. Departamento de Irrigación. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
<https://es.readkong.com/page/el-tiempo-atmosferico-y-la-hidrologia-1675698>
- IPCC. (2007). *Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2018). *Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. (V. Masson, P. Zhai, H. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield, Eds.). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Activity IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- IPCC. (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*. (T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung,

- A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. Midgley, Eds.). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Activity IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf
- ISWS. (2013). *Potential Impacts of Climate Change on Water Availability*. Illinois State Water Survey. University of Illinois Board of Trustees. https://www.isws.illinois.edu/iswsdocs/wsp/climate_impacts_012808.pdf
- Kelly, W. R., Abrams, D. B., Knapp, H. V., Zhang, Z., Dziegielewski, B., Hadley, D. R., Roadcap, G. S., Mannix, D. H., Lian, Y., Meyer, S. C., & Thomason, J. F. (2018). Water Supply Planning: Middle Illinois Assessment of Water Resources for Water Supply Final Report. *Semantic Scholar*, 124. <https://pdfs.semanticscholar.org/76a0/74da7d7fbffe5c4c83731b717be2a20539b1.pdf>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lascano, B., & León, O. (2011). *Edición de un medio de comunicación impreso (revista) sobre los principales productos agrícolas del cantón Milagro*. - (Tesis de Pregrado) Universidad Estatal de Milagro, Guayas, Ecuador. <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/414/3/Edici%C3%B3n%20de%20un%20medio%20de%20comunicaci%C3%B3n%20escrito%20%28revista%29%20sobre%20los%20principales%20productos%20agr%C3%ADcolas%20del%20cant%C3%B3n%20Milagro.pdf>

- Lasso, A. (2018). *Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para la prevención de la población frente a inundaciones en el Cantón Milagro*. (Disertación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Leitón, J. (1985). *Riego y drenaje*. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Loor, Y. (2017). *Estudio del balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguarongo* (Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14459/1/UPS-CT007122.pdf>
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. Instituto de Geografía, Ciudad de México, México.
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/27/27/80-1>
- Medeiros, R. M. de, Kassar, C., Tavares, A., Melo, A., & Francisco, P. (2012). Avaliação das condições hídricas por meio do panorama de mudanças climáticas em cabaceiras-pb. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 6(3), 227-239. <https://doi.org/10.7127/rbai.v6n300088>
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Science Publications Index*, 319(5863).
<https://doi.org/10.1126/science.1151915>
- Ministerio de Salud Pública. (2008). *Respuesta del Ministerio de Salud Pública frente a las inundaciones: Región Ecuador, 2008*. MSP.
https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_docman&view=download

- &alias=70-respuesta-del-ministerio-de-salud-publica-frente-a-las-inundaciones-ecuador-2008&category_slug=comunicacion-social&Itemid=5
- Montaner, M. E., & Sánchez, E. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil. *Papeles de Geografía*, 14, 223-235.
- MSP, & OPS. (2005). *El Fenómeno El Niño en Ecuador*. EIRD. <https://eird.org/estrategias/pdf/spa/doc12863/doc12863-10.pdf>
- Mulhollem, J. J., Colombo, R. E., & Wahl, D. H. (2016). Effects of heated effluent on Midwestern US lakes: Implications for future climate change. *Aquatic Sciences*, 78(4), 743-753. <https://doi.org/10.1007/s00027-016-0466-3>
- NASA. (2020). *Los efectos del cambio climático*. NASA - Global Climate Change. <https://climate.nasa.gov/efectos/>
- Nugroho, A. R., Tamagawa, I., Riandraswari, A., & Febrianti, T. (2019). Thornthwaite-Mather water balance analysis in Tambakbayan watershed, Yogyakarta, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 280, 05007. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928005007>
- OAS. (2016). *Variabilidad climática*. OAS - Organization of American States. <http://www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/dialogo/dialogo/01-characterization/05-Climate.html#:~:text=La%20variabilidad%20clim%C3%A1tica%20difiere%20de,un%20per%C3%ADodo%20lo%20suficientemente%20largo>
- Ochoa, M., Castellanos, R., Ochoa, Z., & Oliveros, J. (2015). Variabilidad y cambio climáticos: Su repercusión en la salud. *MEDISAN*, 19(7), 873-885. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192015000700008&lng=es&tlng=es.

- OMM. (2019). *El clima mundial: Entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático*. Organización Meteorológica Mundial. Madrid, España. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-clim%C3%A1tico>
- OMS. (2018). *Cambio climático y salud*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cambio-clim%C3%A1tico-y-salud>
- ONU. (1992). *CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Organización de las Naciones Unidas.
- ONU. (2020). *Cambio climático: El año 2019, el segundo más cálido registrado tras 2016*. Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1468012>
- Ordóñez, J. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Sociedad Geográfica de Lima. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Paucar, E. (2017). *Milagro soportó una de las inundaciones más fuertes desde El Niño*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/milagro-inundaciones-elnino-guayas-emergencia.html>
- Rolim, G., & Sentelhas, P. (1999). *Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1955)*.
- Rossel, F., Cadier, E., & Gómez, G. (1996). Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: Causas; obras de protección existentes y previstas. *Bulletin de L'Institut Francais d'Etudes Andines*, 25(3), 399-420. https://www.researchgate.net/publication/26430989_Las_inundaciones_en_la_zona_costera_ecuatoriana_causas_obras_de_proteccion_existentes_y_previstas

- Saharia, M., Kirstetter, P.-E., Vergara, H., Gourley, J. J., & Hong, Y. (2017). Characterization of floods in the United States. *Journal of Hydrology*, 548, 524-535. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.010>
- Salvador, S. (2005). *Balance Hídrico Integrado y dinámico en el Salvador. Componente de la Evaluación de los Recursos Hídricos*. <https://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>
- Sánchez, F. (2004). *El Ciclo Hidrológico*. Universidad de Salamanca. <http://web.usal.es/javisan/hidro>
- Sánchez, G. (2014). *Diseño y construcción de una trituradora de papel ecológica eléctrica alimentada por energía solar* (Tesis de Grado) Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/615/1/T-UIDE-0565.pdf>
- Santos, G. O., Lima, F. B. de, & Vanzela, L. S. (2013). Balanço hídrico espacial das culturas inseridas na bacia hidrográfica do ribeirão santa Rita, noroeste paulista. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 7(1), 03-16. <https://doi.org/10.7127/rbai.v7n100091>
- Secretaría de Ambiente. (2009). *Estrategia Quiteña al Cambio Climático*. http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC1AC3_Estrategia_Quite%C3%B1a_al_cambio_clim%C3%A1tico.pdf
- SENAMHI. (2013). *Balance hídrico superficial—Cuenca del Río Chicama*. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.
- Tam Málaga, J., Vera, G., & Oliveros Ramos, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica*. Revista de Escuela de Posgrado.

http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf

Targa, M. D. S., Pohl, E., & da Silva, A. (2019). Water balance in soil covered by regenerating rainforest in the Paraíba Valley region, São Paulo, Brazil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(6), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2482>

Thornthwaite, C., & Matter, J. (1955). *The Water Balance* (Publications In Climatology). Drexel, University.

UNESCO. (2006). *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228136>

Velásquez, M., & Poveda, G. (2019). Estimación del balance hídrico de la región Pacífica Colombiana. *DYNA. Universidad Nacional de Colombia.*, 86(208), 297-306. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.73587>

Verbist, K. M. J., Maureira, H., Rojas, P., & Vicuña, S. (2020). A stress test for climate change impacts on water security: A CRIDA case study. *Climate Risk Management*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100222>

Vergara, M., Ellis, E., Cruz, J., Alarcón, L. del C., & Galván, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo y desastre ambiental. *Política y cultura*, 36, 45-69. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200003&lng=es&tlng=es.

Whittow, J. (1984). *Dictionary of Physical Geography*. (p. 591). https://books.google.com.ec/books/about/The_Penguin_Dictionary_of_Physical_Geogr.html?id=nvR_AAAAMAAJ&redir_esc=y

- Winstanley, D., Angel, J., Changnon, S., Knapp, V., Kunkel, K., Palecki, M., Scott, R., & Wehrman, A. (2006). The Water Cycle and Water Budgets in Illinois: A Framework for Drought and Water-Supply Planning. *Illinois State Water Survey*, 132.
- WMO. (1994). *Guide to hydrological practices, no. 168*. World Meteorological Organization. <http://www.whycos.org/hwrp/guide/index.php>
- WMO. (2014). *What is Climate?*. World Meteorological Organization. <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>
- WMO. (2015). *Floods*. World Meteorological Organization. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/water/floods>
- WMO. (2020). *Extreme summer impacts ice shelves and glaciers*. World Meteorological Organization, Global Cryosphere Watch. <https://public.wmo.int/en/media/news/extreme-summer-impacts-ice-shelves-and-glaciers>

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Figuras y tablas complementarias.

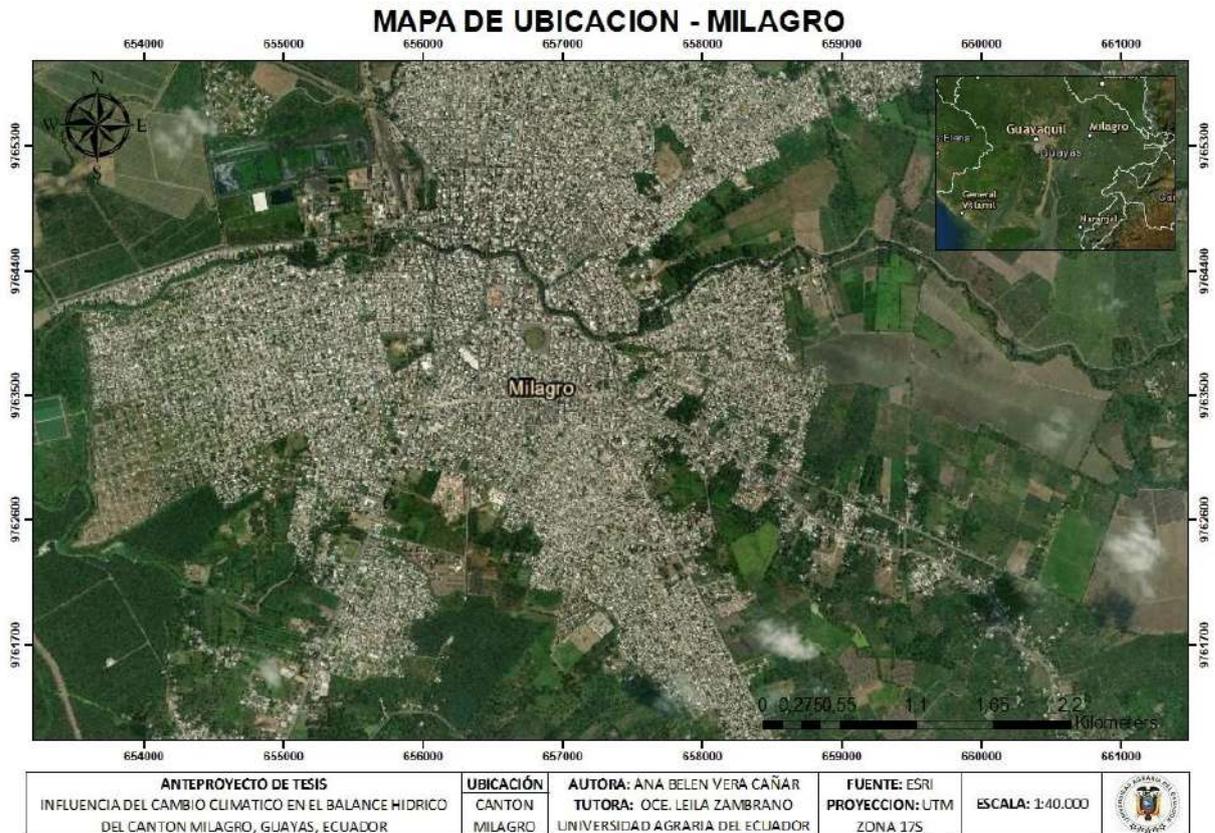


Figura 12. Mapa de área de estudio
Google Earth, 2020

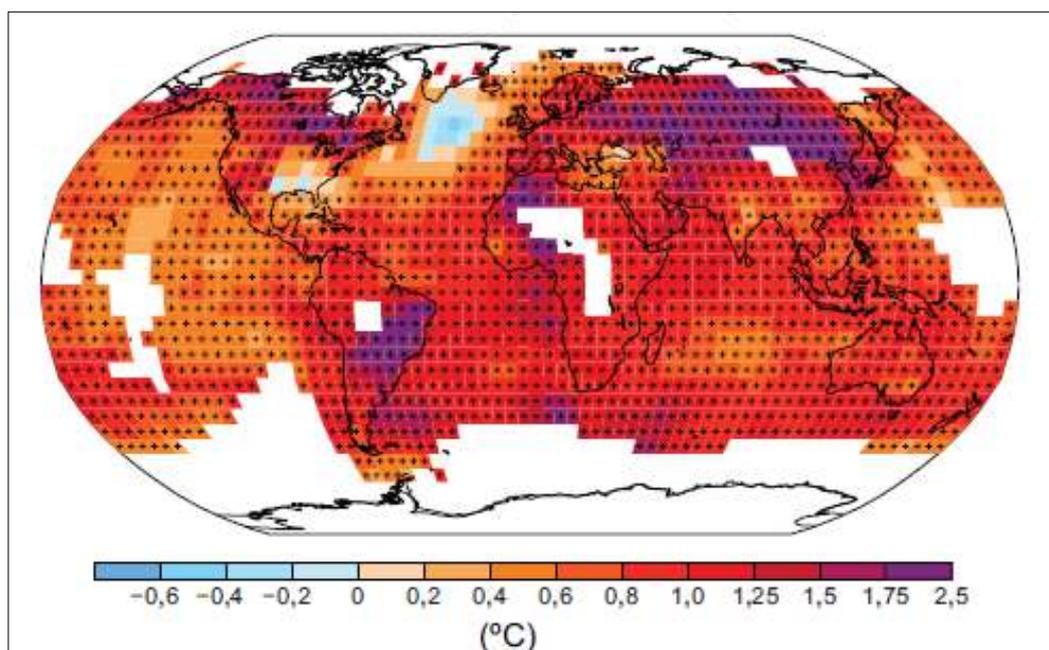


Figura 13. Anomalías observadas en la temperatura de las superficies durante 1850-2012.
IPCC, 2007

Hemisferio Norte												Lat. grad.	Hemisferio Sur											
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

¹ Los valores de N durante el día 15^{mo} del mes, proveen una buena estimación (error <1%) de N promediada sobre todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes muy elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.

Figura 14. Tabla teórica de valores de horas luz para método Thornthwaite
FAO, 2009

Tabla 12. Suma de precipitaciones para aplicación del análisis de doble masa.

AÑOS	Datos de la NASA		Estación Milagro (M0037) INAMHI	
	PP (mm)	PP acumulada	PP (mm)	PP acumulada
1980	292,10	292,10	963,30	963,30
1981	768,24	1060,34	986,70	1950,00
1982	831,38	1891,72	967,10	2917,10
1983	2102,34	3994,06	3823,10	6740,20
1984	858,06	4852,12	1315,10	8055,30
1985	470,63	5322,75	524,80	8580,10
1986	766,84	6089,59	1170,80	9750,90
1987	1455,55	7545,14	2272,80	12023,70
1988	693,53	8238,67	1174,50	13198,20
1989	1125,65	9364,32	1573,70	14771,90
1990	566,11	9930,43	793,20	15565,10
1991	596,66	10527,09	833,00	16398,10
1992	1391,18	11918,27	2359,00	18757,10
1993	1010,01	12928,28	1782,50	20539,60
1994	784,90	13713,18	1224,50	21764,10
1995	697,18	14410,36	819,10	22583,20
1996	601,49	15011,85	826,90	23410,10
1997	2197,40	17209,25	3549,60	26959,70
1998	2569,62	19778,87	4130,40	31090,10
1999	1155,39	20934,26	1582,74	32672,84
2000	895,95	21830,21	930,10	33602,94
2001	1046,64	22876,85	1708,50	35311,44
2002	1214,28	24091,13	1374,37	36685,81
2003	729,56	24820,69	688,74	37374,54
2004	718,12	25538,81	821,98	38196,52
2005	191,61	25730,42	678,30	38874,82
2006	492,19	26222,61	1151,51	40026,33
2007	258,23	26480,84	848,03	40874,36
2008	1148,21	27629,05	2086,00	42960,36
2009	541,03	28170,08	1161,50	44121,86
2010	691,96	28862,04	1369,50	45491,36
2011	663,60	29525,64	912,10	46403,46
2012	1251,98	30777,62	2077,70	48481,16
2013	810,16	31587,78	1030,80	49511,96
2014	507,90	32095,68	1161,40	50673,36
2015	770,40	32866,08	1243,70	51917,06
2016	814,36	33680,44	1320,40	53237,46
2017	1365,50	35045,94	2280,80	55518,26
2018	122,77	35168,71	136,04	55654,30
2019	25,70	35194,41	41,96	55696,27

Vera, 2021

Tabla 13. Series de precipitaciones de la estación meteorológica Milagro (M0037) INAMHI

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1980	103,9	205,9	288,5	337,8	14,4	0,4	0,0	0,0	0,0	2,8	1,0	8,6	963,3
1981	121,8	330,5	327,9	160,3	1,6	0,1	6,6	0,2	0,0	1,2	0,1	36,4	986,7
1982	127,7	133,6	30,8	27,0	7,8	0,8	0,4	0,0	2,3	50,5	218,9	367,3	967,1
1983	436,5	418,1	661,7	790,0	431,7	442,7	456,4	0,4	89,3	5,6	6,7	84,0	3823,1
1984	8,5	621,0	304,0	266,5	8,5	22,3	8,5	0,0	1,9	2,6	0,8	70,5	1315,1
1985	119,4	67,8	208,7	42,3	2,3	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	83,6	524,8
1986	559,2	216,8	56,7	174,9	3,4	0,1	0,1	0,6	1,4	3,0	0,9	153,7	1170,8
1987	476,4	696,9	531,7	392,3	103,6	0,0	0,3	6,5	0,2	2,4	0,0	62,5	2272,8
1988	434,1	277,0	29,8	262,3	124,3	0,7	0,8	0,0	0,2	0,6	0,0	44,7	1174,5
1989	520,3	471,1	305,0	234,0	36,0	3,5	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	1,6	1573,7
1990	56,3	302,7	177,6	110,8	28,4	43,8	0,2	0,1	0,4	4,5	0,5	67,9	793,2
1991	60,5	448,4	222,4	10,8	25,7	1,4	1,4	0,4	0,9	0,6	1,7	58,8	833,0
1992	127,3	628,7	687,5	506,4	382,4	11,8	5,9	0,3	0,1	0,7	3,7	4,2	2359,0
1993	237,6	669,6	389,5	275,8	59,0	0,5	1,1	0,0	0,0	2,0	0,4	147,0	1782,5
1994	255,0	317,7	264,2	199,3	43,9	0,2	0,0	0,0	0,2	0,6	4,4	139,0	1224,5
1995	308,1	203,2	159,7	108,0	15,6	0,0	3,9	0,1	0,6	0,2	2,1	17,6	819,1
1996	79,5	355,7	338,6	42,0	0,8	0,1	0,5	0,0	0,1	0,0	1,0	8,6	826,9
1997	208,6	487,2	680,0	381,5	99,5	200,5	156,3	31,7	127,1	30,5	551,2	595,5	3549,6
1998	712,7	846	966,4	957,3	517,8	91,4	33,8	0,0	0,5	0,4	0,9	3,2	4130,4
1999	113,5	519,8	-	207,5	60,3	2,1	0,0	0,0	2,9	3,5	3,8	82,0	995,4
2000	110,1	221,4	284,9	164,1	134,1	5,9	0,0	0,0	3,5	2	0,1	4,0	930,1
2001	376	386,6	748,4	179,5	16,7	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	1708,5
2002	57,1	590,2	594	278,8	6,5	5,8	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	55,9	1593,6
2003	115,2	337	173,1	90,7	51,9	0,8	0,4	0,0	0,0	1,3	0,0	28,2	798,6
2004	101,7	275,4	332,7	145,6	66	2,3	1,0	0,0	5,9	1,5	0,4	20,6	953,1
2005	131	201,5	263,8	120,0	25,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0	1,1	44,0	786,5
2006	316,9	573,8	339	20,0	56,0	2,1	0,0	1,4	0,0	0,1	2,7	23,2	1335,2
2007	211,1	97,5	481,6	162,0	15,9	3,0	1,2	0,0	0,0	2,9	5,1	3,0	983,3
2008	468	669,8	619,2	272,9	48,4	1,0	0,2	0,6	2,9	2,5	0,4	0,1	2086,0
2009	456,9	380,8	187,6	49,1	66,1	2,4	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	18,0	1161,5
2010	163,5	464,9	238,4	330,5	34,8	1,3	3,3	0,7	0,0	0,2	7,1	124,8	1369,5
2011	158,1	263,2	39,2	393,8	0,6	18,3	31,5	0,1	0,0	0	0,5	6,8	912,1
2012	457,5	806,2	494,1	223,1	85	0,4	0,0	0,0	0,0	4,9	0,4	6,1	2077,7
2013	292	253,5	329,5	132,4	15,6	1,6	2,0	2,7	0,1	0	0,0	1,4	1030,8
2014	398	301,5	125,4	53,7	262,3	3,1	1,5	1,1	2,9	11,4	0,0	0,5	1161,4
2015	104,3	209,4	329,9	269,3	254,1	50,2	1,9	0	0,0	5,5	1,8	17,3	1243,7
2016	329,4	305,7	449,5	228,9	4,2	0,1	0,2	0,4	0,8	0,1	0,0	1,1	1320,4
2017	256,1	535,8	667,2	505,0	271,8	4,4	0,0	0,4	0,0	1,3	0,6	38,2	2280,8
2018	97,3	370,3	234,9	23,5	51,2	1,6	1,0	0,1	1,0	0,7	0,9	72,6	855,1
2019	56,87	103,5	67,75	11,3	1,9	1,67	0,91	3	0,4	3,56	10,3	2,6	263,79

Fuente: INAMHI

Tabla 14. Series de temperatura de la estación meteorológica Milagro (M0037) INAMHI

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	-	26,8	-	-	26,6	-	24,1	-	24,8	-	-	-
1981	-	-	27,2	21,8	-	-	24,8	-	-	-	-	26,5
1982	26,6	26,9	27,9	27,1	25,9	25,7	-	-	26,1	26,9	27,1	27,8
1983	27,9	28,2	-	-	28,0	27,2	26,0	-	-	25,4	-	-
1984	26,2	26,1	-	26,7	-	25,3	27,2	-	26,0	-	26,1	-
1985	25,9	26,0	26,5	26,5	-	25,5	22,8	24,1	24,7	-	25,3	25,8
1986	-	26,4	26,8	26,6	26,1	23,7	-	25,4	25,8	-	26,6	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	27,4	28,0	27,8	27,4	26,1	25,1	-	25,2	-	27,3	-
1989	26,5	26,8	27,2	27,2	25,2	24,4	24,2	-	25,6	25,8	26,4	27,1
1990	-	27,5	28,0	28,0	-	26,5	-	-	26,2	26,2	26,4	27,1
1991	-	27,9	27,9	28,0	27,7	27,0	-	-	25,5	-	27,3	-
1992	-	-	-	-	27,3	-	-	-	25,8	25,3	26,0	-
1993	26,9	27,0	-	27,6	27,5	26,3	26,2	-	26,2	26,4	26,5	27,5
1994	27,3	26,9	-	27,4	-	-	23,5	24,3	25,3	26,6	26,5	27,5
1995	28,1	27,5	27,8	28,1	27,5	27,0	26,0	-	26,0	-	26,4	-
1996	27,5	26,0	-	-	26,5	25,1	24,5	-	26,0	26,0	-	27,5
1997	27,0	26,3	27,1	27,3	27,5	27,4	27,5	27,0	28,0	-	-	-
1998	-	28,6	-	28,4	28,0	-	26,4	25,6	26,7	26,0	26,5	26,5
1999	26,3	26,5	-	26,8	26,1	24,9	24,1	24,5	25,6	25,6	26,8	26,2
2000	26,3	26,4	26,0	26,7	26,1	25,7	23,8	24,7	25,7	26,0	26,4	26,9
2001	27,6	-	27,1	27,4	26,6	-	24,5	-	-	25,8	26,5	28,0
2002	28,5	26,5	27,7	-	27,9	25,8	25,9	-	26,1	25,8	27,1	27,5
2003	27,2	27,1	28,1	27,3	27,4	25,3	-	26,3	25,3	26,3	27,2	25,8
2004	27,5	27,4	27,6	27,3	26,4	24,9	25,5	24,8	25,9	26,7	26,2	27,4
2005	28,1	-	27,0	28,0	26,3	25,4	25,6	25,1	26,3	26,2	25,9	-
2006	-	27,2	27,5	27,5	27,4	25,7	25,7	26,8	-	26,7	27,3	28,2
2007	-	-	-	27,8	27,3	-	25,4	25,3	25,1	-	26,7	26,9
2008	27,2	26,2	-	-	27,3	26,3	-	-	26,4	26,5	26,0	27,4
2009	27,5	-	27,2	27,9	27,6	-	25,6	26,8	25,7	27,0	26,8	28,3
2010	28,5	28,2	28,4	28,1	27,2	27,2	26,5	26,1	26,4	27,1	25,5	25,9
2011	27,4	27,1	27,9	28,0	27,1	26,8	-	25,1	26,1	25,9	26,7	27,7
2012	26,7	26,9	27,7	27,4	27,2	27,1	26,1	25,9	26,5	27,4	26,6	27,5
2013	27,5	27,0	27,7	27,2	-	-	-	26,2	26,7	27,0	26,7	27,0
2014	27,2	-	27,5	27,8	27,8	-	26,9	27,0	26,6	27,3	26,7	28,1
2015	-	28,2	28,2	-	28,3	27,7	27,5	26,4	-	27,5	27,7	29,0
2016	28,1	28,1	-	-	-	-	25,9	-	27,0	-	-	-
2017	-	28,1	-	-	27,5	26,9	-	26,1	26,6	27,4	26,6	27,9
2018	27,7	27,4	27,2	28,2	27,5	26,1	26,3	26,0	26,7	26,2	27,8	27,4

Fuente: INAMHI

9.2 Anexo 2: Mapas elaborados mediante SIG de Balances Hídricos Mensual y Anual del Cantón Milagro.

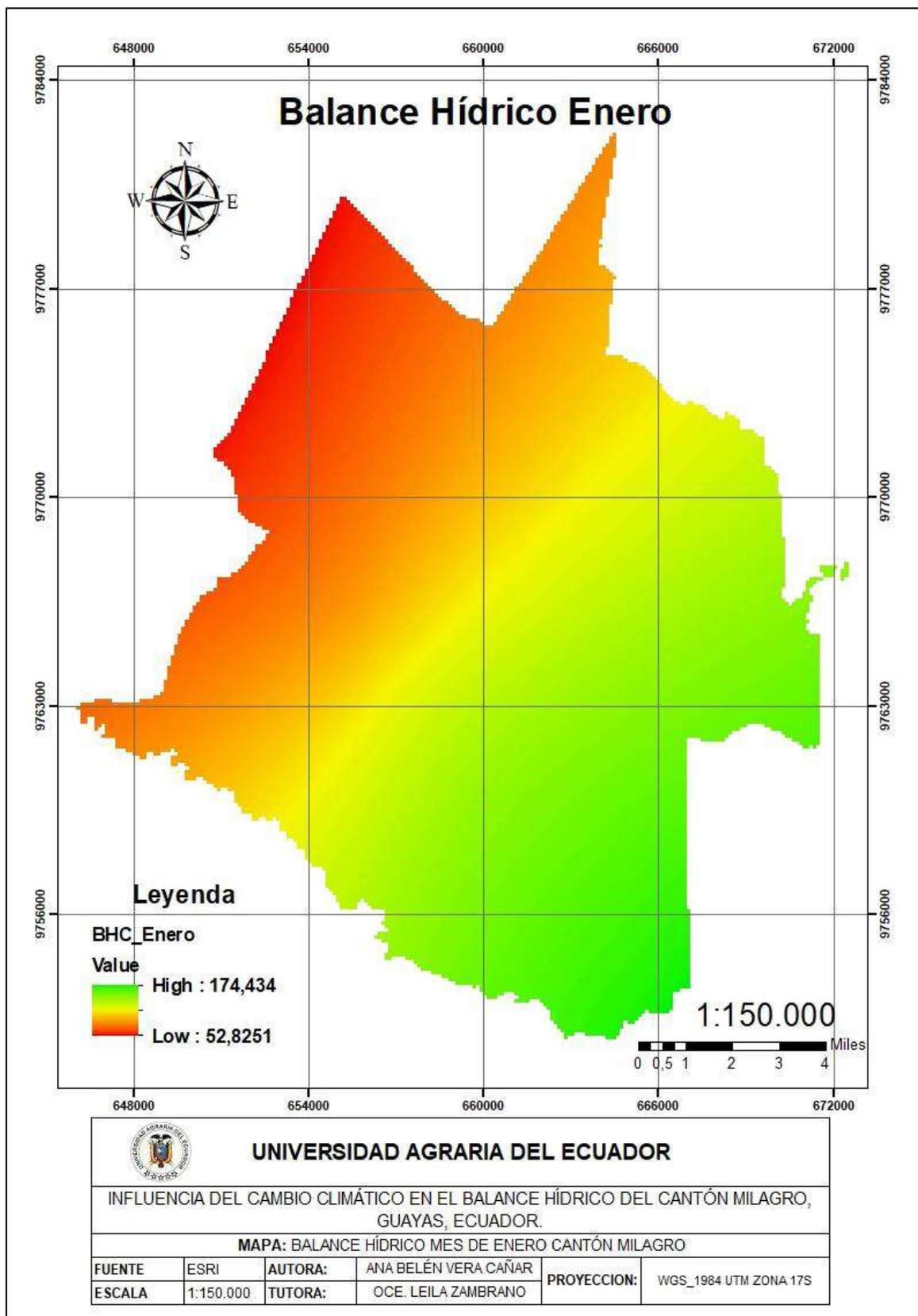


Figura 15. Mapa Balance Hídrico mes de enero Cantón Milagro

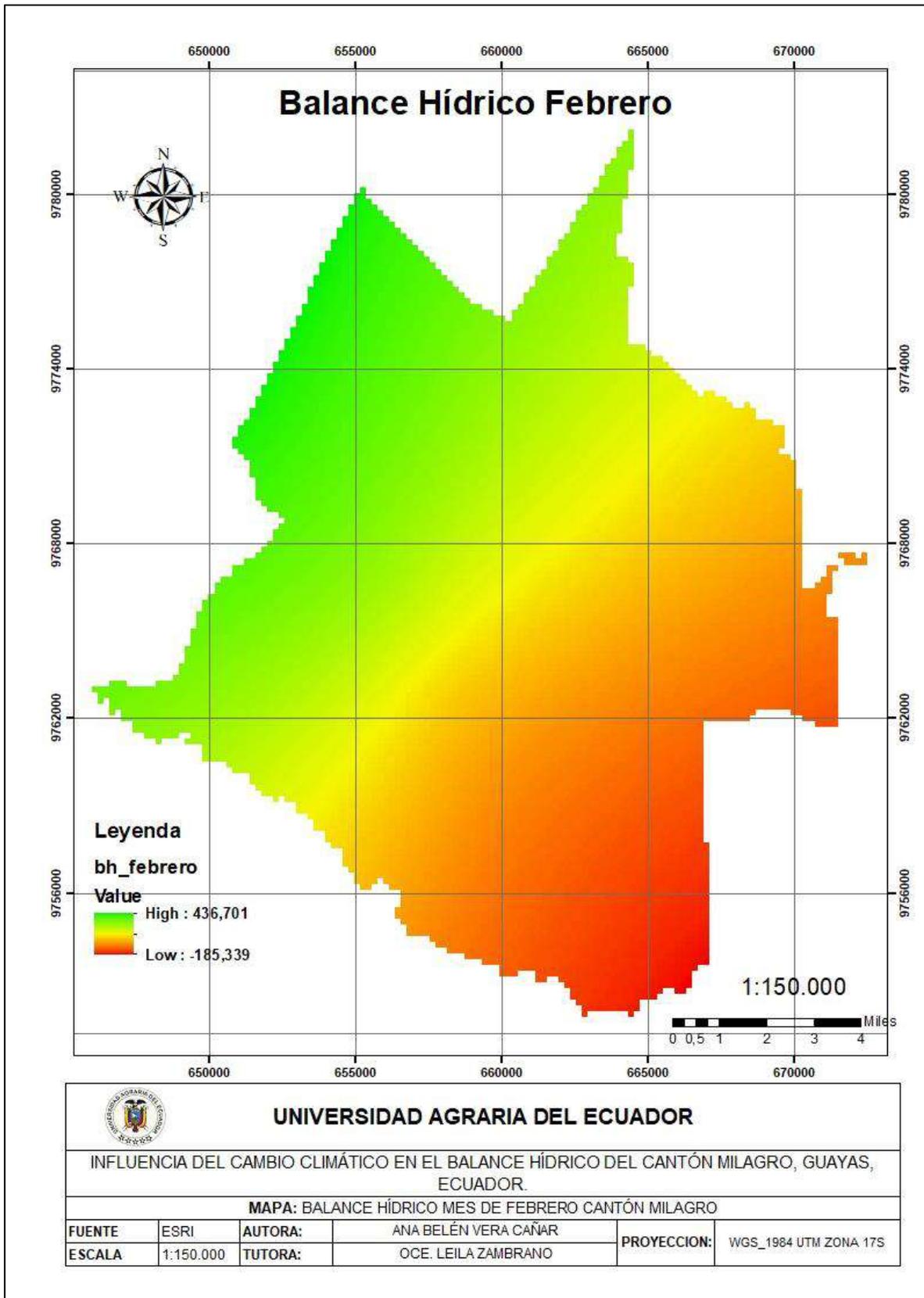


Figura 16. Mapa Balance Hídrico mes de febrero Cantón Milagro

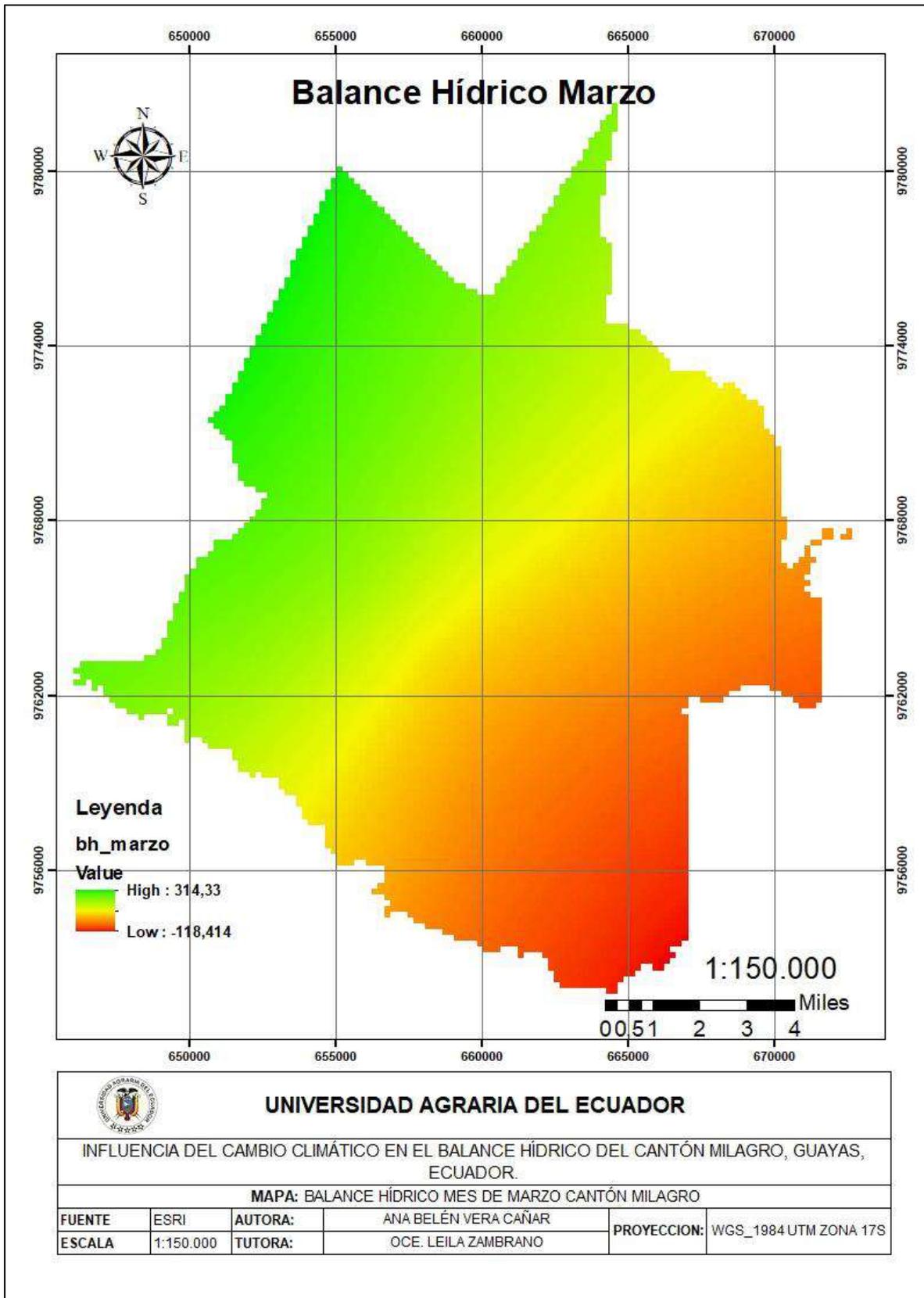


Figura 17. Mapa Balance Hídrico mes de marzo Cantón Milagro

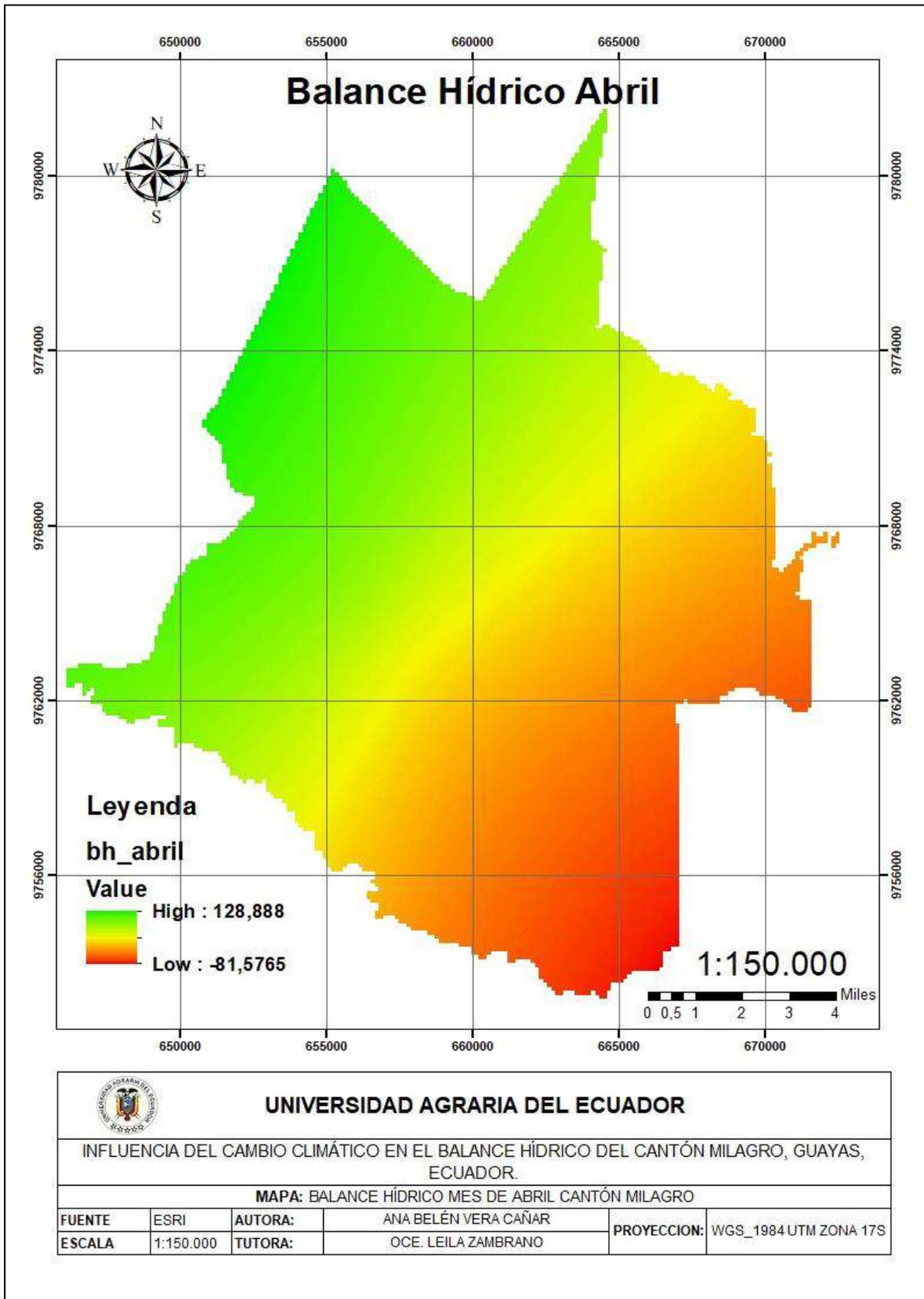


Figura 18. Mapa Balance Hídrico mes de abril Cantón Milagro

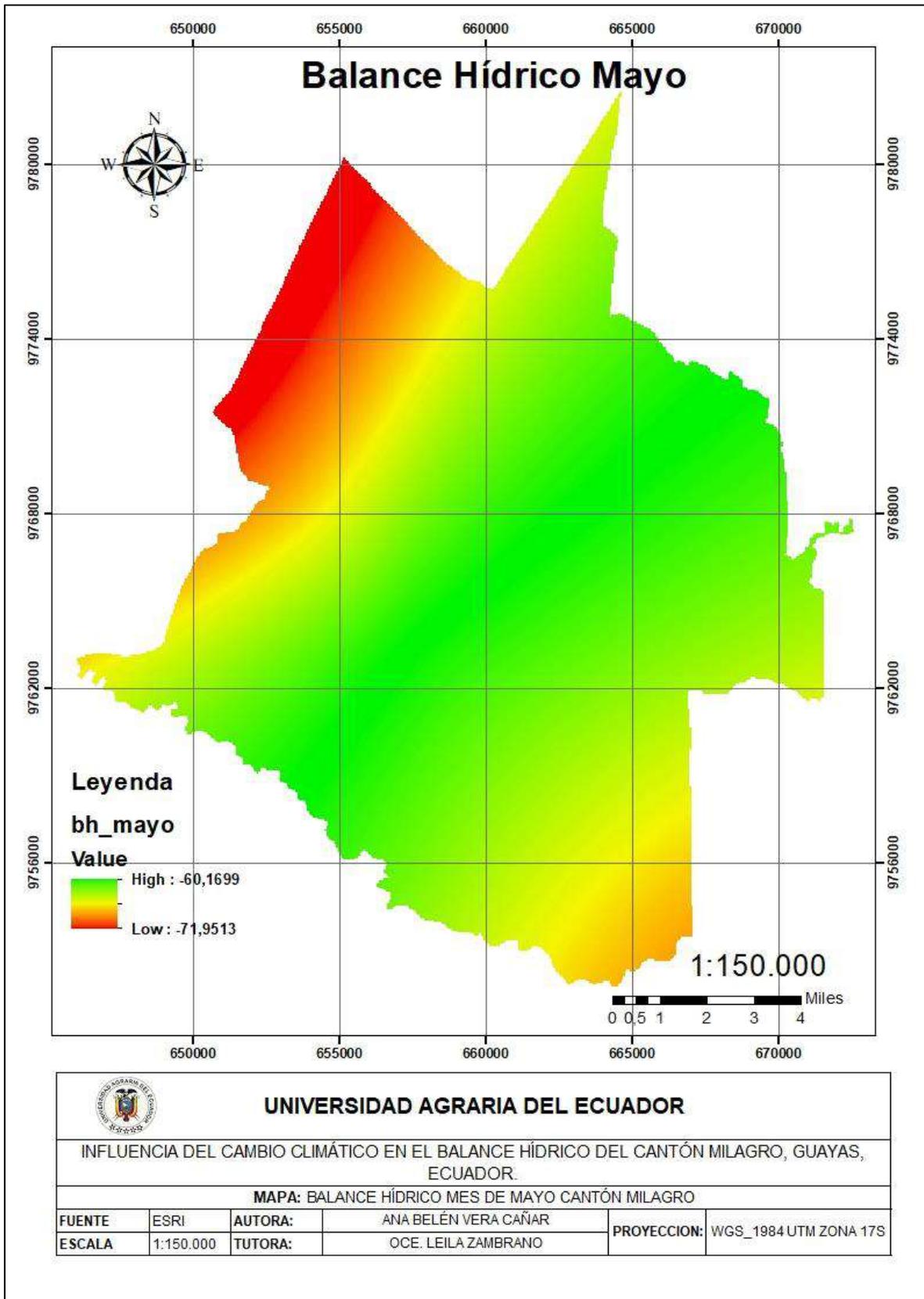


Figura 19. Mapa Balance Hídrico mes de mayo Cantón Milagro

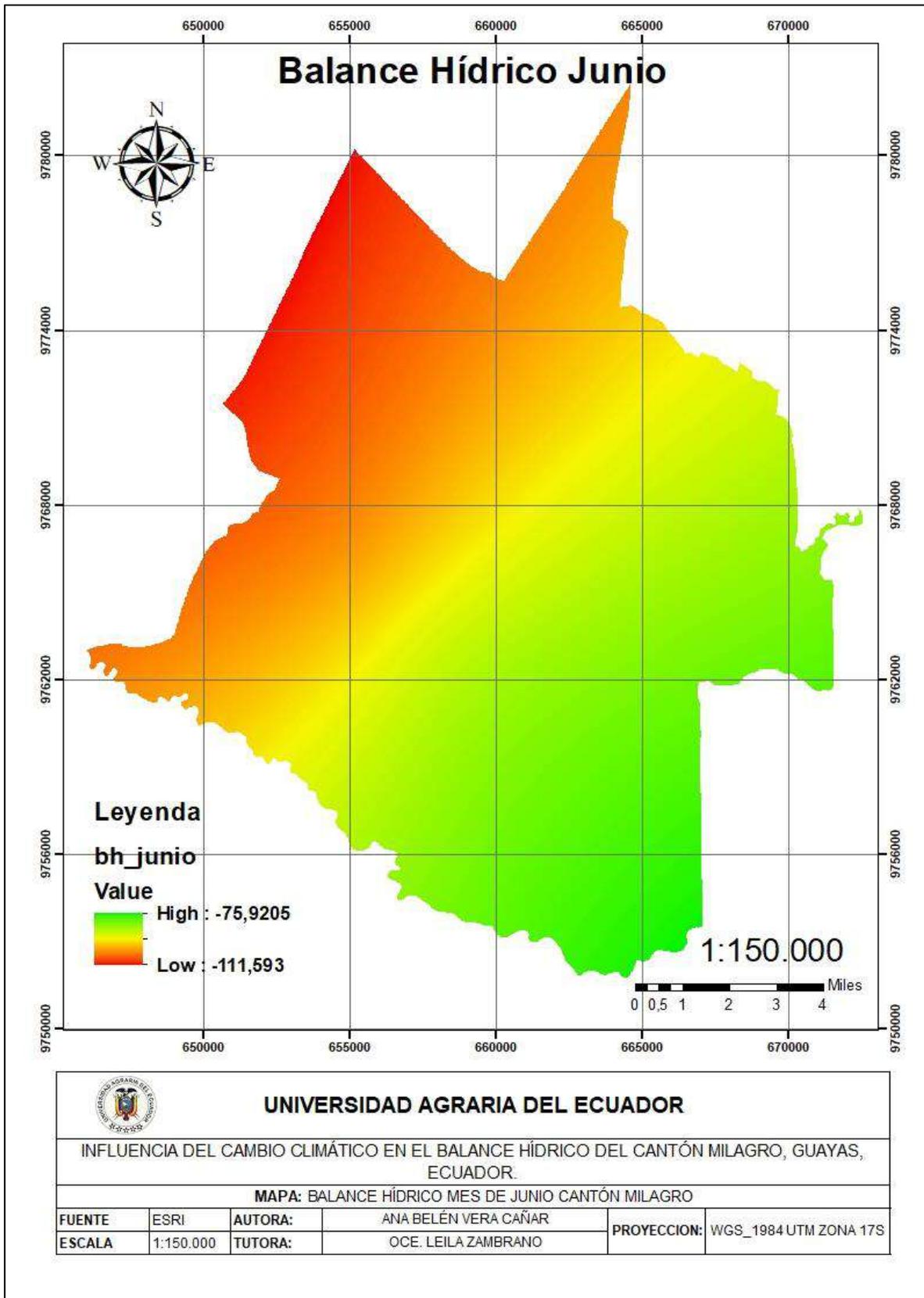


Figura 20. Mapa Balance Hídrico mes de junio Cantón Milagro

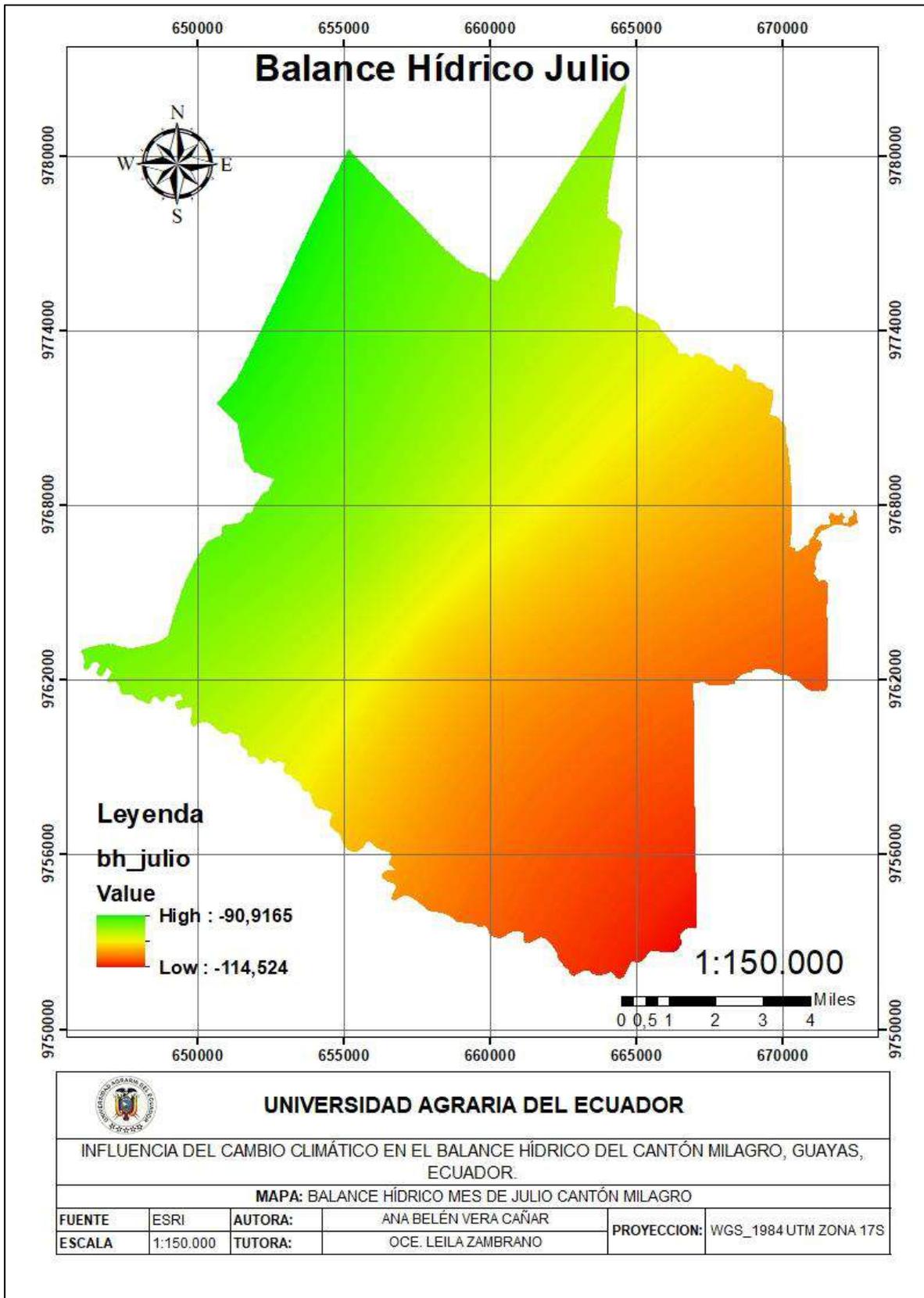


Figura 21. Mapa Balance Hídrico mes de julio Cantón Milagro

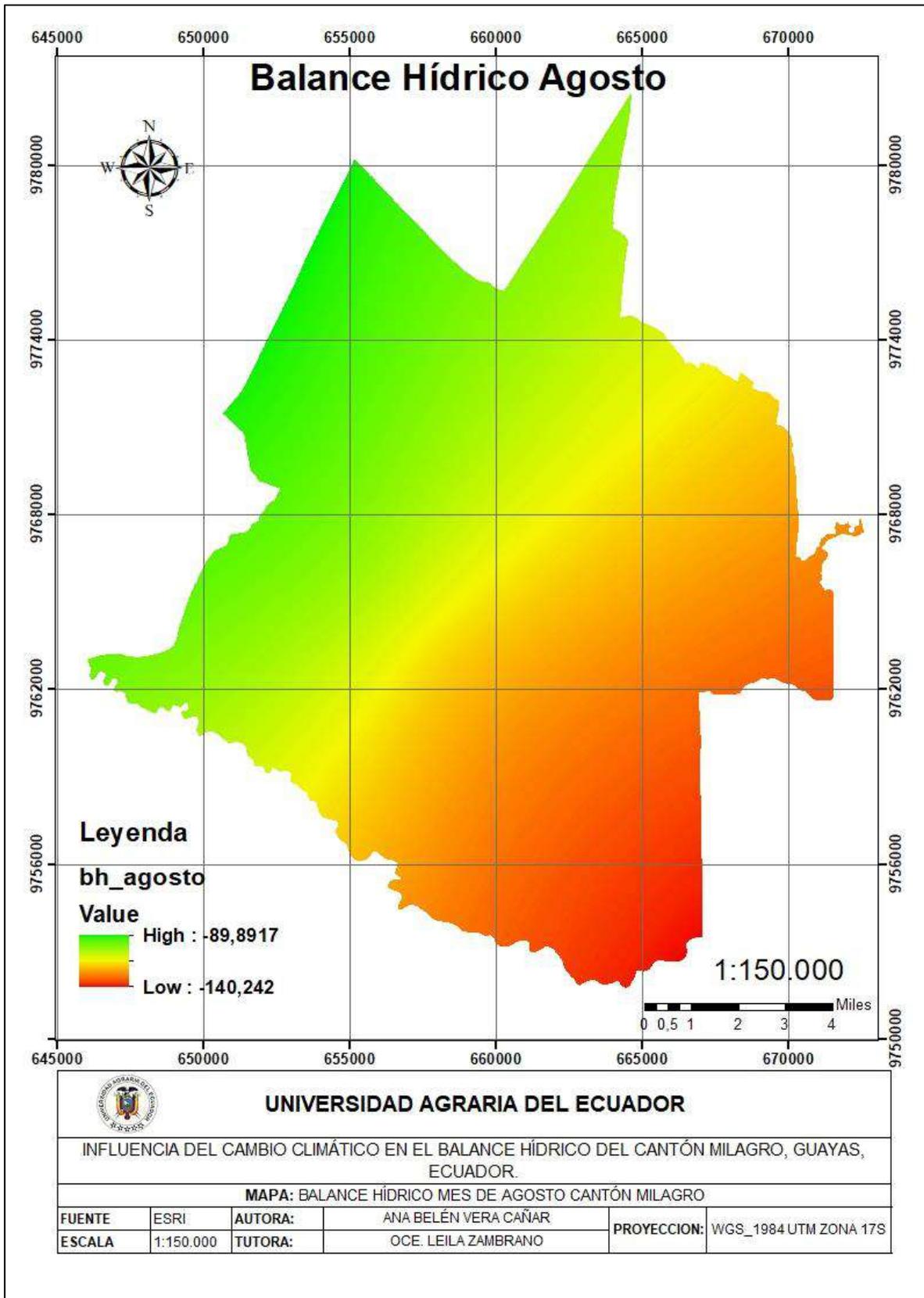


Figura 22. Mapa Balance Hídrico mes de agosto Cantón Milagro

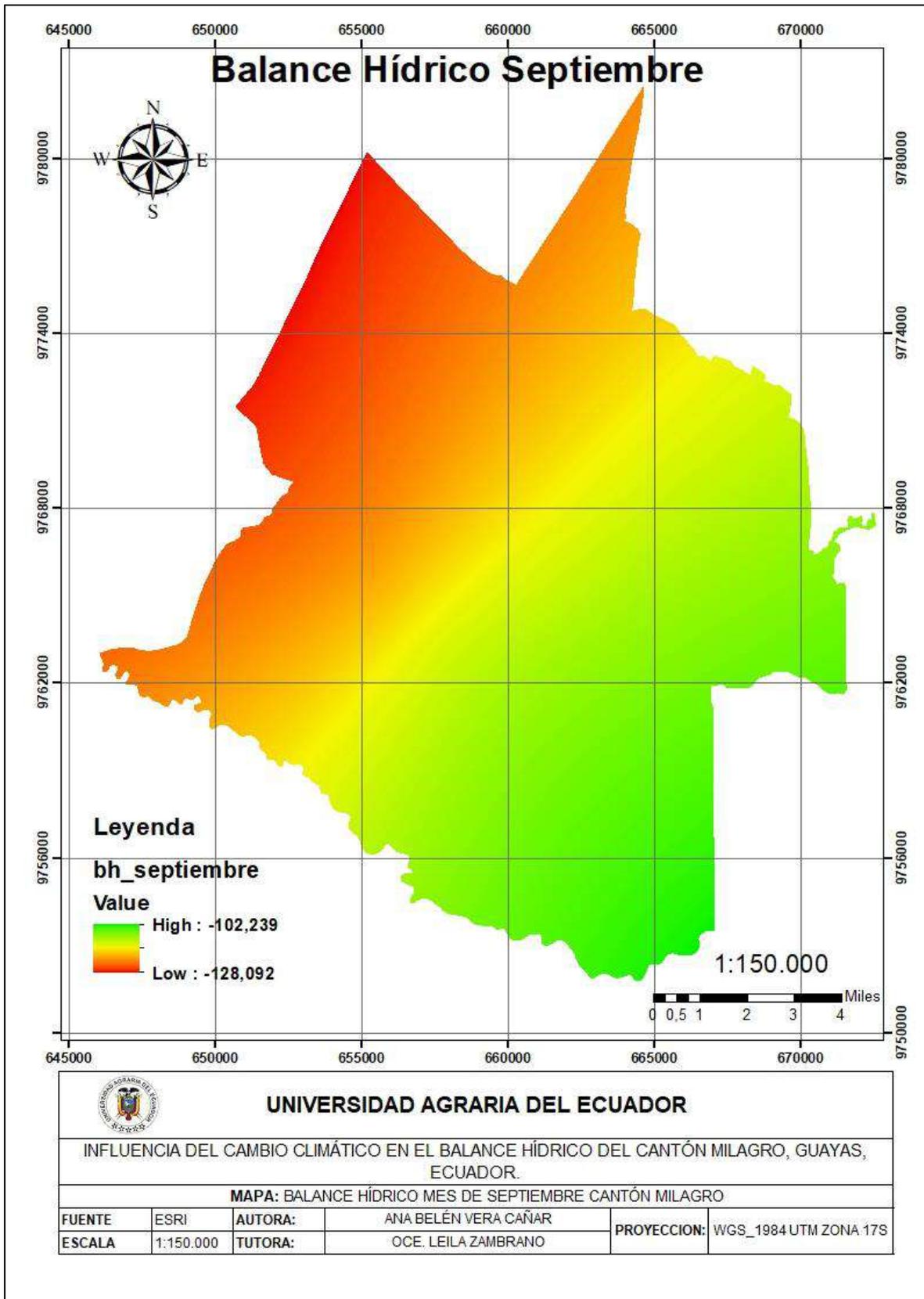


Figura 23. Mapa Balance Hídrico mes de septiembre Cantón Milagro

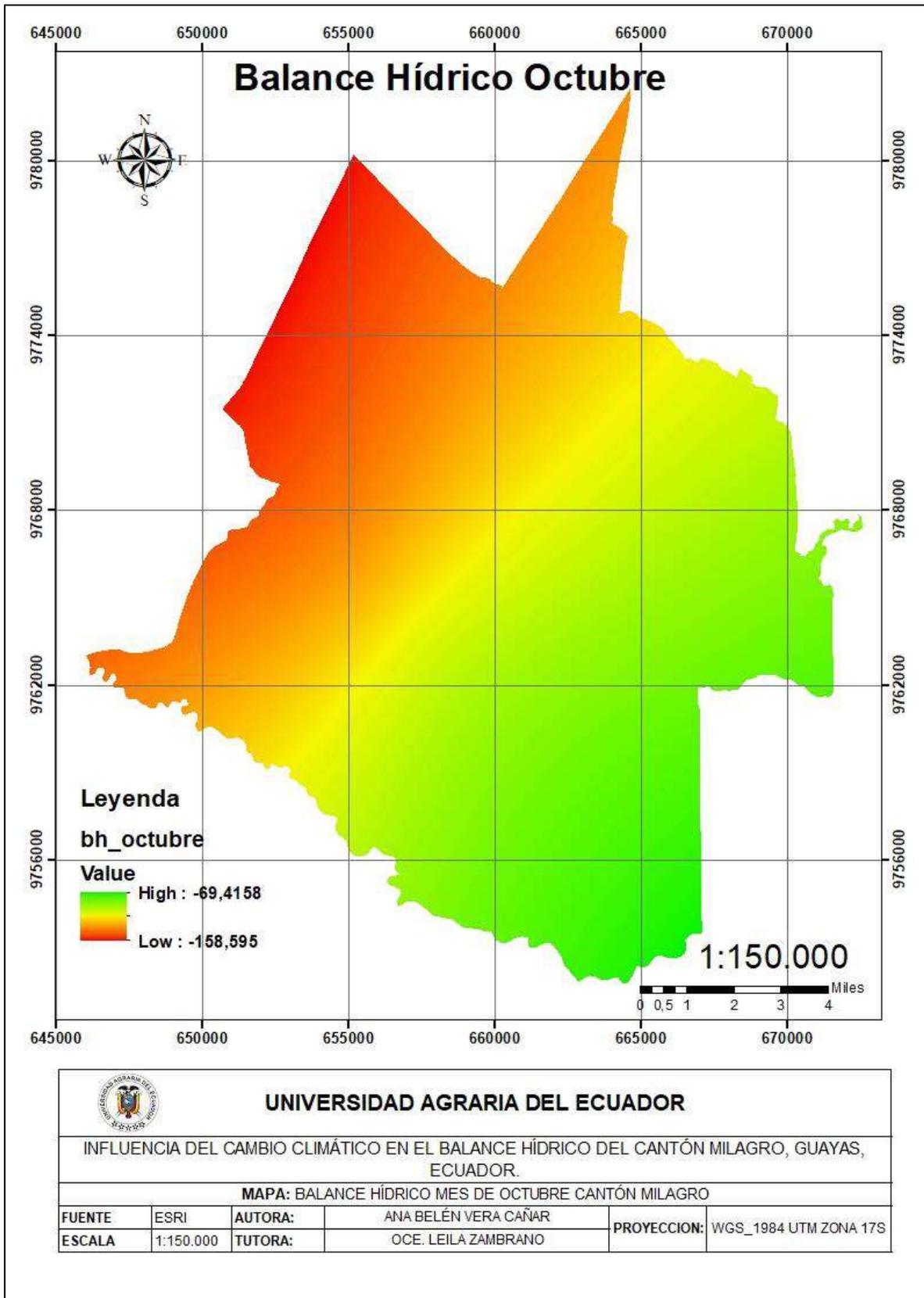


Figura 24. Mapa Balance Hídrico mes de octubre Cantón Milagro

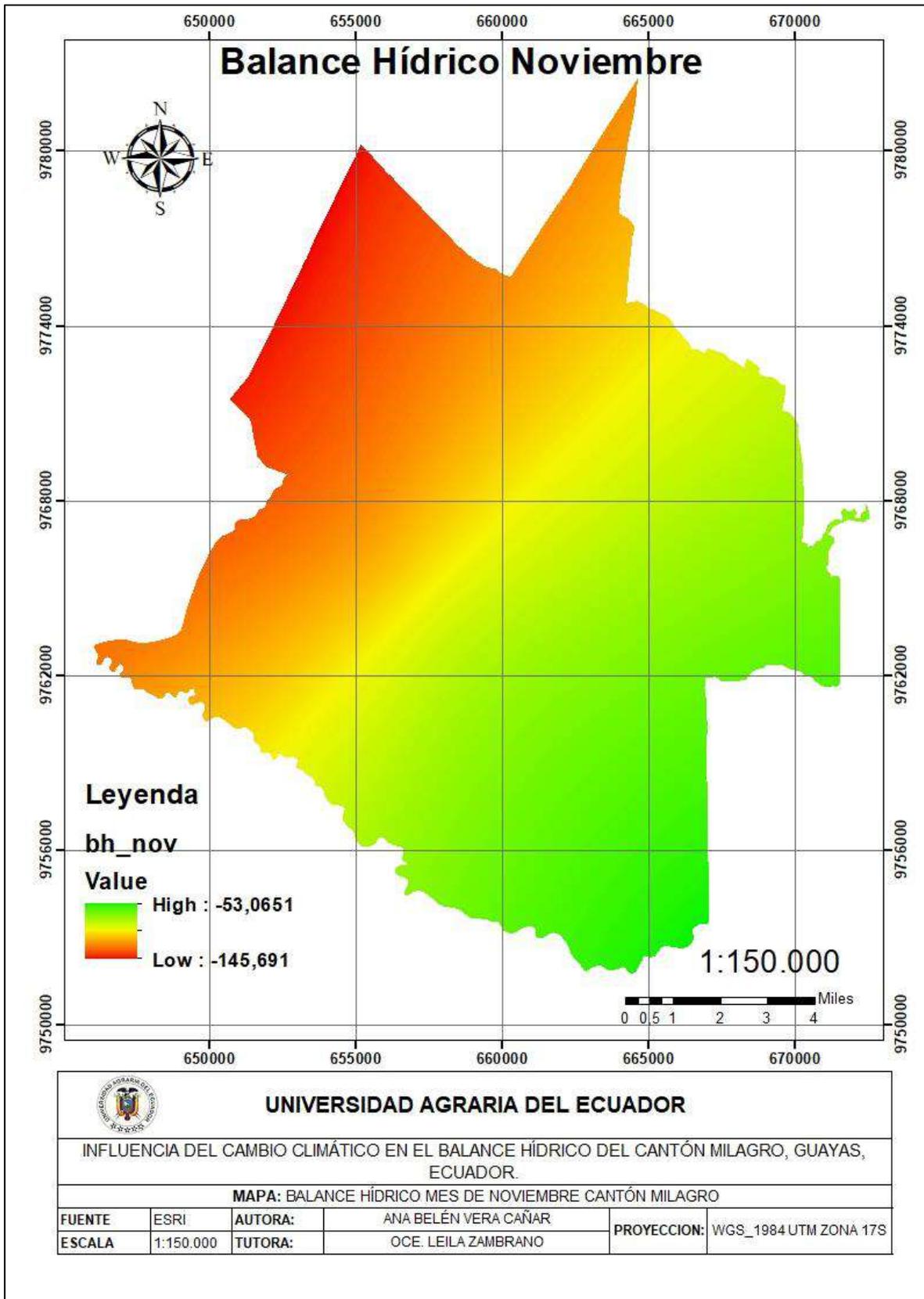


Figura 25. Mapa Balance Hídrico mes de noviembre Cantón Milagro

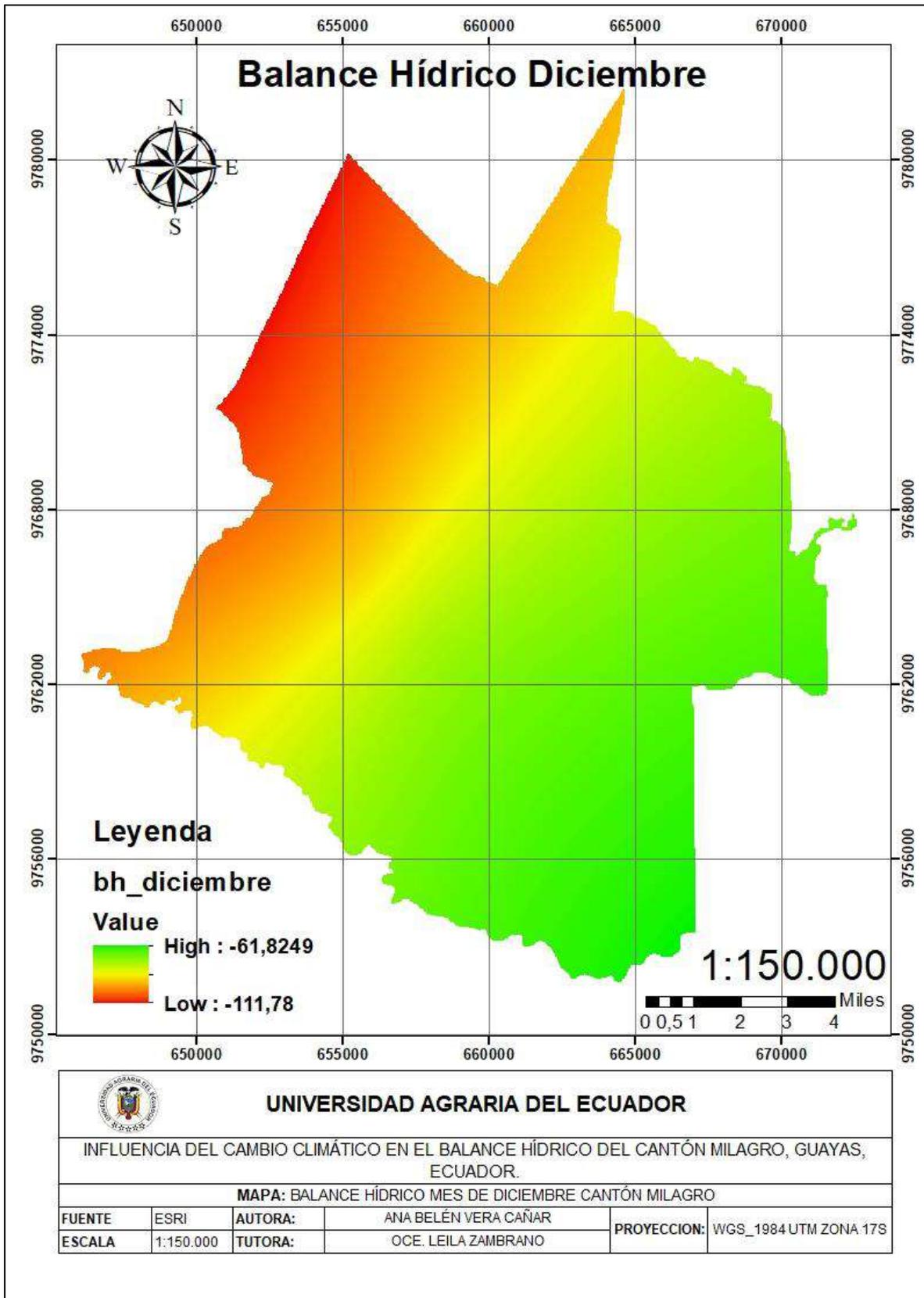


Figura 26. Mapa Balance Hídrico mes de diciembre Cantón Milagro

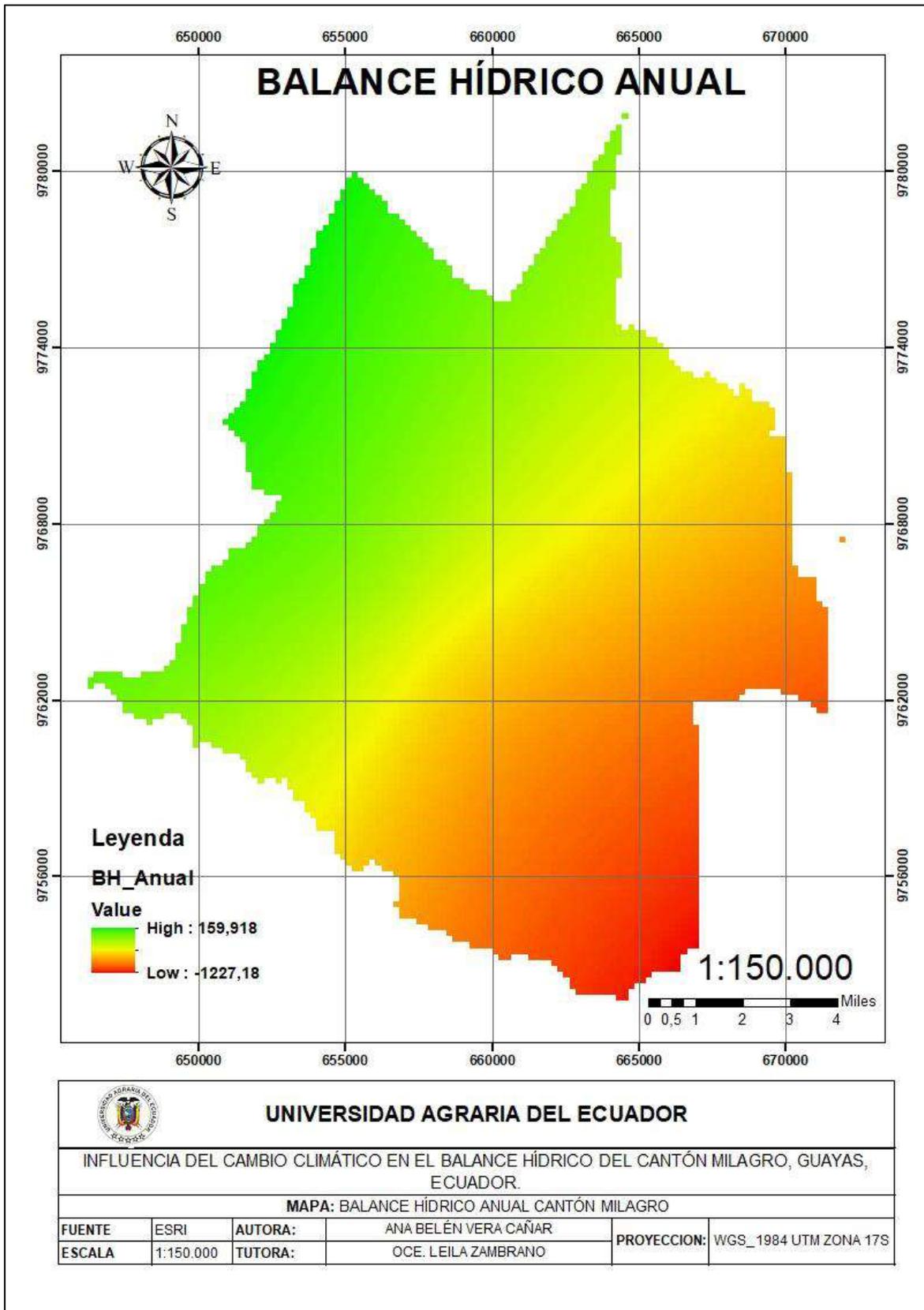


Figura 27. Mapa Balance Hídrico Anual Cantón Milagro