

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS
ZONAS POTENCIALES CON APTITUD DE RIEGO, CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO ITAMBI, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión
Integral de Cuencas Hidrográficas

AUTOR:

Ing. Concepción Espinosa Manosalvas

DIRECTOR:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

IBARRA - ECUADOR

2023

DEDICATORIA

A Dios, quien es mi guía y ha estado conmigo en cada momento de mi vida.

A mi amado esposo Oscar, por su apoyo incondicional en todo momento, por su respeto y comprensión, por acompañarme en cada paso juntos para lograr nuestras metas profesionales.

A mis adorados hijos Juan Sebastián y Axel Israel, por ser mi inspiración, mi motivación y mi apoyo, quienes han sido pilar fundamental en mi superación personal y profesional.

Concepción

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, por la excelente formación académica que me permitió crecer como profesional.

Al Instituto de Posgrado, a sus docentes y personal administrativo que son parte del fortalecimiento personal como académico.

A mi tutor, ingeniero Oscar Rosales, quien me transmitió sus conocimientos, por su confianza brindada y su apoyo incondicional hasta culminar el presente trabajo.

A mi Asesora, ingeniera Elizabeth Velarde, quien me dio su colaboración, su apoyo, su aliento para culminar la presente investigación.

A mi coordinador de maestría, doctor Jasé Alí Moncada, quien estuvo a cada momento en el transcurso de los estudios, por su presión, su apoyo y paciencia.

A mis compañeros, quienes compartieron sus experiencias y me dieron su confianza.

Concepción



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002883096		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Espinosa Manosalvas Concepción		
DIRECCIÓN:	Jorge Regalado 4-50 y 10 De Agosto		
EMAIL:	concep_cion7@yahoo.com		
TELÉFONO FIJO:	062530875	TELÉFONO MÓVIL:	0997296063

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Lineamientos para el Manejo del Recurso Hídrico de las zonas Potenciales con Aptitud de Riego, Cuenca Hidrográfica del Río Itambi, Provincia de Imbabura”
AUTOR (ES):	Espinosa Manosalvas Concepción
FECHA:	23/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA DE POSGRADO:	Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
TUTOR	Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de junio del año 2023.

EL AUTOR:

Firma: _____



Concepción Espinosa Manosalvas

Ibarra, 27 de septiembre de 2021

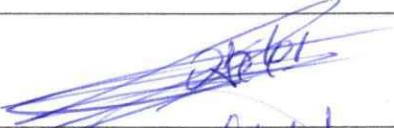
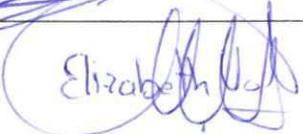
Doctora
Lucía Yépez
DIRECTORA
INSTITUTO DE POSGRADO
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ASUNTO: Conformidad con el documento final

Estimada Directora,

Nos permitimos informar a usted que revisado el Trabajo final de Grado “Lineamientos para el manejo del recurso hídrico de las zonas potenciales con aptitud de riego, cuenca hidrográfica del río Itambi”, provincia de Imbabura” de la maestrante Concepción Espinosa Manosalvas, de la Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, certificamos que han sido acogidas y satisfechas todas las observaciones realizadas.

Atentamente,

	Apellidos y Nombres	Firma
Tutor	Rosales Enríquez Oscar Armando	
Asesora	Delia Elizabeth Velarde Cruz	

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación	5
CAPÍTULO II	7
MARCO REFERENCIAL	7
2.1 Marco teórico	7
2.1.1 Balance hídrico simplificado	7
2.1.1.1 Precipitación media de la cuenca (mm)	8
2.1.1.2 Temperatura media de la cuenca (° C)	9
2.1.1.3 Evapotranspiración media de la cuenca (mm)	9
2.1.1.4 Infiltración	10
2.1.2 Zonas potenciales con aptitud de riego	11
2.1.3 Evaluación Multicriterio	12
2.1.4 Modelo Presión – Estado - Respuesta	12
2.2 Marco legal	13
CAPÍTULO III	17
MARCO METODOLÓGICO	17
3.1 Descripción del área de estudio	17
3.1.1 Generalidades	17
3.1.2 Delimitación del área de estudio	19
3.2 Enfoque y tipo de investigación	19
3.3 Procedimiento de investigación	19

3.3.1	Fase 1: Determinación del balance hídrico simplificado.....	20
3.3.2	Fase 2: Determinación de zonas potenciales con aptitud agrícola de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	25
3.3.3	Fase 3: Determinación de zonas potenciales con aptitud de riego	30
3.3.4	Fase 4: Elaboración de lineamientos para manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi ..	32

CAPÍTULO IV33

RESULTADOS Y DISCUSIÓN33

4.1	Fase 1: Determinación del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	33
4.1.1	Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	34
4.1.2	Precipitación media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	35
4.1.3	Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi	37
4.1.4	Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi	39
4.1.5	Caudal de escorrentía (mm/año) de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	42
4.1.6	Balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi	45
4.2	Fase 2: Determinación de las zonas potenciales con aptitud agrícola.....	48
4.2.1	Zonas de aptitud agrícola por balance hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi	48
4.2.2	Zonas de aptitud agrícola por Índice de aridez de la cuenca hidrográfica del río Itambi	49
4.2.3	Zonas de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	50
4.2.4	Zonas potenciales con aptitud agrícola de la cuenca hidrográfica del río Itambi	52
4.3	Fase 3: Determinación de zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	54
4.4	Fase 4: Elaboración de lineamientos para manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	56
4.4.1	Indicadores de Presión – Estado – Respuesta, para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi.....	59

4.4.2 Manejo de los recursos hídricos de la cuenca del río Itambi, basado en lineamientos de gestión	60
CAPÍTULO V.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Punto de Aforo para la delimitación del área de estudio. Estación Limnimétrica H0026.....	19
Tabla 2. Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio (período 2000-2020)	21
Tabla 3. Precipitación media mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi (2000-2020).....	22
Tabla 4. Temperatura media mensual (°C) de la cuenca hidrográfica del río Itambi (2000-2020)	23
Tabla 5. Coeficientes de escorrentía CE.....	25
Tabla 6. Variables para la determinación de zonas con aptitud de uso agrícola	27
Tabla 7. Criterios de aptitud agrícola por balance hídrico	27
Tabla 8. Índices de aridez según UNEP (1992).....	28
Tabla 9. Criterios de aptitud agrícola por Índice de aridez	28
Tabla 10. Clases de capacidad de uso de tierras	29
Tabla 11. Criterios de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras.....	29
Tabla 12. Pesos de ponderación para las variables	30
Tabla 13. Criterios de aptitud de uso agrícola	30
Tabla 14. Descripción de criterios de zonas potenciales con aptitud de riego	31
Tabla 15. Parámetros base de la cuenca hidrográfica del río Itambi.....	34
Tabla 16. Parámetros fisiográficos y morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Itambi	34
Tabla 17. Porcentaje de las zonas con aptitud de uso agrícola en (km ²)	53
Tabla 18. Porcentajes de distribución de las zonas potenciales con aptitud de riego.....	54
Tabla 19. Categorías de presión, para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi	57

Tabla 20. Indicadores de Presión – Estado – Respuesta, en zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi	59
Tabla 21. Lineamiento 1. Desarrollo sostenible de zonas potenciales con aptitud de riego	61
Tabla 22. Lineamiento 2. Desarrollo de proyectos con enfoque integral.....	62
Tabla 23. Lineamiento 3. Ejecución de programas y proyectos	62
Tabla 24. Lineamiento 4. Definición de áreas de conservación y protección	63
Tabla 25. Lineamiento 5. Participación social.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del modelo PER	13
Figura 2. Ubicación relativa y localización de la cuenca hidrográfica del río Itambi	18
Figura 3. Esquema metodológico para la determinación de zonas con aptitud de uso agrícola.....	26
Figura 4. Esquema metodológico para la determinación de zonas potenciales con aptitud de riego. Nota: Fuente: Adaptado de: GPI (2018).....	31
Figura 5. Área de estudio delimitada con punto de Aforo en la Estación Limnimétrica H0026.....	33
Figura 6. Precipitación media anual (mm) de la cuenca del río Itambi, período 2000-2020	35
Figura 7. Precipitación media mensual (mm) de la cuenca del río Itambi, período 2000-2020.....	36
Figura 8. Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite.....	37
Figura 9. Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc.....	38
Figura 10. Evapotranspiración media mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi aplicando los Método de Thornthwaite y Turc.....	39
Figura 11. Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite.....	40

Figura 12. Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc.....	41
Figura 13. Resultado del cálculo de la infiltración media mensual de la cuenca hidrográfica del río Itambi aplicando los Método de Thornthwaite y Turc	42
Figura 14. Caudal de escorrentía medio anual (mm/año) de la cuenca hidrográfica del río Itambi	43
Figura 15. Caudal de escorrentía medio mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite	44
Figura 16. Caudal de escorrentía medio mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc	45
Figura 17. Resultado del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi	46
Figura 18. Resultado del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi	47
Figura 19. Balance Hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi, clasificado por rangos de aptitud agrícola.	49
Figura 19. Índice de aridez (m) según UNEP, de la cuenca hidrográfica del río Itambi	50
Figura 20. Capacidad de uso de tierras de la cuenca hidrográfica del río Itambi, clasificado por rangos de aptitud agrícola. Cartografía IEE E: 1:25000	51
Figura 21. Zonas con aptitud agrícola, de la cuenca hidrográfica del río Itambi.	52
Figura 22. Zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi	55

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS
ZONAS POTENCIALES CON APTITUD DE RIEGO, CUENCA HIDROGRÁFICA
DEL RÍO ITAMBI, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Autor: Ing. Concepción Espinosa Manosalvas

Tutor: Ing. Oscar Rosales Enríquez MSc.

Año: 2021

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue analizar las zonas potenciales con aptitud de riego en la cuenca hidrográfica del río Itambi; delimitada a partir del punto de aforo de la estación limnimétrica H0026, ubicada en la Unidad Hidrográfica 15489. En la primera fase del estudio, partiendo de los parámetros de la cuenca: precipitación, evapotranspiración e infiltración, se analizó el balance hídrico simplificado con datos climatológicos proporcionados por el INAMHI de las estaciones del área de influencia de la cuenca en estudio, del período 2000 a 2020; resultado del análisis se obtuvo el caudal de escorrentía medio anual de 1,67 m³/s. En la segunda fase se realizó la aplicación del modelo propuesto de evaluación multicriterio, que facilitó la determinación de zonas con aptitud agrícola, a través del uso de sistemas de información geográfica con el uso de datos geoespaciales de variables de: balance hídrico simplificado, capacidad de uso de tierras y índice de aridez, estableciendo cinco criterios de aptitud, que van desde muy apto a no apto para zonas potenciales con aptitud de riego, estableciendo pesos de ponderación para cada variable; como resultado arrojó tres niveles de aptitud agrícola, el 5,53 % del área de la cuenca son zonas potenciales aptas para riego, el 16,8 % son zonas potenciales moderadamente aptas, y el 22,65 % son zonas poco aptas para riego. A partir de los resultados obtenidos se planteó lineamientos para contribuir en el manejo de los recursos hídricos en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi, a través de la identificación de indicadores con el enfoque de Presión-Estado-Respuesta desarrollado por la Environment Canadá y la OCDE (1993), que requieren acciones a fin de evitar que estas nuevas áreas resulten afectadas por una excesiva presión sobre los recursos naturales ocasionada por actividades humanas, mismos que permitieron plantear lineamientos para el manejo de los recursos hídricos.

Palabras clave: aptitud de riego, aptitud agrícola, balance hídrico.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**"REGULATIONS FOR THE HYDRIC RESOURCE MANAGEMENT IN THE
POTENTIAL ZONES WITH IRRIGATION APTITUDE, ITAMBI RIVER
WATERSHED, IMBABURA PROVINCE"**

Author: Ing. Concepción Espinosa Manosalvas

Tutor: Ing. Oscar Rosales Enríquez MSc.

Year: 2021

ABSTRACT

The objective of the following research was to analyze the potential areas with irrigation aptitude in the Itambi river hydrographic watershed; delimited from the gauging point of the limnometric station H0026, located in the Hydrographic Unit 15489. In the first phase of the study, starting from the watershed parameters: precipitation, evapotranspiration, and infiltration, we analyzed the simplified water balance with climatological provided by INAMHI from stations in the area of influence of the basin under study, from the period 2000 to 2020. As a result of the analysis, the annual mean runoff flow of 1,67 m³/s was obtained. In the second phase, the application of the proposed model, we carried out a multicriteria evaluation, which facilitated the determination of areas with agricultural aptitude, through the use of geographic information systems with the use of geospatial data of variables: simplified water balance, the capacity of land use and aridity index, establishing five suitability criteria, ranging from very suitable to unsuitable for potential areas with irrigation aptitude, establishing weighting weights for each variable; As a result, it showed three levels of agricultural aptitude, 5,53% of the basin area are potential areas suitable for irrigation, 16,8% are moderately suitable potential areas, and 22,65% are areas not very suitable for irrigation. Based on the results obtained, guidelines were proposed to contribute to the management of water resources in the potential areas with irrigation aptitude of the Itambi river basin, through the identification of indicators with the Pressure-State-Response approach. developed by Environment Canada and the OECD (1993), which require actions to prevent these new areas from being affected by excessive pressure on natural resources caused by human activities, which allowed the establishment of guidelines for the management of water resources.

Keywords: irrigation aptitude, agricultural aptitude, water balance.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Problema de investigación

La conservación y el manejo adecuado del agua es muy importante en el Ecuador, debido a que existe desigualdad de riqueza potencial entre las cuencas hidrográficas y los actores sociales, siendo ellos quienes están directamente relacionados al acceso al agua. Además, el agua es uno de los recursos estratégicos que contribuyen a la seguridad alimentaria y la generación de servicios eco-sistémicos que brindan las cuencas hidrográficas.

De acuerdo a la oficina regional de la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura para América Latina y el Caribe [FAO] (2015), el sector agrícola o agricultura de riego, utiliza la mayor cantidad de agua para uso de riego, casi a un 70 % de las extracciones. En el Ecuador, la base de datos procesados por la Subsecretaría de Riego y Drenaje (2016), indica que existe 1.152.000 hectáreas bajo infraestructura de riego. Sin embargo, se estima que alrededor de 348.000 hectáreas adicionales están siendo regadas sin autorización de uso, lo que daría un total de 1.500.000 hectáreas equipadas con riego. En el mismo documento se menciona que:

De este total, solo el 18% corresponde a la superficie con infraestructura construida por el Estado, a través de 76 sistemas públicos de riego; el 31% corresponde a los sistemas comunitarios y asociativos; el 28 % corresponde a los sistemas privados-particulares, sistemas a los que se sumaría el 23% del uso del agua sin concesión, dando un total de 51%, es decir que pertenecen a personas o entidades privadas (personas naturales, empresas, sociedades, compañías, corporaciones) (p. 4).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP] (2013), menciona que en el Ecuador la reducción de la disponibilidad de agua y de áreas productivas es ocasionada por una serie de factores, como el aumento de la demanda de agua; la explotación de la frontera agrícola hacia ecosistemas claves en el almacenamiento y regulación del agua; el aumento de la frecuencia de los fenómenos climáticos extremos; y, el crecimiento urbano, cerca o dentro de los perímetro de riego, provocando varios tipos de problemas que reducen la superficie agrícola bajo riego y aquella superficie potencialmente regable. Además, esta disminución en las fuentes

naturales está provocando que el acceso al agua para riego sea cada vez menos seguro, con los respectivos impactos significativos sobre la productividad agrícola.

El Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027 realizado por la Secretaría del Agua (2019), menciona que para planificar la gestión de riego y drenaje es necesario establecer una superficie agropecuaria con potencial para riego, considerando además la disponibilidad hídrica para cubrir la demanda de riego con el fin de garantizar la soberanía alimentaria de la población; para ello, una de las políticas públicas plantadas fue “Mejorar la eficiencia en el manejo del agua para riego y de infraestructura existente; y ampliar el patrimonio público y comunitario de riego y drenaje” (p. 89), que dispone de estrategias que buscan ampliar la superficie de riego en zonas con potencial agrícola de esta forma contribuir al mejoramiento socioeconómico de la población. Sin embargo, no existe una propuesta metodológica que permita analizar las áreas potenciales para riego, con el fin de establecer acciones para un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales en las cuencas hidrológicas (Ceballos Silva & López Blanco, 2010).

En la provincia de Imbabura se establece una planificación de riego que coadyuva al desarrollo económico, a través del manejo eficiente del recurso agua, con planificación para la entrega de servicios adecuados de infraestructura hidráulica, aprovechamiento de las aguas subterráneas y superficiales, en concordancia con la conservación ambiental, la equidad y las buenas prácticas comunitarias, basándose en principios fundamentales, consagrados tanto en la Constitución como en las políticas públicas nacionales sobre riego y drenaje, a saber: buen vivir rural, redistribución, concertación, participación, inclusión y equidad (Gobierno Provincial de Imbabura [GPI], 2018).

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Pablo (2015), existen algunos factores que afectan a la cuenca hidrográfica del río Itambi como son la contaminación del agua, la ampliación de la frontera agrícola, inadecuadas prácticas agrícolas, sobrepastoreo, quemadas y deforestación, que causan una degradación de los recursos naturales con un nivel de afectación Alto. Además, existen áreas subutilizadas que no están siendo aprovechadas adecuadamente en base a las aptitudes que tiene la cuenca hidrográfica. En este contexto, el estudio pretende la implementación de criterios para seleccionar cuáles serían las zonas que tienen potencial de riego en esta cuenca,

considerando la disponibilidad, el modelo del terreno, con el fin de contribuir con las políticas nacionales y locales para la gestión de nuevas áreas de producción agrícola.

1.2 Antecedentes

En este ítem se describen algunos estudios referentes a la determinación de áreas potenciales para uso agrícola a través de técnicas de análisis Multicriterio con Sistemas de Información Geográfica [SIG] y análisis de disponibilidad de agua en la cuenca hidrográfica.

Ceballos Silva & López Blanco (2010) llevó a cabo el estudio “Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIG”, con el fin de determinar las áreas adecuadas para los cultivos amaranto y nopal como cultivos de alternativa en la región central de México a través de información cartográfica como clima, suelo, uso y cobertura de suelo, de manera integral. Se realizó la construcción de una matriz de comparación pareada utilizando la escala de valoración continua de Saaty, que permite la identificación de variables del medio físico, así como la jerarquización por nivel de importancia. El análisis de las variables biofísicas permitió tener como resultado mapas cartográficos y la construcción de una plataforma que integra bases de datos con diferentes resoluciones espaciales.

En el estudio de Espejel García A., Romero Domínguez, Barrera Rodríguez, Torres Espejel, & Félix Crescencio (2015), se realiza la determinación del uso potencial agrícola para la cuenca hidrográfica Balsas Mezcala del centro-norte del estado Guerrero y del estado de Puebla de México, con el objeto de utilizar sistemas de información geográfica como apoyo para el planteamiento de uso potencial del suelo en la cuenca hidrográfica, mediante la modelación geoespacial y análisis multicriterio del tipo geopedológicos de geomorfología y suelo, climatología y requerimientos edafo-climáticos de los cultivos, a través, de la utilización de la metodología definida por la FAO de zonificación agroecológica, que propone la definición de “zonas con alto potencial productivo, con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas”. Los resultados arrojaron que la cuenca hidrográfica presenta dos niveles: apto y moderadamente apto, es decir que existen condiciones adecuadas para la producción de cultivos básicos al 80% y 60% respectivamente.

Sotelo Ruiz, Cruz Bello, González Hernández, & Moreno Sánchez (2016), realizan el estudio para la determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México, cuyo objetivo fue generar y aplicar una metodología de análisis multicriterio como una alternativa para la zonificación y delimitación de las zonas con aptitud para maíz. Las variables utilizadas en la investigación fue clima, suelo, y fisiología, las cuales permitieron obtener la adaptabilidad, rendimiento y desarrollo del cultivo, a través de la aplicación de la técnica Simple Miltiattribute Rating Technique (SMART) que consistió en determinar la importancia (peso) de cada variable y estandarizar sus valores considerando su significado en términos de aptitud. Una vez que se definieron los pesos y se generaron las capas digitales para cada variable, se determinó para cada pixel la aptitud del terreno para el maíz mediante una combinación lineal ponderada

Según un estudio realizado en el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2018) sobre “Zonas prioritarias de uso y aprovechamiento del recurso hídrico para pequeña y mediana agricultura”, tiene como finalidad la determinación de zonas aptas para la utilización de riego y las disponibilidades en agua a través de parámetros socio-económicos y delimitación de zonas prioritarias para riego. El método utilizado para el cálculo de la pluviosidad y la evapotranspiración potencial mensual fue el de Thornthwaite, determinando el déficit hídrico anual que defines clases para las diferentes zonas en las que el riego es indispensable, complementario, facultativo o innecesario. Se definieron las zonas cuyas características físicas, permiten una adecuada utilización agrícola, a través de la delimitación de los factores de: la calidad agronómica de los suelos y el rango de pendientes.

En el año (2015), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], realizó el estudio del “Mapa de Esguerrimiento en la Cuenca del Río Mira”, que contiene información referente a la oferta y disponibilidad de agua de la Cuenca del Río Mira, a partir de la estimación del estado actual del recurso hídrico, con el fin de obtener una herramienta para el desarrollo de “lineamientos de protección del recurso, ordenación de usos, ordenamiento territorial, y mejorar la calidad de vida de la población”(p. 7). Dicho documento técnico consideró los parámetros de precipitación, temperatura, evaporación, infiltración y escorrentía superficial o caudal, para el análisis del modelo del balance hídrico de la cuenca del río Mira. La escorrentía natural aguas arriba de Mira en Carchi

resultó estar en el orden de 600-800 mm/año, mientras aguas abajo presentó un valor de 1500 a 1714 mm/año.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar las zonas potenciales con aptitud de riego en la cuenca hidrográfica del río Itambi, con el fin de plantear lineamientos para un manejo responsable del recurso hídrico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el balance hídrico simplificado en la cuenca hidrográfica del río Itambi.
- Determinar las zonas con aptitud de riego, a través de técnicas de Evaluación Multicriterio, en la cuenca hidrográfica del río Itambi.
- Diseñar lineamientos para el manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

1.4 Justificación

Para realizar un manejo integral sostenible de una cuenca hidrográfica, es necesario contar con insumos que permitan garantizar agua segura y apta para el uso de actividades agrícolas, ampliar la superficie regada e incrementar la producción en la cuenca del río Itambi. La zonificación de áreas con aptitud de riego permitirá establecer lineamientos para llevar a cabo proyectos rurales que contribuyan al incremento del acceso a áreas de riego, siendo uno de los indicadores del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021, “Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

Según el Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2027 realizado por el GPI (2018) en la cuenca del río Itambi, la cobertura de suelo de zonas de cultivos ocupa una superficie de 13.562,97 hectáreas. De esta superficie apenas el 3,58 % representada por

486.51 hectáreas, son regadas bajo una infraestructura de riego. Por lo que, la investigación servirá como insumo para la gestión e implementación de infraestructuras de riego, aumentando la producción teniendo como eje la “Seguridad Alimentaria”, siendo necesario conocer la disponibilidad del recurso hídrico, a través de la evaluación de las relaciones oferta-demanda hídrica y modelación del balance hídrico, considerando: la precipitación, la evapotranspiración real, la escorrentía y la demanda.

Además, el estudio puede ser aplicado a comunidades o sectores más vulnerables, a través de estrategias que permitan tener acceso a proyectos de conservación y protección de recursos hídricos, actividades agroecológicas como, rescate de semillas ancestrales, cosecha de aguas lluvias, producción orgánica biointensiva, entre otros, los cual pueden ser viables para la inversión con instituciones públicas, ONGs u otros organismos internacionales.

El estudio contribuye con la línea de investigación número cuatro “Soberanía, seguridad e inocuidad alimentaria sostenible” (Universidad Técnica del Norte [UTN], 2016)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Balance hídrico simplificado

Para Cervantes Martínez, (2007) el balance hídrico es la “relación entre la ganancia y pérdida de agua en forma de precipitación, evapotranspiración y escorrentía (flujo superficial y subterráneo) que ocurre en una región en particular”. Además, el balance hídrico se orienta a la búsqueda de satisfacer la demanda actual proyectada en todas las circunstancias exigidas por la magnitud del déficit, entre la oferta y demanda hídrica del sistema hídrico. (Ministerio de Agricultura - Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2008). En este sentido, las cuencas hidrográficas al ser sistemas hidrológicos que reciben y procesan entradas de agua y producen salidas de ella, son susceptibles a ser sometidas a un análisis de balance hídrico cuando se cuenta con información suficiente para ello, lo que no es precisamente el caso de la mayoría de cuencas hidrográficas (Silva León, 2005).

El INAMHI (2015), considera al balance hídrico como la cuantificación de parámetros del ciclo del agua dando como resultado la disponibilidad de agua y los consumos de agua de los diferentes sectores obteniendo la demanda de agua. En una cuenca, la evaluación de los recursos hídricos requiere una estimación de balance hidrológico, que permita comprender el ciclo en sus fases considerando las entradas y salidas de agua y sus interrelaciones (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2011).

Para el Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA] de Bolivia (2016), la determinación del balance hídrico, “es fundamental, para conseguir un uso racional del agua en el espacio y en el tiempo, así como mejorar la redistribución de este recurso” (p. 19), así como permite comparar recursos específicos del agua de un sistema, en diferentes períodos de tiempo y el grado de influencia de las variaciones.

La ecuación general de balance de una cuenca hidrográfica es (Silva León, 2005):

$$\Sigma \text{entradas}(\text{input}) - \Sigma \text{salidas}(\text{output}) \Delta \text{almacenamiento} (\text{storage}) \quad (1)$$

Esta ecuación, válida para cualquier sistema hidrológico, está referida al cómputo de entradas y salidas de agua durante un período de tiempo, así como de los almacenamientos al principio y al final de ese período (Silva León, 2005).

Existen factores que influyen en el sistema hidrológico, que permite realizar un Análisis Hídrico Simplificado con el cálculo de los parámetros de precipitación media, evapotranspiración, infiltración y escorrentía. La ecuación de balance hídrico citada por el INAMHI (2015) es la siguiente:

$$P = ET + ES + I \quad (2)$$

En donde:

P = Precipitación anual (mm/año)

ET = Evapotranspiración anual ((mm/año))

ES = Escorrentía superficial anual ((mm/año))

I = Infiltración anual (mm)

2.1.1.1 Precipitación media de la cuenca (mm)

La precipitación es la principal entrada de agua en un ciclo hidrológico y en una cuenca hidrográfica tiene variaciones en la temporalidad como espacial (INAMHI, 2015). Además, es una de las variables más usadas para análisis hídricos de las cuencas hidrográficas, debido a que sintetizan el comportamiento del clima (Pabón Caicedo, Eslava Ramírez, & Gómez Torres, 2001); por lo que, es importante realizar un análisis espacial y variabilidad temporal en series de tiempo de al menos 20 años (Guenni, Degryze, & Alvarado, 2008). Los datos de precipitación generalmente son operados por instituciones nacionales, que permiten obtener datos estadísticos que pueden ser procesados a través del uso de sistemas de información geográfica.

Según el INAMHI (2015), la medición de la precipitación generalmente se realiza en las estaciones pluviométricas o meteorológicas, a través de pluviómetros, considerando que el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve o rocío. Las precipitaciones también son provocadas por

cambios de temperatura o presión, que requieren condensadores de vapor de agua atmosféricos (SENAMHI, 2011)

2.1.1.2 Temperatura media de la cuenca (° C)

Para Pabón, *et al.* (2001), la temperatura está determinada por la situación geográfica y las particularidades que tenga el territorio por la variabilidad espacial y su amplitud diaria, siendo un factor que influye en el balance de la cuenca hidrográfica. Además, el mismo autor considera que la “temperatura del aire se particulariza por la presencia de los llamados pisos térmicos, consistentes en la disminución de la temperatura media a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar” (p. 48).

SENAMHI (2011), define a la temperatura como la “cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado” (p. 12), dependiendo de la radiación solar y de otros factores como altitud y latitud.

En este contexto, la temperatura media de la cuenca representada en ° C, es variable necesaria para el cálculo de los parámetros del balance hídrico, la cual, se obtiene de una serie temporal de mediciones en campo registrados en las estaciones pluviométricas disponibles en el área de influencia de la cuenca hidrográfica, permitiendo estimar datos de otras variables climáticas como la evapotranspiración potencial (Coral, García Tommaselli, & Leal, 2015)

2.1.1.3 Evapotranspiración media de la cuenca (mm)

INRENA, (2008), considera que la evapotranspiración viene de la combinación de procesos de evaporación “proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa” (p. 4-106); y, evaporación “proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través del tejido de la planta” (p. 4-106). El INAMHI (2015), define a la evapotranspiración como “la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto en la transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo” (p. 11); en este sentido, la evapotranspiración es uno de los parámetros más complejos, esto se debe a la ausencia de estaciones activas que registren información en campo, por lo que es necesario la

evaluación de la evapotranspiración potencial, en estudios donde se analice las posibles alternativas de estimación (Trezza, 2008).

La evapotranspiración media se expresa en mm, siendo necesaria para el cálculo de balance hídrico simplificado de una cuenca, que al igual que la precipitación, esta variable es considerada como un factor clave en el ciclo del agua (Quereda *et al.*, 2010).

Existen varios métodos que permiten el cálculo de la evapotranspiración media anual de una cuenca hidrográfica, uno de ellos es el método propuesto por Thornthwaite (1948) citado por Soriano Soto *et al.* (2012), que “realiza el cálculo de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes” (p. 642). Además, permite obtener “una aproximación de lo que se puede evapotranspirar en el sistema si éste no tuviera restricción alguna del recurso hídrico” (Del Toro Guerrero, Kretzschmar, & Hinojosa Corona, 2014) (p. 72).

El método de Turc (1961) en cambio “propone calcular la evapotranspiración potencial (mm/mes) para cada mes en función de la radiación solar media diaria de ese mes (cal cm⁻² día⁻¹) sobre una superficie horizontal, la temperatura media mensual (°C) y una corrección basada en la humedad relativa media mensual” (Soriano Soto *et al.*, 2012) (p. 642).

2.1.1.4 Infiltración

Para Alvarado Batres & Barahona Polomo (2017), la infiltración de agua es importante en el ciclo hidrológico, debido a que depende de las “condiciones geológicas, puede permanecer en el suelo en forma de humedad; escurrir como flujo subsuperficial y aflorar como una naciente efímera; o recargar el acuífero”(p. 23). También la infiltración es considerada como el proceso en el que el agua puede penetrar al suelo (Ruíz & Flores, 1998). En varios estudios de balance hídrico superficial realizados en cuencas hidrográficas en latinoamérica, consideran a la infiltración como un parámetro importante al analizar la disponibilidad de agua de una cuenca.

El INAMHI (2015), en el estudio realizado para la determinación del mapa de escurrimiento de la cuenca del río Mira determina la infiltración, la cual la define el volumen de agua que proviene de la precipitación que atraviesa la superficie de terreno. Además, la infiltración es uno de los componentes fundamentales en la regulación del agua y la determinación del balance hídrico, se describe como el “proceso de entrada de agua lluvia en la capa superficial del suelo satisfaciendo la deficiencia de humedad, y si hay exceso esta desplaza hacia niveles inferiores, para ser parte del agua subterránea” (Cajamarca Rivadeneira, 2017).

2.1.2 Zonas potenciales con aptitud de riego

Según la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura para América Latina y el Caribe FAO (1997), las zonas agro-ecológicas son consideradas como una “unidad cartográfica de recursos de tierras, definida en términos de clima, fisiología y suelos, y/o cubierta de tierra y que tienen un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras”. Además, tienen características relacionadas con la aptitud de tierras y la producción potencial en unidades de superficie más pequeñas (FAO, 1997).

La agricultura es una actividad directamente relacionada con el clima, las condiciones físico-geográficas, condiciones de suelo y la disponibilidad del agua (Alva Huayaney & Bernaun Chaca, 2013). Según Parra (1989) citada por Espejel, *et al.* (2015), en las zonas agroecológicas su importancia radica en la obtención de datos sobre la superficie potencial en función del clima y suelo para la producción de cultivos. Esto implica que, para delimitar las zonas con potencial agrícola se debe conocer los requerimientos agroecológicos sobre las necesidades de temperatura, precipitación, altitud, pendiente, suelos, entre otros y determinar si la zona o región es muy apto, apto, moderadamente apto, poco apto, muy poco apto o no apto para uso agrícola

Young en el año 1995, citado por Espejel, *et al.* (2015), considera que una modelación de la aptitud para el uso de la tierra debe ser el primer paso para una planeación sustentable del aprovechamiento los recursos de las cuencas hidrológicas. Al utilizar el suelo de acuerdo con su aptitud potencial permite alcanzar el mayor equilibrio entre los factores ambientales, económicos y sociales.

2.1.3 Evaluación Multicriterio

De acuerdo a Ceballos Silva & López Blanco (2010), la toma de decisiones con técnicas de evaluación multicriterio, “es un proceso basado en un conjunto de conceptos, modelos y métodos para describir, evaluar, jerarquizar, elegir o rechazar alternativas, con base a una valoración expresada por intensidades de preferencia, de acuerdo con diversos criterios” (p. 109). Para ello es necesario utilizar herramientas de sistemas de información geográfica que permite una toma de decisiones que resultan útiles a la hora de resolver diferentes situaciones.

El análisis multicriterio es usado para el análisis de problemas, sistemas o casos con múltiples objetos y con información cuantitativa y cualitativa, siendo idóneo para una modelación de información espacial (Espejel, *et al.* 2015). En este sentido, los sistemas de información geográfica permiten un modelado cartográfico para aplicar técnicas de evaluación multicriterio.

Para Buzai & Baxendale (2019), el análisis de evaluación multicriterio comienza en la obtención de variables en cartografía temática que son los criterios para realizar los procedimientos de evaluación. De acuerdo a Buzai & Principi (2017), existen dos tipos de criterios: factores que presentan valores continuos de aptitud en cada variable; y, restricciones, este último considera “capas temáticas que actúan con la finalidad de confinar los resultados en un sector delimitado del área de estudio” (p. 102).

2.1.4 Modelo Presión – Estado - Respuesta

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE] en el año 1988 esquematiza el modelo Presión – Estado – Respuesta [P-E-R], como una herramienta para permitan la organización de indicadores ambientales para definir acciones, lineamientos estratégicos o toma de decisiones, basado en “las actividades humanas ejercen de una manera directa e indirecta (presiones) sobre el ambiente, afectando su calidad y cantidad de recursos naturales (estado). La sociedad responde a estas presiones adoptando políticas ambientales, económicas y sectoriales, tomando conciencia de las acciones llevadas a cabo (respuesta)” (Polanco, 2006).

De acuerdo a Pandia Fajardo (2016), el esquema P-E-R tiene definido en tres categorías básicas de interrogantes del tema ambiental, que son los siguientes:

- ¿Cuál es el estado actual de los recursos naturales y del medio ambiente?
- ¿Qué y quién está afectando los recursos naturales y el medio ambiente?
- ¿Qué está haciendo la sociedad para mitigar o resolver los problemas ambientales y para fortalecer sus potencialidades? (Pandia Fajardo, 2016)

La estructura del modelo P-E-R propuesto por la OCDE en el año 2002 citado por Polaco (2006), contiene indicadores que pueden ser ajustados según las necesidades y características particulares dependiendo del objetivo.

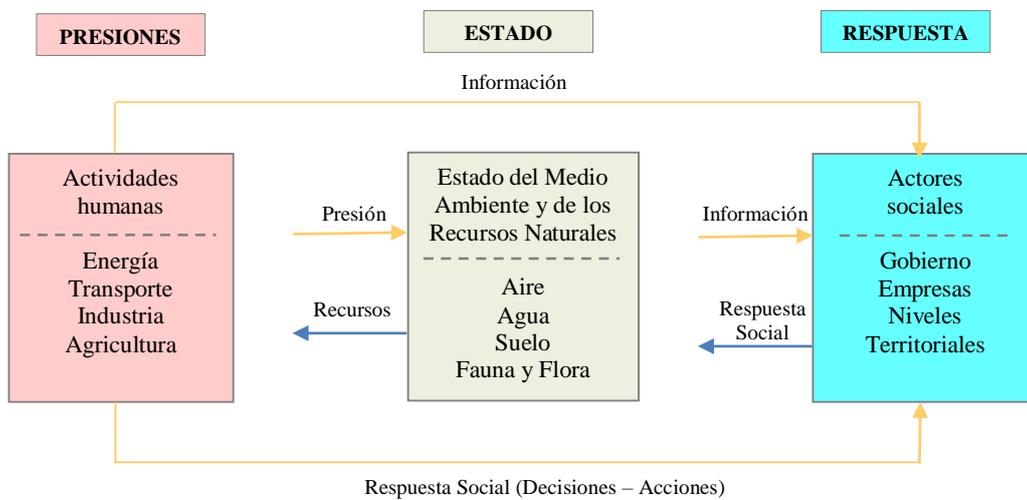


Figura 1. Estructura del modelo PER
 Nota: Fuente: Tomado de: Polanco (2006). (p. 2)

2.2 Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador (2008), establece lo siguiente:

- El agua es uno de los sectores estratégicos sujeta a la administración, regulación, control y gestión exclusiva por parte del Estado, en alianza entre lo público y lo comunitario (Art. 313).
- El Estado es responsable de proveer los servicios básicos de agua potable y riego (Art. 314).

- Es responsabilidad del Estado democratizar el acceso a servicios básicos, especialmente del agua de riego; garantizar el acceso del campesino a la tierra, al agua y a otros recursos productivos (Art. 281).
- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental (Art. 282).
- La descentralización de las competencias de riego y drenaje a los GADPs (Art. 263)
- En los artículos 395 al 399 del capítulo segundo, sobre biodiversidad y recursos naturales, de la Constitución, se establecen compromisos de las responsabilidades ambientales del Estado, así como medidas para la preservación del valioso recurso hídrico, a largo plazo.
- En el Art. 264, literal 5 de la Constitución Política del Ecuador establece que los gobiernos provinciales tienen como competencia planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego.

El Código Orgánico del Ambiente, de Registro Oficial Suplemento 983 del 12 de abril de 2017, en el Título II De los derechos y deberes y principios ambientales, establece que (Asamblea Nacional, 2017):

“Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende: 4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico” (p. 12).

“Art. 30.- Objetivos del Estado. Los objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son: 7. Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua” (p. 20).

La ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamientos del agua, de Registro Oficial Segundo Suplemento N° 305 expedido el 6 de agosto de 2014, en sus artículos (Asamblea Nacional, 2014):

“Artículo 16.- Objetivos del sistema nacional estratégico del agua. Son objetivos del sistema nacional estratégico del agua: 1. Articular a los actores que forman

parte del sistema nacional estratégico del agua para la gestión integral e integrada de los recursos hídricos; y,

2. Generar mecanismos e instancias para coordinar la planificación y aplicación de la política pública de los recursos hídricos con los actores sociales vinculados con el agua y los diferentes niveles del gobierno, para garantizar el buen vivir” (p. 7)

“Artículo 29.- Contenido de los planes hídricos. Los planes hídricos contendrán:

2. Los planes de gestión integral de recursos hídricos por cuenca hidrográfica contendrán:

- a) La descripción de los usos del agua presentes y futuros en su ámbito territorial;
- b) La descripción de las necesidades hídricas en cada cuenca;
- c) Los elementos de preservación del agua para el cumplimiento de los objetivos del plan;
- d) El orden de prioridad de los aprovechamientos del agua para actividades productivas, adaptado a las necesidades de la respectiva cuenca; y,
- e) La descripción de las fuentes de agua y de las áreas de protección hídrica en cada cuenca y los medios de salvaguardarlas” (p. 10).

En el Decreto Ejecutivo Nro. 1007 (4 de marzo 2020), artículo 1, se dispone la fusión del Ministerio de Ambiente y la Secretaría del Agua en una sola entidad denominada “Ministerio de Ambiente y Agua”, en un plazo no mayor a (90) días, contados a partir de la expedición del presente Decreto Ejecutivo.

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Imbabura (2015-2035), incluye los elementos necesarios para lograr un desarrollo territorial, de manera integral y sustentable de toda la jurisdicción, de mano con el aprovechamiento de los recursos hídricos, para fomentar mayor producción. Tiene como objetivos estratégicos relacionados a riego y fomento de actividades productivas agropecuarias, los siguientes (Gobierno Provincial de Imbabura, 2016):

- Gestionar el ordenamiento integral y manejo sustentable de las unidades hidrográficas, garantizando el aprovisionamiento de calidad y cantidad de agua para riego.
- Mejorar y repotenciar la infraestructura física y ampliar la cobertura de los sistemas de riego existentes.

- Promover la conservación, restauración e investigación de los ecosistemas estratégicos y su biodiversidad, asegurando el flujo y provisión de bienes y servicios ecosistémicos.
- Fomentar y consolidar el desarrollo de las cadenas productivas del sector primario, con énfasis en la seguridad y soberanía alimentaria, respetando los principios de la economía popular y solidaria.
- Crear políticas, programas y proyectos para fortalecer la innovación y emprendimiento productivo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen los materiales y procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Generalidades

El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Itambi, ubicada en la parte alta de la subcuenca hidrográfica del río Ambi, del cantón Otavalo, provincia de Imbabura, en un área de 93,51 km², con un rango altitudinal de 2667 a 4622 msnm. La época seca está comprendida entre junio y septiembre y la época lluviosa entre los meses de octubre y mayo; la temperatura media anual varía entre 7 °C a 13 °C; la precipitación media anual tiene un rango de 800 a 1300 mm; y, la evaporación media anual, llega a 858 mm (Casallas & Gunkel, 2001). El caudal anual de la cuenca del río Itambi, asciende a 0,07 a 0,3 m³/s (Carrera Burneo & Gunkel, 2003)

Según la división hidrográfica con la metodología Pfafstetter adoptada por el Ecuador en el año 2011, la cuenca hidrográfica del río Itambi se encuentra dentro de la Unidad Hidrográfica 15489 considerada como una subdivisión nivel 5 localizada dentro de la Unidad Hidrográfica del Río Ambi (Secretaría del Agua, 2011).

La cuenca hidrográfica en estudio es la principal aportante del Lago San Pablo, siendo uno de los lagos altoandinos del Ecuador, que tiene como principal afluente el río Itambi (Ver Figura 2). Los efluentes del Lago San Pablo en su mayoría son destinados para uso de riego que con cobertura en los cantones de Otavalo, Antonio Ante y parte de Ibarra (Casallas & Gunkel, 2001). Además, las diferentes actividades que se desarrollan en la cuenca del Lago como recreación, ganadería, agricultura y el crecimiento poblacional, han modificado las condiciones ambientales de los ríos de la cuenca (Vásquez, 2016). El principal drenaje de la cuenca es el río Itambi con una longitud de 17 km con una cuenca de captación de 11 271 ha. El caudal anual es de 0,07 - 0,5 m³/s (Carrera Burneo & Gunkel, 2003).

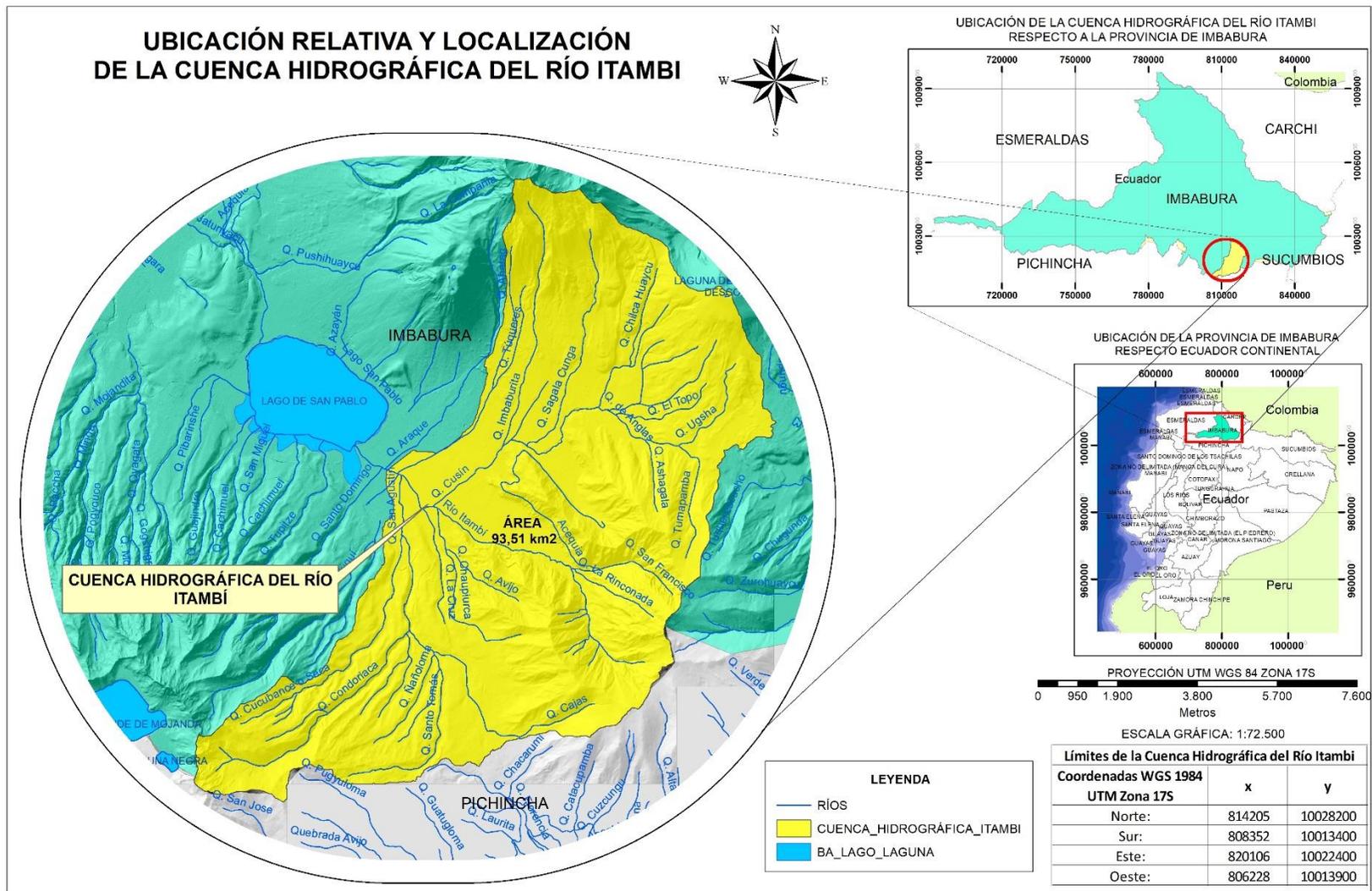


Figura 2. Ubicación relativa y localización de la cuenca hidrográfica del río Itambi
Nota: Fuente: Cartografía base de SENPLADES (2014)

3.1.2 Delimitación del área de estudio

La delimitación geográfica del área de la cuenca hidrográfica del río Itambi, se realizó tomando como punto de Aforo al sitio de la estación Hidrológica/Limnimétrica H0026, (ITAMBI EN L. S. PABLO), ubicada en la Unidad Hidrográfica 15489, parroquia San Pablo, cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Según el INAMHI (2020) la estación limnimétrica se encuentra en estado “activo” con datos hidrológicos estadísticos procesados disponibles hasta el año 2015 (Ver Tabla 1).

Tabla 1.

Punto de Aforo para la delimitación del área de estudio. Estación Limnimétrica H0026

Código	Nombre	Tipo	Estado	Coordenadas WGS84		Altitud
				UTM Zona 17S		
				x	y	
H0026	ITAMBI EN L. S. PABLO	Limnimétrica	Activa	810821	10021243	2648

Nota: Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017)

3.2 Enfoque y tipo de investigación

El estudio se desarrolló con enfoque de investigación de tipo cuantitativo, a través de un análisis multicriterio para determinar las áreas con potencial de riego en la cuenca hidrográfica del río Itambi. En cuanto al tipo de investigación, se consideró en fuentes de información documental con información secundaria oficial existente en el país y de campo para validar la información generada a través de sistemas de información geográfica. El alcance fue de tipo descriptivo.

3.3 Procedimiento de investigación

El procedimiento de investigación se inició con la revisión bibliográfica existente referente al tema de investigación, necesaria para determinar las zonas potenciales con aptitud de riego en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Para el desarrollo del estudio fue necesario realizar la selección y definición de variables, con el fin de establecer las zonas con potencial con aptitud de riego, a través de un modelo espacial que permitió el procesamiento de datos hasta llegar al objeto del estudio. En este

sentido, la base para obtener las zonas con potencial de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi, fue la determinación de las zonas con aptitud de uso agrícola; a través de variables climáticas (balance hídrico simplificado) y edáficas (índice de aridez y capacidad de uso de tierras). A continuación, se describe el proceso metodológico de cada una de las fases realizadas en el estudio.

3.3.1 Fase 1: Determinación del balance hídrico simplificado

Parámetros morfométricos y fisiográficos de la cuenca: Previo a la determinación del balance hídrico, se realizó una breve caracterización hidrológica de la cuenca a través del cálculo de los parámetros morfométricos, utilizando la aplicación web Hidro_HTML5 realizada por Álvarez (2016), que establece una plantilla para el ingreso de datos de: parámetros de forma (perímetro, área), parámetros de relieve, (altitud mayor, altitud menor, altitud media de la cuenca), parámetros hidrológicos (longitud del río más largo, altitud mayor del río, longitud total de ríos, número total de ríos, ríos de primer orden); estos datos permitieron realizar el cálculo automático de los parámetros fisiográficos, entre ellos, el índice de compacidad calculado con la ecuación propuesta por Témez (ecuación 3) y el tiempo de concentración la cuenca hidrográfica del río Itambi.

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (3)$$

En donde:

L: longitud del cauce más largo en Km.

i: la pendiente media de la cuenca.

tc: tiempo de concentración expresado en horas.

Balance Hídrico simplificado: El balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi, considerado como una de las variables del modelo para la determinación de áreas potenciales con aptitud de riego del área de estudio, se realizó a través de la cuantificación de parámetros del ciclo hidrológico de la cuenca, utilizando un modelo de distribución espacial, en archivos Raster y Vectorial utilizando herramientas del software ArcGis®.

La ecuación para el cálculo del balance hidrológico simplificado aplicada es la siguiente:

$$Q = P - EPR - I \quad (4)$$

En donde:

Q: escorrentía (mm/año)

P: precipitación (mm/año)

EPR: evapotranspiración (mm/año)

I: infiltración (mm/año)

Precipitación (mm): En el cálculo de la precipitación en el presente estudio utilizó los datos mensuales registrados de un período de 20 años, de las estaciones pluviométricas del INAMHI (2017) que intersectan con el área de estudio y las que se encuentran alrededor de su límite, con el fin de interpolar los datos con la herramienta Spline del Software ArcGis®, que permitió la determinación de Isoyetas (mm) en el área de la cuenca.

En la Tabla 2 se presentan las estaciones de tipo pluviométricas y climatológicas espacialmente distribuidas en el área de influencia de la cuenca hidrográfica del río Itambi, con datos acumulados anuales del período 2000 al 2020 proporcionados para el presente estudio por el INAMHI (2020).

Tabla 2.

Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio (período 2000-2020)

Código	Nombre	Tipo	Símb	Coordenadas WGS84 UTM Zona 17S		Disponibilidad de información
				x	y	
M0321	TOPO- IMBABURA(ANGLA)	Pluviometrica	PV	815231	10023026	2000-2018
M1240	IBARRA - INAMHI	Climatologica Principal	AU,CP	818168	10036584	2012-2018
M0110	SAN PABLO DEL LAGO	Climatologica Ordinaria	CO	812074	10023364	2012-2015
M0317	COTACACHI- HDA.ESTHERCITA	Pluviometrica	PV	803809	10033383	2000-2018
M0319	SAN RAFAEL DEL LAGO	Pluviometrica	PV	806999	10021765	2002-2010
M0337	SAN JOSÉ DE MINAS	Pluviometrica	PV	789949	10018320	2012
M0359	CAYAMBE	Pluviometrica	PV	818204	10005597	2000-2018
M0022	TABACUNDO H.MOJANDA	Pluviometrica	PV	807558	10005504	2012

Nota: Fuente: INAMHI (2020)

En la Tabla 3 se presenta los datos de las precipitaciones media mensuales (mm) del período 2000 al 2020, de cada una de las estaciones consideradas para el estudio.

Tabla 3.

Precipitación media mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi (2000-2020)

CÓD.	NOMBRE	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
M0321	TOPO- IMBABURA (ANGLA)	80,5	78,4	87,6	80,3	47,8	22,0	12,3	7,4	27,1	71,4	87,1	84,4	605,8
M1240	IBARRA - INAMHI	48,0	58,3	65,4	90,7	97,6	14,0	6,7	8,2	18,5	101,7	59,9	57,5	578,5
M0110	SAN PABLO DEL LAGO	245,0	394,4	428,3	159,6	177,4	15,5	1,3	9,9	6,1	107,6	96,2	122,2	1518,5
M0317	COTACACHI- HDA.	95,3	109,7	170,9	178,9	139,7	60,3	38,3	32,9	70,6	125,8	140,0	110,2	1177,3
M0319	ESTHERCITA SAN RAFAEL DEL LAGO	74,1	80,7	108,5	125,4	97,8	46,6	24,4	25,1	60,7	99,3	105,2	85,8	859,5
M0337	SAN JOSÉ DE MINAS	95,3	109,7	170,9	178,9	139,7	60,3	38,3	32,9	70,6	125,8	140,0	110,2	1177,3
M0359	CAYAMBE	74,1	80,7	108,5	125,4	97,8	46,6	24,4	25,1	60,7	99,3	105,2	85,8	859,5
M0022	TABACUNDO H.MOJANDA	92,6	110,5	137,6	136,3	108,1	41,3	22,7	22,4	64,3	118,4	133,9	107,8	11127,4

Nota: Fuente: INAMHI (2020)

Evapotranspiración (mm): En el estudio se realizó el cálculo estimado de la evapotranspiración potencial ETP por el Método de Thornthwaite y la evapotranspiración real ETR por el Método propuesto por Turc. Esto permitió definir el resultado de evapotranspiración media anual más aplicable para el cálculo de balance hídrico simplificado de la cuenca en estudio.

Para estimar la ETP propuesto por Thornthwaite se aplicó la siguiente ecuación (Thornthwaite, 1948):

$$ETP_{Th} = \frac{16}{n_m} \cdot \left(\frac{10 \cdot T_m}{I} \right)^a \quad (5)$$

En donde:

T_m = temperatura mensual en °C

n_m = # días en el mes/30

a = coeficiente

I = índice de temperatura anual en °C

El índice de temperatura anual en °C, también conocido como índice de calor anual, está dado por la ecuación (Coral *et al.*, 2015):

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (6)$$

El coeficiente (a), se definió con la ecuación (Coral *et al.*, 2015):

$$a = 675(I \times 10^{-3})^3 - 77,1(I \times 10^{-3})^2 + 1792(I \times 10^{-5}) + 0,49329 \quad (7)$$

La temperatura media mensual expresada en °C de la cuenca hidrográfica del río Itambi, se obtuvo de los datos de las estaciones meteorológicas, presentada en la Tabla 4:

Tabla 4.

Temperatura media mensual (°C) de la cuenca hidrográfica del río Itambi (2000-2020)

CÓD.	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	IBARRA													
M053	AEROPUERTO SAN PABLO	15,6	15,8	15,9	16,1	16	15,8	15,7	15,9	16	15,8	15,6	15,6	15,8
M110	DEL LAGO IBARRA	13,5	13,4	13,6	13,7	13,7	13,4	13,3	13,4	13,6	13,7	13,7	13,6	13,6
M1240	INAMHI	16,8	16,6	16,9	17,2	16,5	16,9	17,1	16,8	17,4	16,9	16,9	16,5	16,9
M021	ATUNTAQUI	15,3	15,3	15,5	15,6	15,6	15,5	15,5	15,6	15,7	15,5	15,4	15,3	15,5
M106	LITA	22,8	23	23,2	23,3	23,2	23	22,8	22,8	22,8	22,7	22,6	22,7	22,9
M107	CAHUASQUI- FAO	16,3	16,3	16,5	16,7	16,8	16,9	16,6	16,9	17,1	16,8	16,5	16,4	16,6
	SALINAS- IMBABURA													
M085	INERHI	19,1	19,1	19,6	19,8	19,9	19,9	20	19,9	19,9	19,6	19,4	19,3	19,6
	TABACUNDO-													
M022	H. MOJANDA MALCHINGUI-	12,8	12,7	12,8	12,8	12,9	12,6	12,5	12,8	12,8	12,9	12,9	13	12,8
M111	INAMHI COCHASQUI- HCDA.	14,3	14,5	14,7	14,8	15	14,7	14,9	15,7	15	14,9	14,5	14,5	14,8
M605	INAMHI OLMEDO-	12,5	12,2	12,3	12,5	12,8	12,4	12,3	12,7	12,8	12,4	12,4	12,4	12,5
M023	PICHINCHA	11,6	11,7	11,8	12	12,1	11,7	11,4	11,5	11,7	12,2	12	11,9	11,8

Nota: Fuente: INAMHI (2020)

Otro de los métodos aplicados para el cálculo de la estimación de evapotranspiración real fue la ecuación propuesta por Turc (UNESCO, 2006).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (8)$$

En donde:

ETR = Evapotranspiración real, en mm/año

P = Precipitación media anual, en mm/año

L = $300 + 25t + 0,005t^3$

T = Temperatura media anual, en °C

Infiltración (mm): El método analítico para la obtención de la infiltración media anual sugiere la siguiente ecuación:

$$I = P - (CE \cdot P) - ETR \quad (9)$$

En donde:

I = Infiltración (mm/año)

P = Precipitación mensual (mm/año)

CE = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

ETR = Evapotranspiración (mm/año)

El coeficiente de escorrentía para la infiltración del agua en el suelo se basa en parámetros de pendiente K_p , cobertura vegetal K_v , y textura del suelo K_{fc} . Los valores de los factores de estimación del escurrimiento superficial de National Resources Conservation Service Department of Agriculture USA y citado por Torrico Torrico, (2011), son tomados para cada parámetro, según lo descrito en la Tabla 5.

Tabla 5.***Coefficientes de escorrentía CE***

Cobertura del Suelo	Tipo de Suelo	Pendiente del terreno				
		> 50 %	20>50 %	5-2>0 %	5 - >1 %	<=1 %
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Vegetación de Páramo	Impermeable	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
	Semipermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Permeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota: Fuente: Adaptado de: Torrico Torrico (2011)

Llevado a cabo el procedimiento de los parámetros: precipitación (mm), evapotranspiración (mm), e infiltración (mm), se realizó la aplicación de ecuación (2) para obtener el caudal de escorrentía en formato Raster de resolución en m, para analizar el bance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

3.3.2 Fase 2: Determinación de zonas potenciales con aptitud agrícola de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El proceso consistió en determinar las zonas con aptitud agrícola, a través de la aplicación de herramientas de análisis multicriterio permitiendo una modelación espacial en el área de estudio, con procesamiento de datos con el Software ArcGIS® (Ver Figura 3).

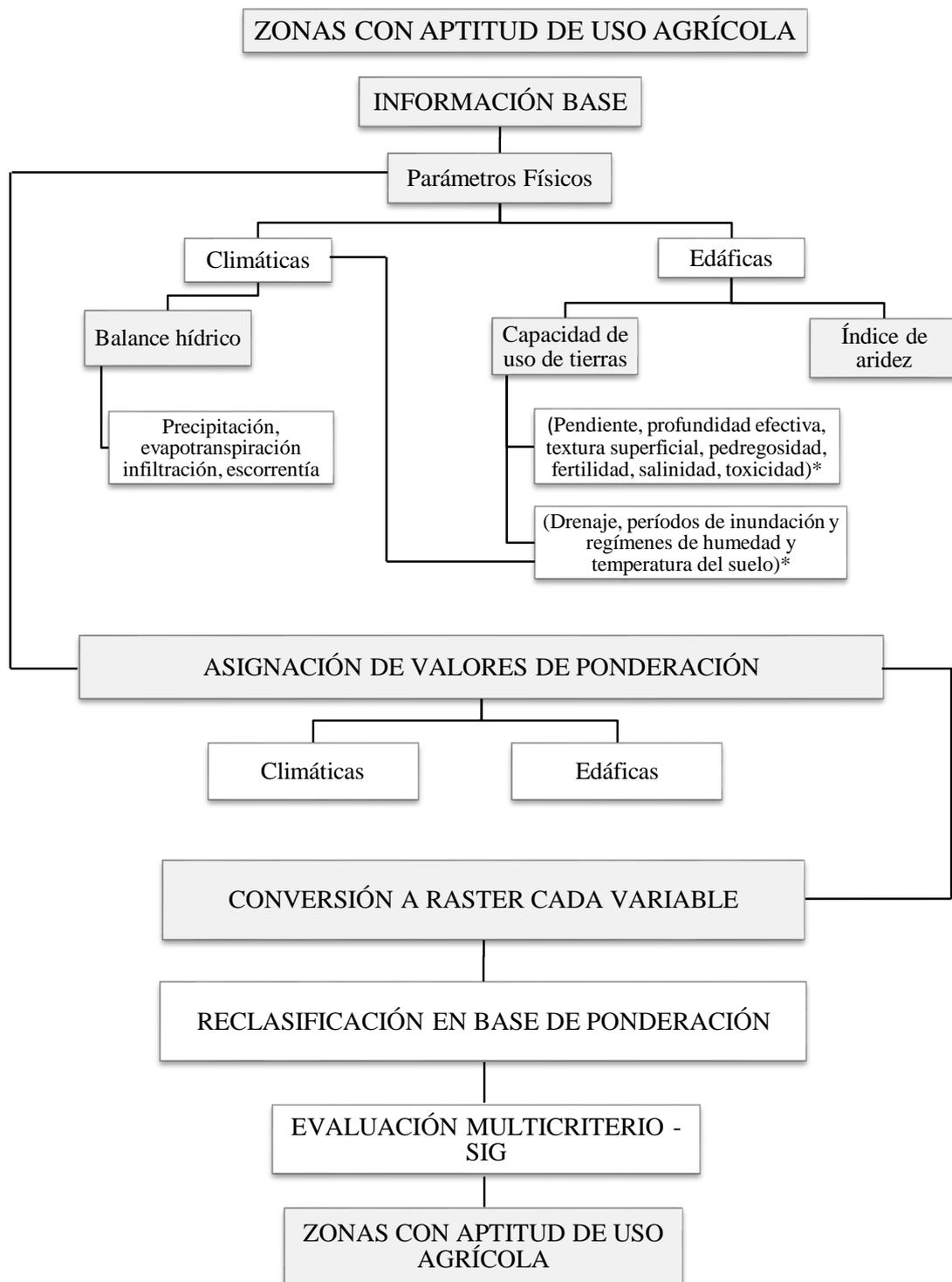


Figura 3. Esquema metodológico para la determinación de zonas con aptitud de uso agrícola
 Nota: *Variables consideradas para la generación de la cartografía de la Capacidad de Uso de Tierras.
 Tomado de: Instituto Espacial Ecuatoriano (2015)

La información base para la determinación de zonas con aptitud de uso agrícola fue obtenida del cálculo de variables climáticas a través del balance hídrico simplificado y variables edáficas cómo: Índice de aridez y capacidad de uso de tierras (Ver Tabla 6).

Tabla 6.**Variables para la determinación de zonas con aptitud de uso agrícola**

Variab les	Unidad	Descripción
Bal	mm/año	Caudal medio anual (mm/año) de la cuenca del río Itambi en formato (.tif)
Índice de aridez	mm	Calculado a partir de la evapotranspiración media anual y la precipitación anual con la ecuación de Índice de aridez propuesta por la UNEP (1992)
Capacidad de uso de tierras	km ²	Información cartográfica oficial de Capacidad de Uso de Tierras del cantón Otavalo, dentro del proyecto Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000 realizada por el IEE, (2015)

Balance hídrico simplificado: Para la obtención de las zonas con aptitud de uso agrícola, se utilizó la variable del caudal de escorrentía medio anual (mm/año) de la cuenca del río Itambi en formato (.tif), con el fin de conocer la disponibilidad de agua en las áreas aptas para cultivos de la cuenca en estudio.

En la Tabla 7 se presenta el criterio que corresponde la categoría de balance hídrico que fue reclasificado, utilizando una escala de 5 a 1 para cinco niveles de aptitud que van desde nivel 1 para “No Apto” a nivel 5 para “rango de caudal de “600 - 800”, Moderadamente Apto, para el rango de “400 - 600”, Poco Apto para el rango “200 - 400”, y No Apto para el valor de caudal (mm) “0 - 200”.

Tabla 7.**Criterios de aptitud agrícola por balance hídrico**

Criterios de aptitud agrícola por Balance Hídrico			
Nivel	Criterio	Bal ance hídrico (mm)	*Color
5	Muy Apto	800 - >1000	
4	Apto	600 - 800	
3	Moderadamente Apto	400 - 600	
2	Poco Apto	200 - 400	
1	No Apto	0 - 200	

Índice de aridez: Para el cálculo del Índice de aridez se utilizó la fórmula propuesta en el Atlas Mundial de Desertificación de la UNEP (1992), en el cual, implementa una metodología que describe que las tierras secas son aquellas zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas cuyo cociente P/PET está comprendido entre 0,05 y 0,65 mm, en el que P es la precipitación anual media y PET la evapotranspiración potencial, ambas expresadas en milímetros (Díaz Padilla, y otros, 2011). En la Tabla 8 se muestran los

rangos de índices de aridez según la UNEP que permitieron la comparación de los resultados obtenidos.

Tabla 8.

Índices de aridez según UNEP (1992)

ID	Clima
> 0,65	Húmedo
0,65 - 0,5	Subhúmedo-seco
0,5 - 0,2	Semiárido
0,2 - 0,05	Árido
< 0,05	Hiperárido

Nota: Fuente: UNEP (1992)

En la Tabla 9 se presenta el criterio que corresponde la categoría de índice de aridez que fue reclasificado, utilizando una escala de 5 a 1 para cinco niveles de aptitud que van desde nivel 1 para “No Apto” a nivel 5 para “Muy Apto”. El criterio Muy Apto corresponde al valor de índice de aridez “> 0,65”, Apto para el valor de índice de aridez “0,65 - 0,5”, Moderadamente Apto, para el rango de aridez “0,5 - 0,2”, Poco Apto para el rango “0,2 - 0,05”, y No Apto para el valor de índice de aridez “<0,05”.

Tabla 9.

Criterios de aptitud agrícola por Índice de aridez

Criterios de aptitud agrícola por Índice de aridez			
Nivel	Criterio	Índice de aridez	*Color
5	Muy Apto	> 0,65	
4	Apto	0,65 - 0,5	
3	Moderadamente Apto	0,5 - 0,2	
2	Poco Apto	0,2 - 0,05	
1	No Apto	< 0,05	

Capacidad de uso de tierras: Esta variable fue tomada de la información cartográfica oficial de Capacidad de Uso de la Tierra [CUP] del cantón Otavalo, dentro del proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000”, realizado por el IEE en el año (2015), el cual, se elaboró la cartografía de capacidad de uso de tierras, mediante las siguientes variables: “pendiente, profundidad efectiva, textura superficial, pedregosidad, fertilidad, salinidad, toxicidad, drenaje, períodos de inundación y regímenes de humedad y temperatura del suelo” (p. 7).

La capacidad de uso de tierras define ocho clases por el grado de limitación de los criterios de cada variable (Ver Tabla 10), con el siguiente argumento, “conforme aumentan las

limitaciones disminuyen las opciones de uso, quedando las cuatro primeras clases (I a IV) reservadas para los usos agrícolas y las cuatro restantes (V a VIII) para las no-agrícolas tales como bosques, pastos, espacios protegidos, etc.” (IEE, 2015) (p. 6).

Tabla 10.

Clases de capacidad de uso de tierras

Clase	Capacidad de uso
Tierras aptas para cultivo	
Clase I	Cultivables sin limitaciones de uso
Clase II	Cultivables con ligeras limitaciones de uso y moderados riesgos de daño
Clase III	Cultivables con moderadas limitaciones de uso susceptibles de corrección, y riesgos de daños
Clase IV	Cultivables sólo ocasionalmente por presentar serias limitaciones de uso y alto riesgo de daños
Tierras de uso limitado generalmente no adaptada a los cultivables	
Clase V	Apta para pastoreo y/o forestación, sin limitaciones
Clase VI	Apta para pastoreo y forestación, pero susceptibles a la erosión
Clase VII	Uso restringido para pastoreo y uso principal para forestación
Clase VIII	Tierras sin uso agropecuario y forestal:

Nota: Fuente: Adaptado de IEE (2015)

En la Tabla 11, se muestran los criterios que corresponde a la categoría de capacidad de uso de tierras, a una escala de 5 a 1 para cinco niveles de aptitud, que van desde nivel 1 para “No Apto” a nivel 5 para “Muy Apto”. El criterio Muy Apto corresponde a la CUT “Clase I”, Apto para la “Clase II”, Moderadamente Apto, para la capacidad de uso “Clase III”, Poco Apto para las “Clases IV y V”, y No Apto para la capacidad de uso de tierras de las “Clases VI, VII y VIII”.

Tabla 11.

Criterios de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras

Criterios de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras			
Nivel	Criterio	CUT	*Color
5	Muy Apto	Clase I	
4	Apto	Clase II	
3	Moderadamente Apto	Clase III	
2	Poco Apto	Clases IV y V	
1	No Apto	Clases VI, VII y VIII	

Nota: *Color definido para representación en mapa

Asignación de valores de ponderación La asignación de valores de ponderación se realizó otorgando pesos en porcentajes a las variables de: balance hídrico simplificado, capacidad de uso de tierra e Índice de aridez (Ver Tabla 12).

Tabla 12.

Pesos de ponderación para las variables

Variable	Peso de ponderación
Balance hídrico simplificado	40 %
Capacidad de uso de tierra	40 %
Índice de Aridez	30 %

Luego de haber realizado la conversión a Raster de cada variable, se efectuó el cruce de variables aplicando el peso de ponderación. El archivo Raster fue reclasificado según los criterios de uso agrícola, utilizando una escala de 5 a 1 para cinco niveles de aptitud, desde nivel 1 para “No Apto” a nivel 5 para “Muy Apto” (Ver Tabla 13).

Tabla 13.

Criterios de aptitud de uso agrícola

Criterios de aptitud de uso agrícola		
Nivel	Criterio	*Color
5	Muy Apto	
4	Apto	
3	Moderadamente Apto	
2	Poco Apto	
1	No Apto	

Nota: *Color definido para representación en mapa

3.3.3 Fase 3: Determinación de zonas potenciales con aptitud de riego

El proceso para zonificación de áreas con aptitud de riego, consistió en la aplicación de un modelo geoespacial (Ver Figura 4), tomando como base la cartografía de las zonas aptitud del uso agrícola generada en la Fase 2 del presente estudio. La selección de áreas se realizó mediante sobre posición de layers como: ecosistemas estratégicos, áreas recuperación y conservación, áreas bajo cobertura de riego, concesiones mineras, zonas de pendientes superiores al 25 % y cotas mayores a 3000 msnm; realizado a través del sistema de información geográfica del software ArcGIS®, excluyendo áreas ambientales que no son aptas para riego tomadas de la Cartografía Temática generada por el GPI (2016) según el siguiente modelo:



Figura 4. Esquema metodológico para la determinación de zonas potenciales con aptitud de riego. Nota: Fuente: Adaptado de: GPI (2018)

Realizado el proceso de exclusión temática, se realizó el cruce de variables a través de Software ArcGIS® en formato Raster, Posterior se ejecutó la conversión a formato Vectorial para calcular la superficie expresada en km² de las zonas con potencial de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

En la Tabla 14, se presenta la descripción propuesta que correspondió a los cinco niveles de los criterios establecidos para las zonas potenciales con aptitud de riego.

Tabla 14.

Descripción de criterios de zonas potenciales con aptitud de riego

Descripción de criterios de zonas potenciales con aptitud de riego			
Nivel	Criterio	Descripción	*Color
5	Muy Apto	Zonas con potencial para riego, con disponibilidad de agua, cultivables sin limitaciones de uso	
4	Apto	Zonas con potencial para riego, con poca disponibilidad de agua, cultivables con ligeras limitaciones de uso y moderados riesgos de daño	
3	Moderadamente Apto	Zonas moderadas para riego, con limitaciones de disponibilidad de agua, cultivables con moderadas limitaciones de uso susceptibles de corrección, y riesgos de daños	
2	Poco Apto	Zonas con poco potencial de riego, escasa disponibilidad de agua, cultivables sólo ocasionalmente por presentar serias limitaciones de uso y alto riesgo de daños, aptas para pastoreo y/o forestación.	
1	No Apto	Zonas sin potencial de riego, escasa disponibilidad de agua, susceptibles a la erosión, tierras no aptas para uso agropecuario	

Nota: Fuente: Adaptado de IEE (2015)

3.3.4 Fase 4: Elaboración de lineamientos para manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Para la definición de lineamientos para el manejo de recursos hídricos para las zonas potencial con aptitud de riego, se estructuraron indicadores según el modelo Presión – Estado – Respuesta, que permiten establecer indicadores ambientales que permitieron definir acciones y lineamientos para toma de decisiones en el área de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Para definir los indicadores de presión se realizó la selección de los lineamientos y estrategias de las políticas nacionales relacionadas al manejo y gestión del recurso hídrico de los siguientes planes nacionales y provinciales: Plan de Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SENPLADES, 2017); el Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027 (Secretaría del Agua - Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019); y, Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037 (GPI, 2018).

Los indicadores de estado se basaron principalmente en las condiciones que se encuentran los recursos hídricos y de las zonas potenciales con aptitud de riego en la cuenca hidrográfica del río Itambi, partiendo a su vez de los indicadores de presión.

Establecidos los indicadores de PER, se elaboró los lineamientos para el manejo del recurso hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi, complementados con: objetivo, descripción y acciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase 1: Determinación del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El área de investigación se sitúa en la cuenca hidrográfica del río Itambi, localizada en la Unidad Hidrográfica 15489 ubicada en las parroquias San Pablo del Lago y González Suárez del cantón Otavalo, provincia de Imbabura, en una superficie de 93,51 km² y un perímetro de 64,49 km. (Ver Figura 5).

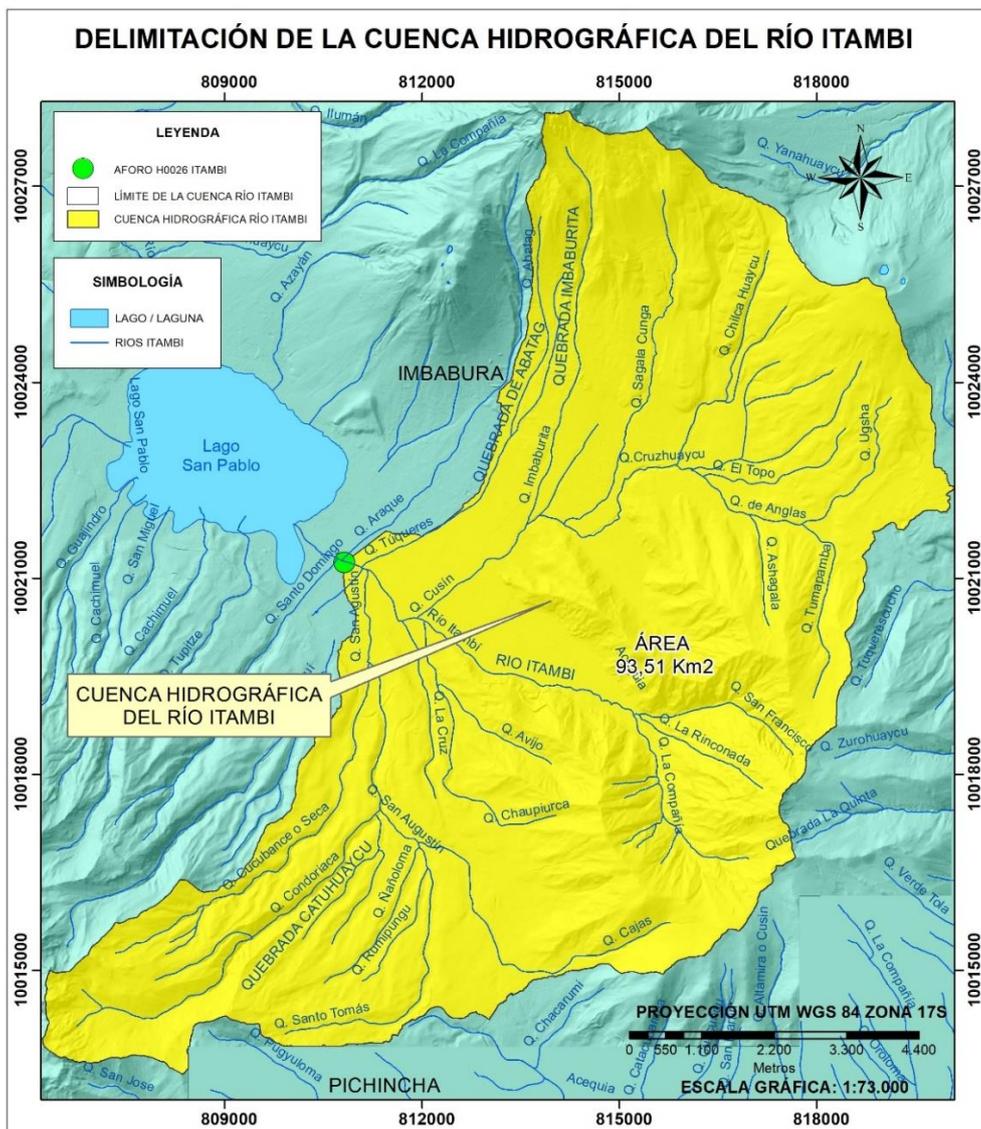


Figura 5. Área de estudio delimitada con punto de Aforo en la Estación Limnométrica H0026

A continuación, se presenta los resultados de las variables del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi, como son: parámetros morfométricos, precipitación media anual, evapotranspiración media anual, infiltración media anual e escorrentía media anual.

4.1.1 Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Para efectos de realizar una breve caracterización hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Itambi, se calcularon los parámetros base que permitieron conocer que el área de la cuenca es 93,51 km², con un perímetro de 64,49 km y una altitud media de 3174,40 msnm (Ver Tabla 15). El Tiempo de Concentración de la cuenca hidrográfica del río Itambi es de 1,01 horas.

Tabla 15.

Parámetros base de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Parámetros Base	Unidad	Valor
Perímetro	km	64,49
Área	km ²	93,51
Longitud río más largo	km	9,73
Altitud mayor	msnm	4622
Altitud menor	msnm	2667
Altitud mayor del río	msnm	4046
Longitud total de los ríos	km	163
Altitud media de cuenca	msnm	3174,40
Ríos de primer orden	ríos	40

Nota: Fuente: MDT de 10 metros el pixel, SIG Tierras (2015)

En la Tabla 16, se presenta el resultado de los parámetros fisiográficos y morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Tabla 16.

Parámetros fisiográficos y morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Parámetros Fisiográficos	Unidad	Valor
Índice de compacidad	u	1,87
Ancho medio	km	9,61
Factor forma	u	0,99
Relación Elongación	u	1,12
Lado mayor del rectángulo equivalente	km	29,02
Pendiente media de la cuenca	%	6,74
Pendiente media del río principal	%	14,17
Densidad de drenaje	km / km ²	1,94
Frecuencia de ríos	ríos/ km ²	1,74
Coefficiente de torrencialidad	ríos/ km ²	0,43
Coefficiente de masividad	m/ km ²	33,95

El Índice de Compacidad de la cuenca hidrográfica del río Itambi es de 1,87, que corresponde a una cuenca de forma rectangular oblonga.

4.1.2 Precipitación media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Durante el período del año 2000 al 2020, los datos registrados por el INAMHI en las estaciones meteorológicas, muestran que la cuenca hidrográfica del río Itambi tiene una precipitación media anual de 1168,71 mm. El pico más alto de precipitación media anual es de 1347,4 mm y el más bajo es de 954,97 mm (Ver Figura 6).

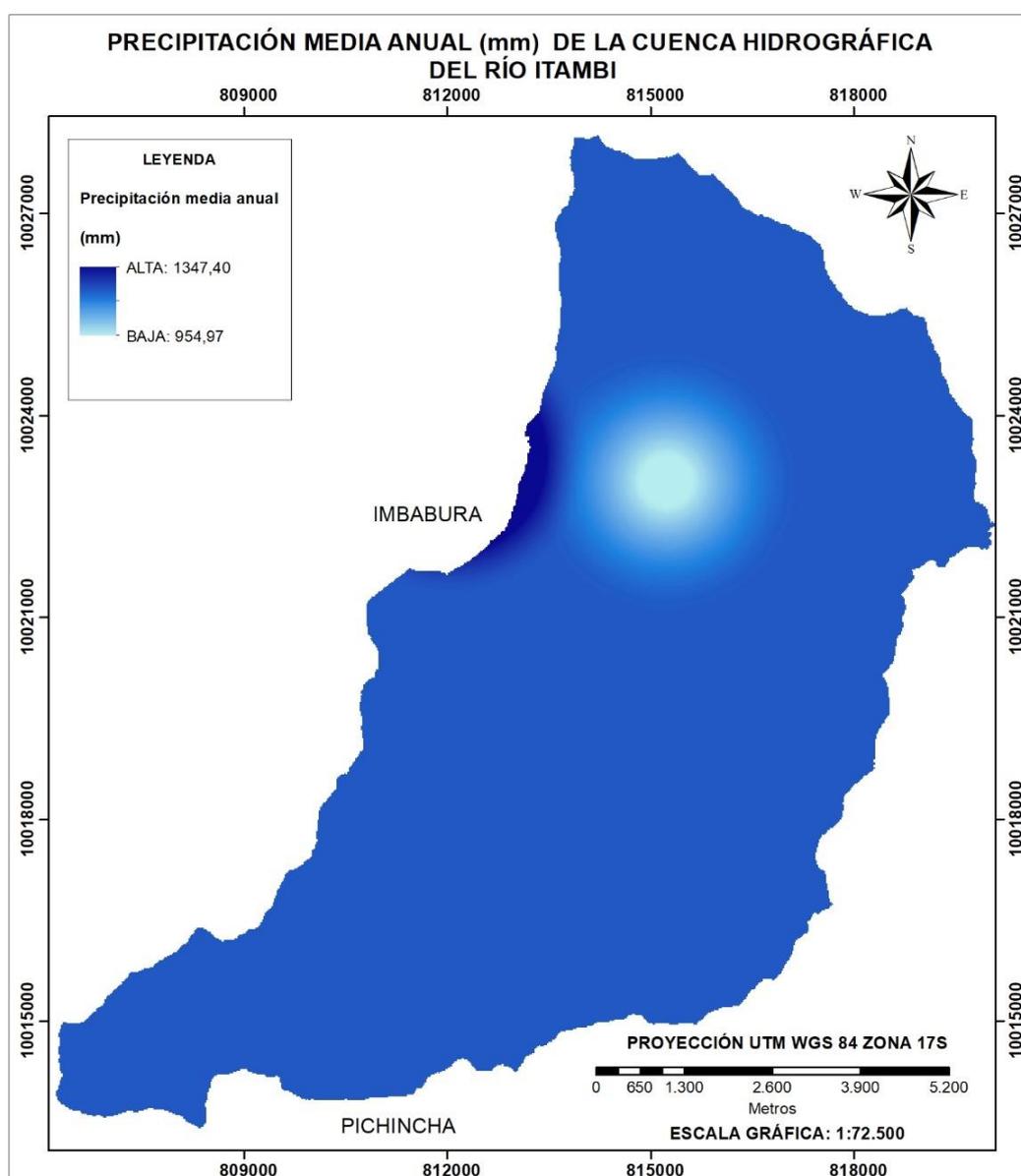


Figura 6. Precipitación media anual (mm) de la cuenca del río Itambi, período 2000-2020
Nota: Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2020)

En la Figura 7, se presentan las precipitaciones medias mensuales (mm) registradas en el período 2000 a 2020 en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

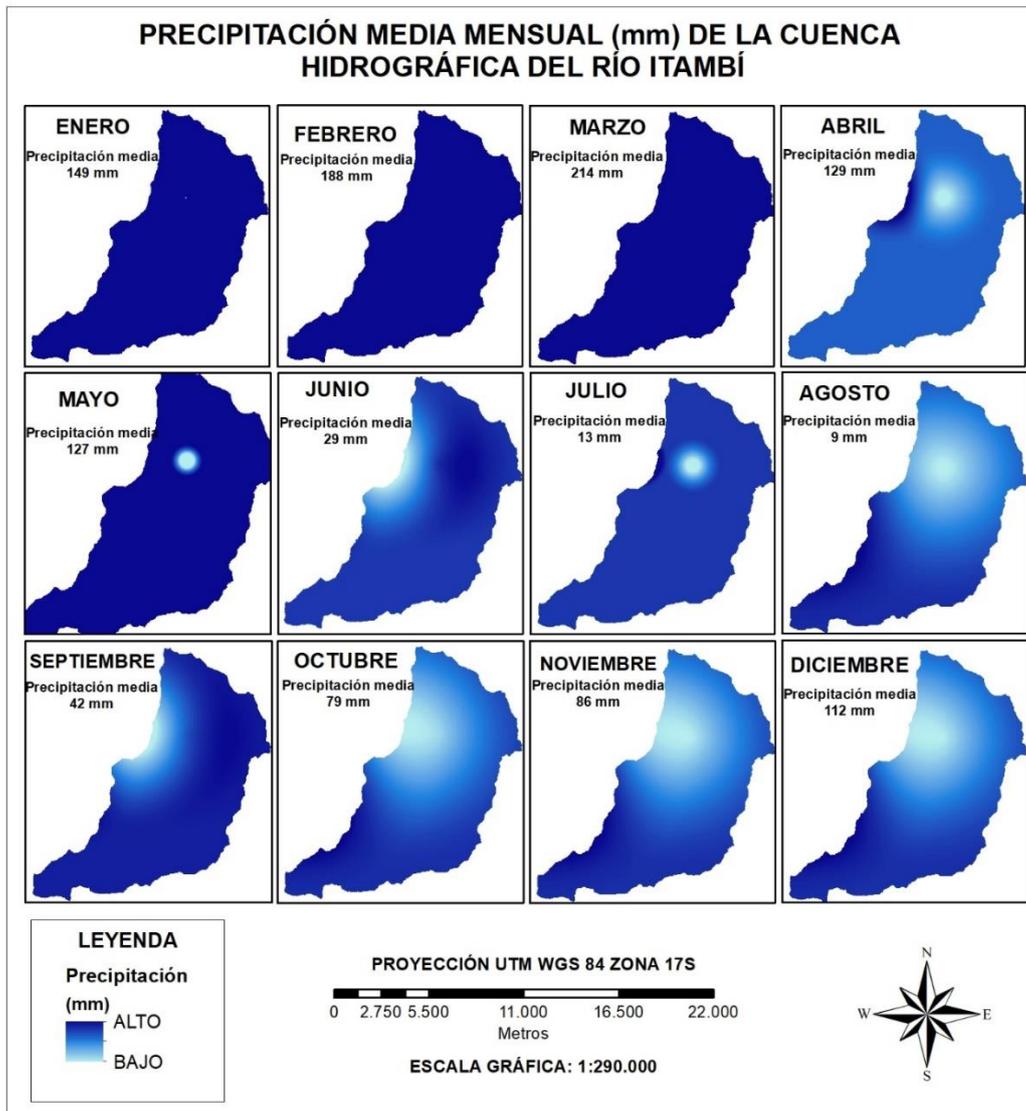


Figura 7. Precipitación media mensual (mm) de la cuenca del río Itambi, período 2000-2020

Nota: Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2020)

La precipitación media mensual, muestra dos temporadas climáticas, una de ellas define una época lluviosa en los meses con mayores precipitaciones entre diciembre a mayo; y, una época seca entre junio a noviembre con precipitaciones escasas. Según el estudio realizado por el INAMHI (2015) para la elaboración del Mapa de escurrimiento de la cuenca del río Mira, la variación estacional de la precipitación de la cuenca en estudio, en la cual, se encuentra la Cuenca Hidrográfica 15489 considerada como una subdivisión nivel 5, distingue una “temporada de lluvias se registra en los meses de octubre a mayo, mientras que la menor lluvia se registra en los meses de julio a septiembre”.

4.1.3 Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi

En la Figura 8, se presenta la evapotranspiración potencial media anual calculada por el método de Thornthwaite del período 2000 al 2020, de la cuenca en estudio. El rango medio anual de evapotranspiración oscila entre 1352,05 a 1387,90 mm/año, con una media anual de 1373,53 mm/año, presentándose mayor evapotranspiración en la parte noreste de la cuenca del río hidrográfica del río Itambi.

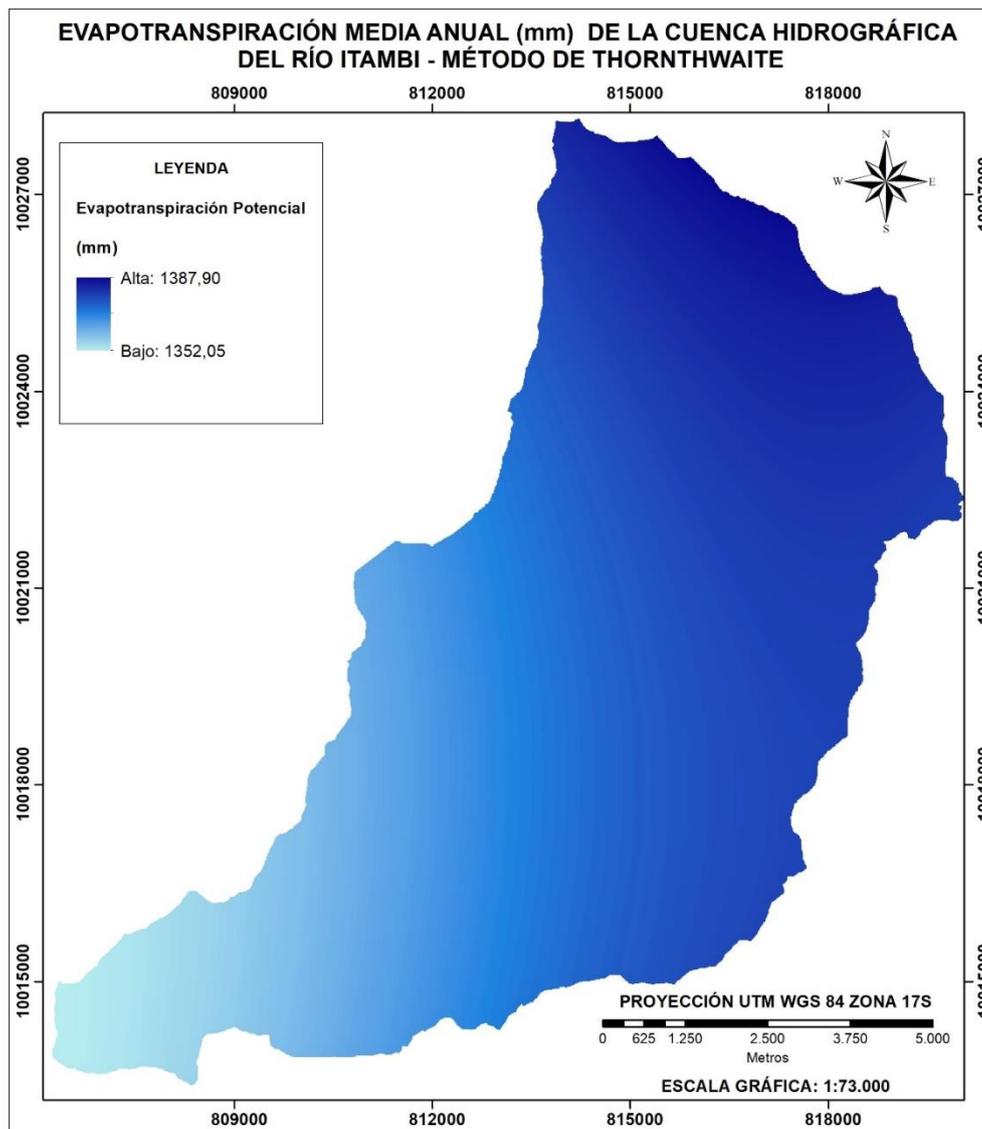


Figura 8. Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite

La evapotranspiración media anual de la cuenca hidrográfica del río Itambi obtenida por el método Turc es de 582,69 mm/año. Los resultados muestran que la evapotranspiración

media anual más alta es de 605,45 mm /año y la más baja de 533,75 mm/año. (Ver Figura 9).

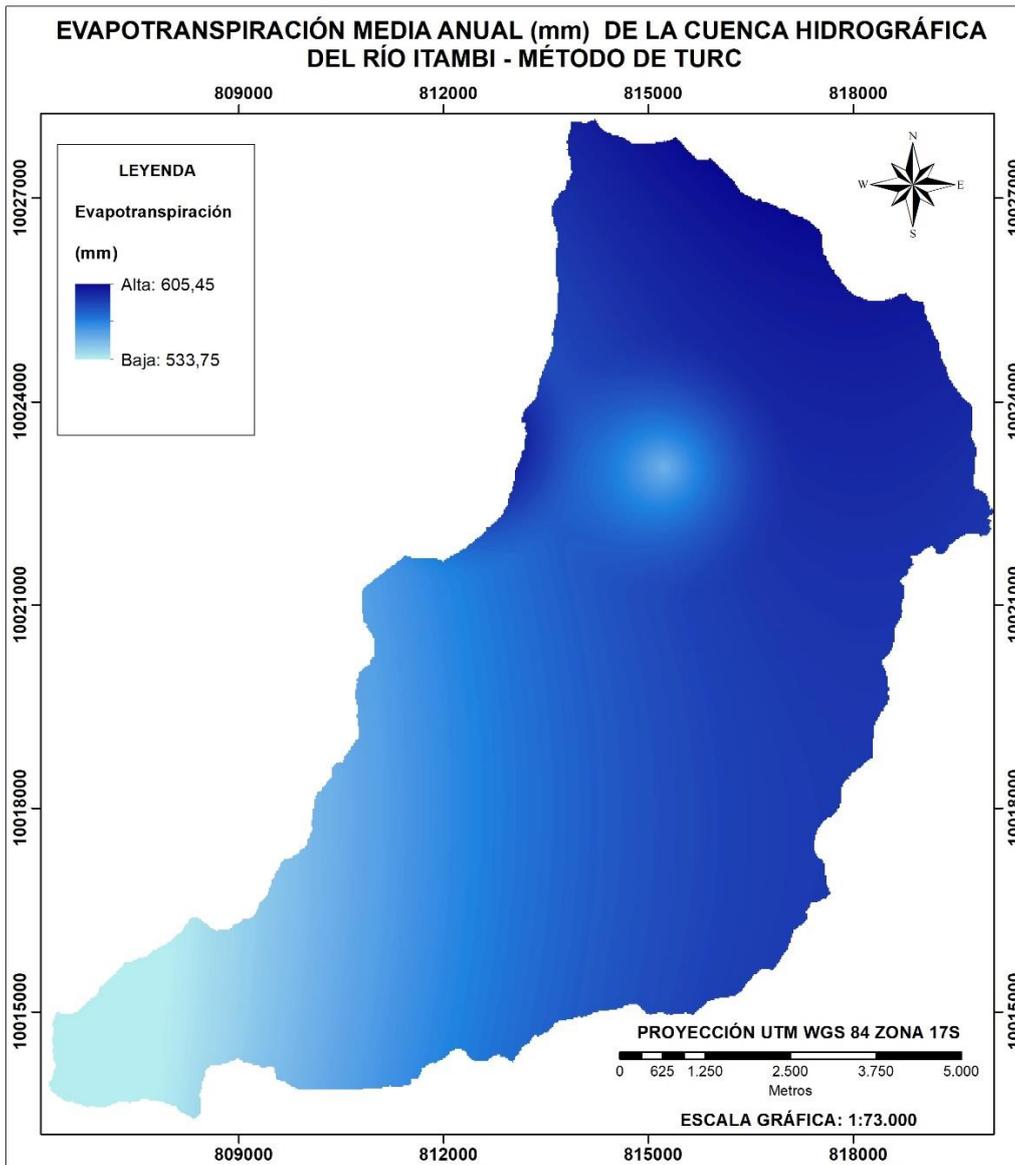


Figura 9. Evapotranspiración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc

En la Figura 10, se presenta los resultados de la variabilidad mensual de la evapotranspiración obtenida en los métodos analíticos de Thornthwaite y Turc en la cuenca hidrográfica del río Itambi. En el método de Turc el rango de evapotranspiración media mensual oscila entre 0,95 a 213,92 mm/mes; los resultados con menor evapotranspiración se presentan entre los meses de junio a septiembre, con el pico más bajo en el mes de agosto; los valores más altos de evapotranspiración se presentan en los meses de febrero y marzo con valores de 190,00 mm/mes y 213,92 mm/mes respectivamente.

En el método de Thornthwaite la evapotranspiración media mensual oscila entre 105,32 a 116,91 mm, registrando el valor más bajo en el mes de febrero. Resultados similares se presentan en el estudio realizado por el IEE (2013) para la generación de geoinformación de clima e hidrología en el cantón Pedro Moncayo, tiene similares resultados en la aplicación del método de Thornthwaite para el cálculo de la evapotranspiración del área de estudio, con valores más bajos en el mes de febrero y los meses de mayo, agosto y diciembre los de máxima ETP.

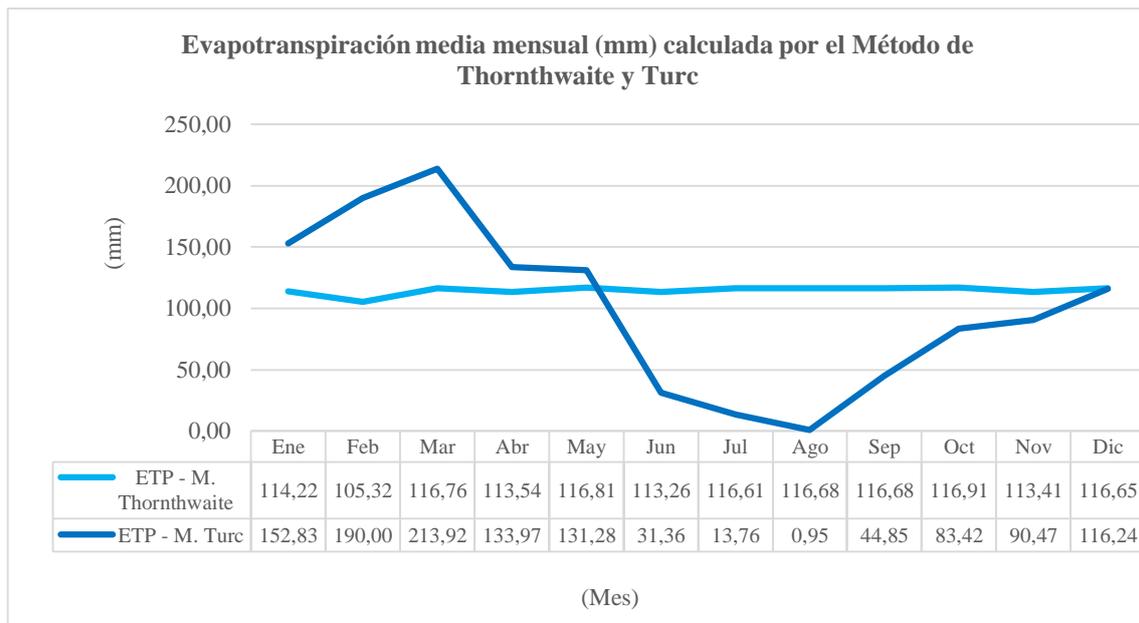


Figura 10. Evapotranspiración media mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi aplicando los Método de Thornthwaite y Turc

Según Del Toro Guerrero *et al.* (2014), en el método Thornthwaite es uno de resultados que se adaptan para la determinación del balance hídrico, siendo el más usado por la sencillez de cálculo el cual requiere datos “meteorológicos como temperatura media del aire, el número de horas de sol y el índice de calor mensual” (p. 75).

4.1.4 Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi

La Figura 11, muestra que la infiltración media anual de la cuenca hidrográfica del río Itambí es de -814,19 mm/año, con un rango medio anual de -1143,65 a -194,42 mm/año calculados en base a la ETP obtenida por el método de Thornthwaite (Ver ecuación 9).

La degradación de color azul indica que la mayor infiltración media anual se presenta en la parte baja de la cuenca.

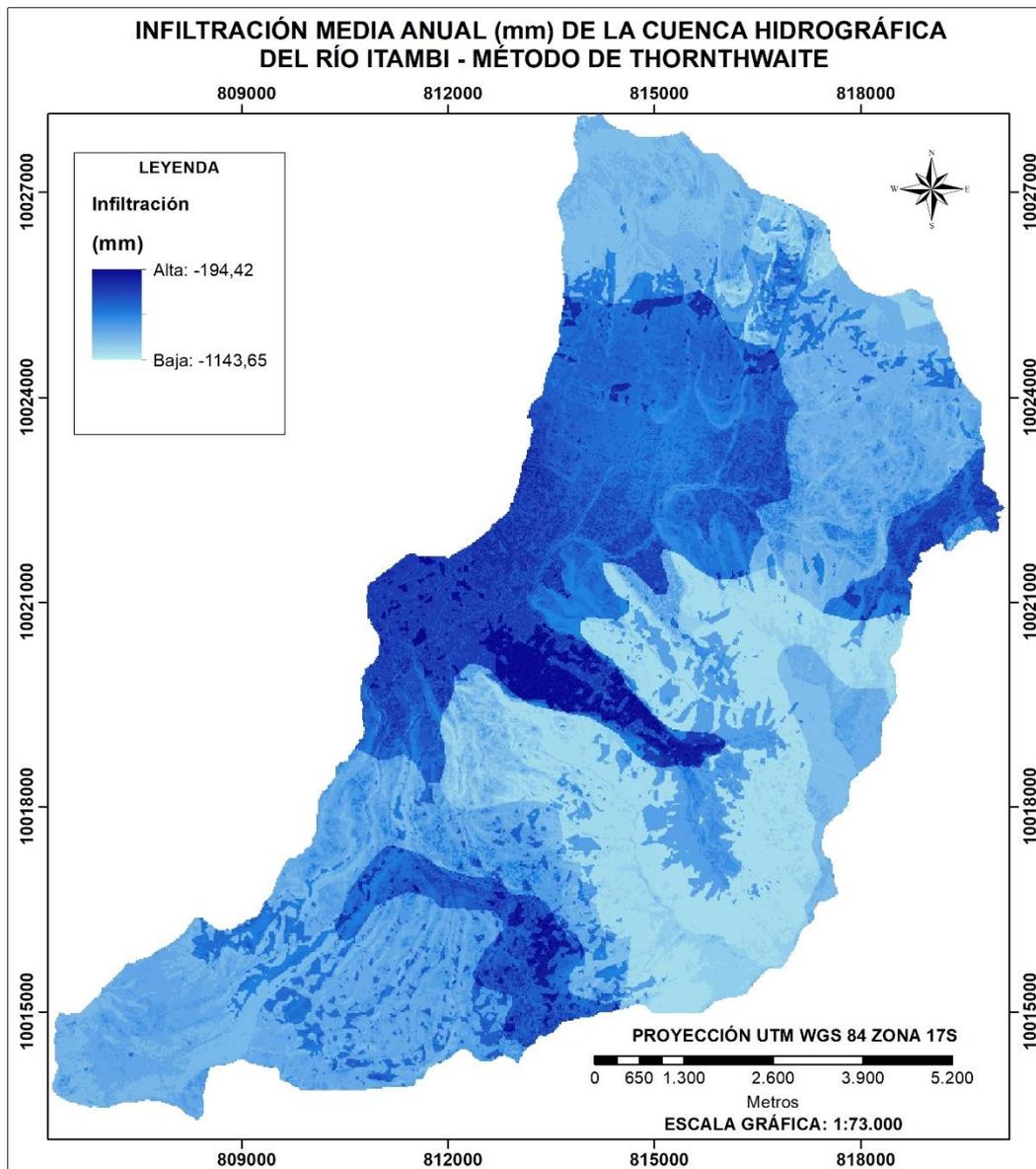


Figura 11. Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite

La infiltración media anual calculada por el método de Turc es de -23,27 mm/año, con un rango medio anual de -357,44 a 597,72 mm/año (Ver Figura 12). La degradación de color azul fuerte indica mayor infiltración en la parte baja central de la cuenca.

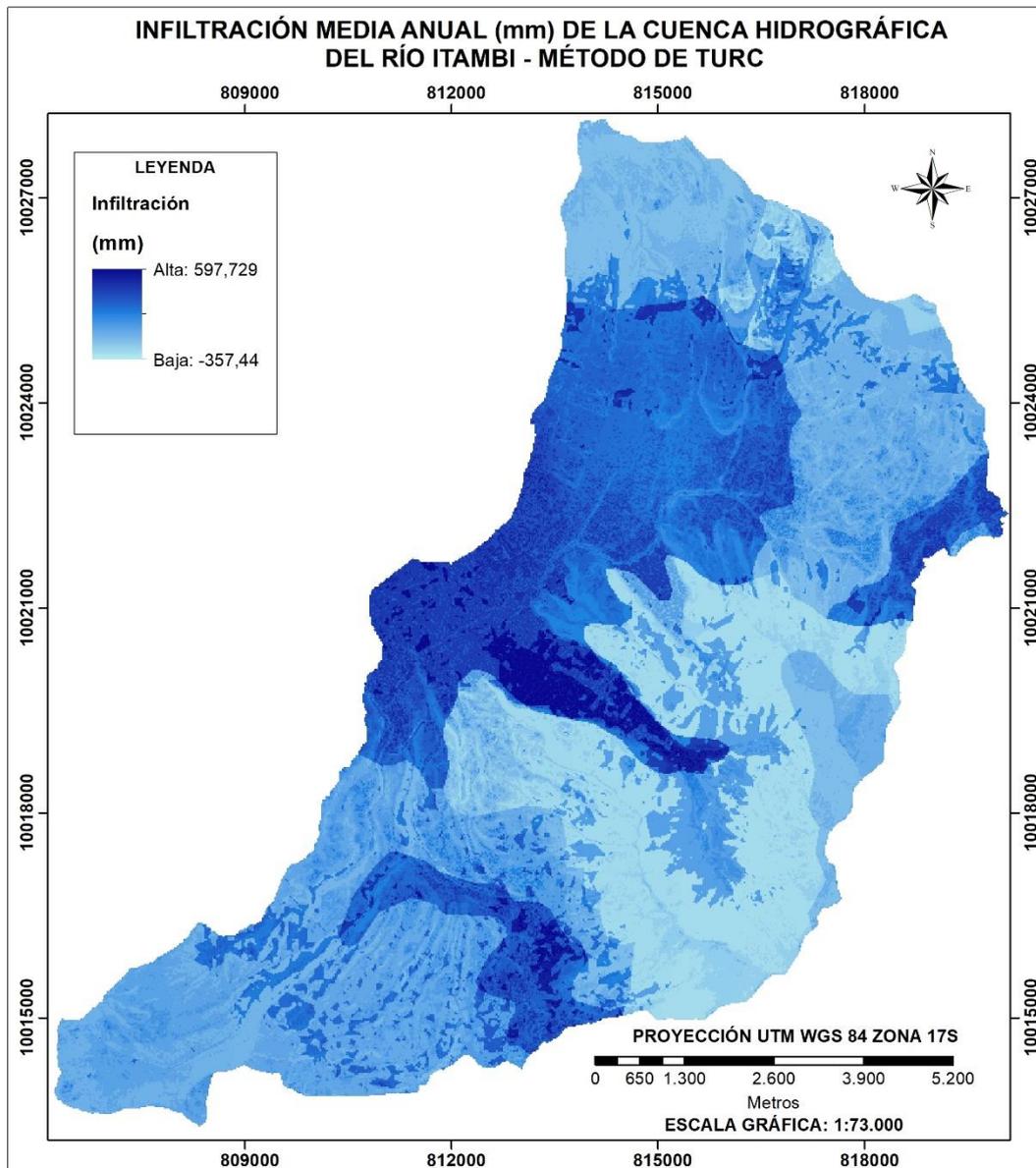


Figura 12. Infiltración media anual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc

En la Figura 13, presenta los resultados de la infiltración media anual expresadas en (mm/mes) a partir de los métodos de Thornthwaite y Turc, en relación a la Precipitación, permitiendo el análisis mensual de la variabilidad de infiltración en el período 2000 a 2020.

Los resultados a partir del método de Thornthwaite, muestran un rango de infiltración media mensual que oscila entre -13,04 mm/mes a 112,1 mm/mes; los meses infiltración media mensual alta se presentan en los meses febrero y marzo; y, los meses con infiltración baja se presenta en los meses de junio a septiembre.

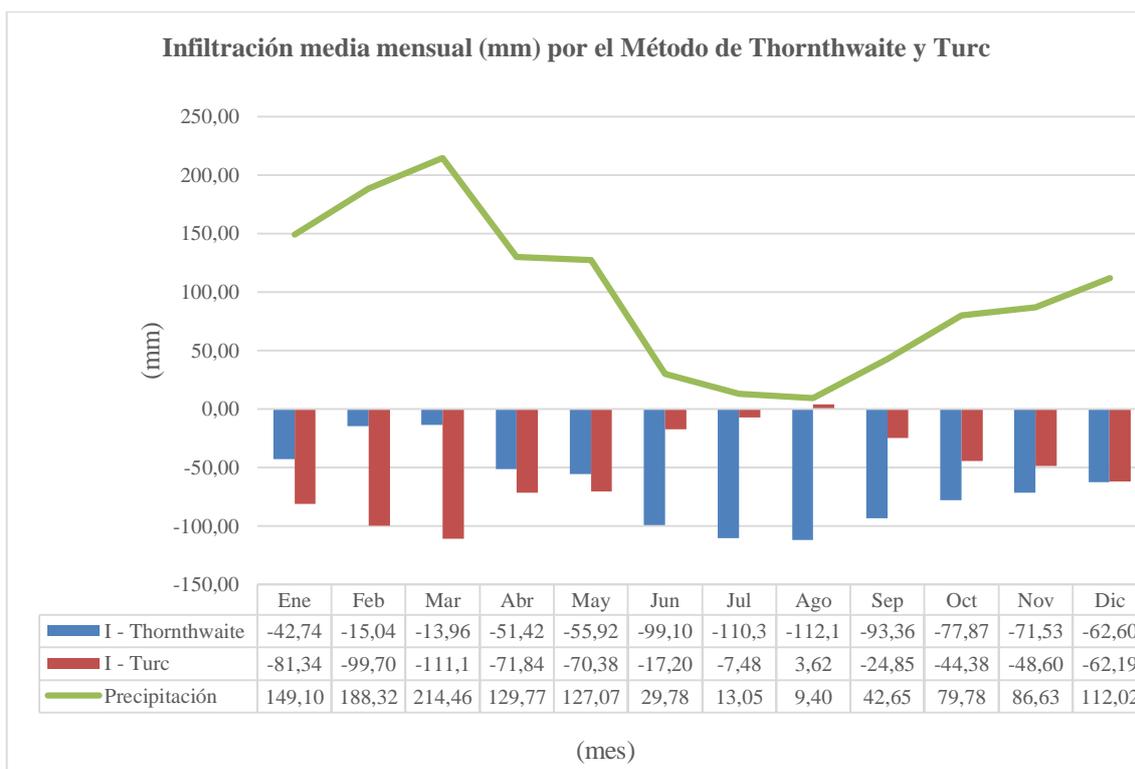


Figura 13. Resultado del cálculo de la infiltración media mensual de la cuenca hidrográfica del río Itambi aplicando los Método de Thornthwaite y Turc

Lo contrario sucede en los resultados a partir de la fórmula de Turc, los meses con infiltración media mensual alta se presentan entre junio a septiembre y los meses con infiltración baja resultó en los meses de febrero y marzo (Ver Figura 13).

4.1.5 Caudal de escorrentía (mm/año) de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El área de estudio con un área de 93.35 km², delimitada como punto de partida la Estación Limnimétrica H0026 denominada “Itambi en L. S. Pablo”, durante el período 2000 a 2020, obtuvo un caudal medio anual de 1,8 m³/s o 938,99 mm/año. Este resultado presentó a partir de los dos métodos aplicados. En la degradación de color indicado en azul, existe mayor escorrentía en la parte media alta de la cuenca hidrográfica del río Itambi (Ver Figura 14).

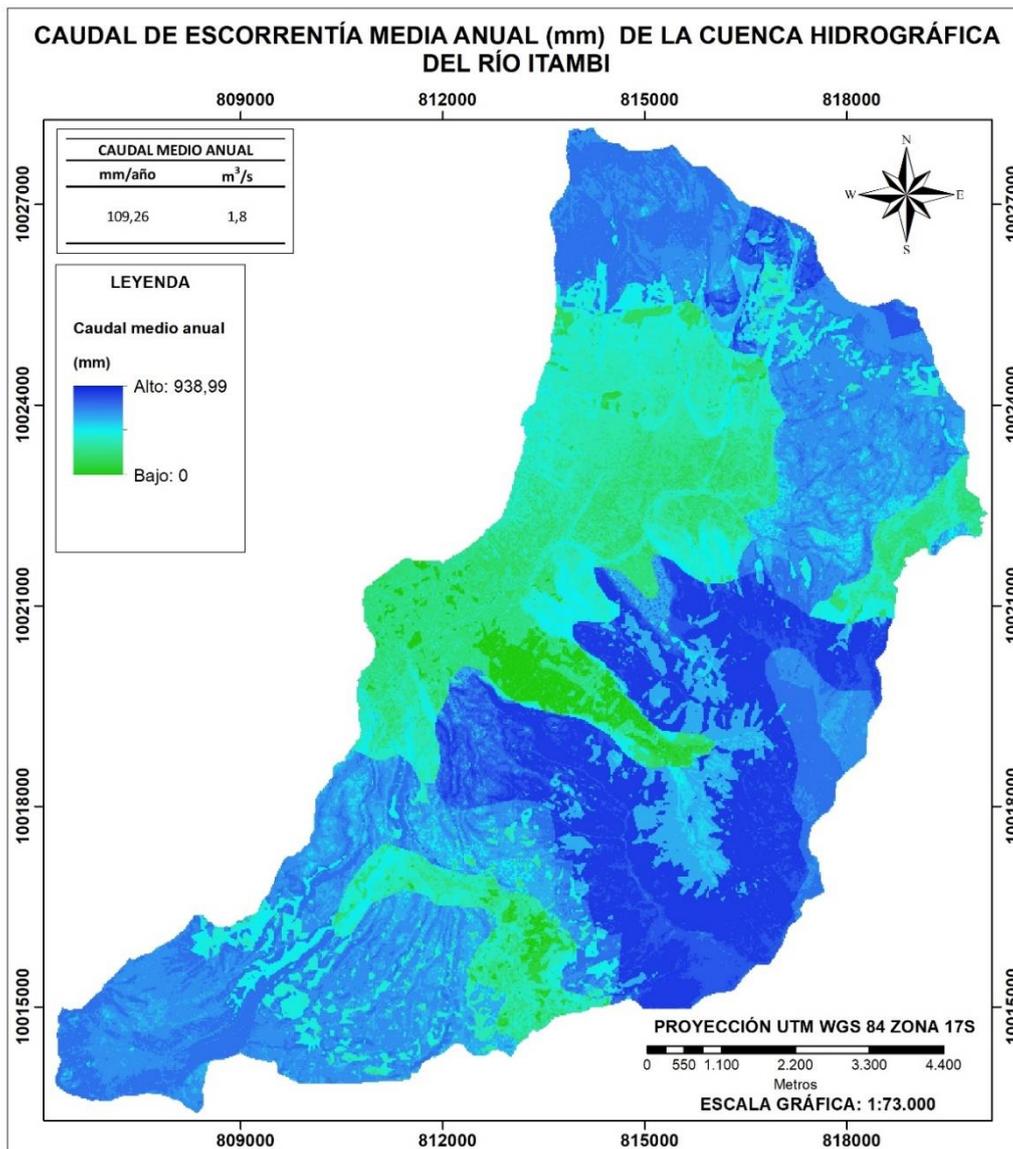


Figura 14. Caudal de escorrentía medio anual (mm/año) de la cuenca hidrográfica del río Itambi

De acuerdo al GPI (2018), en el estudio realizado en el Plan de Riego y Drenaje de la Provincia de Imbabura 2017- 2037, la Unidad Hidrográfica 1489 del río Itambí, tiene un caudal medio anual total estimado de 2,2 m³/s, con caudales mensuales medios en los meses de julio a septiembre, la época seca tiene un caudal medio de 1,3 m³/s y en la época lluviosa de 2,6 m³/s.

En la Figura 15 se presenta los resultados del caudal de escorrentía media mensual de la cuenca hidrográfica del río Itambí a partir del método de Thornthwaite, que oscilan entre 4,83 a 111,66 mm/mes; de los cuales, indica los picos alto de caudal de escorrentía medio en el mes de febrero con 98,04 mm/mes y el marzo con 111,65 m/mes. Los meses con

menor caudal se presentan entre los meses de junio a septiembre, siendo el mes de julio y agosto los meses con valores más bajos.

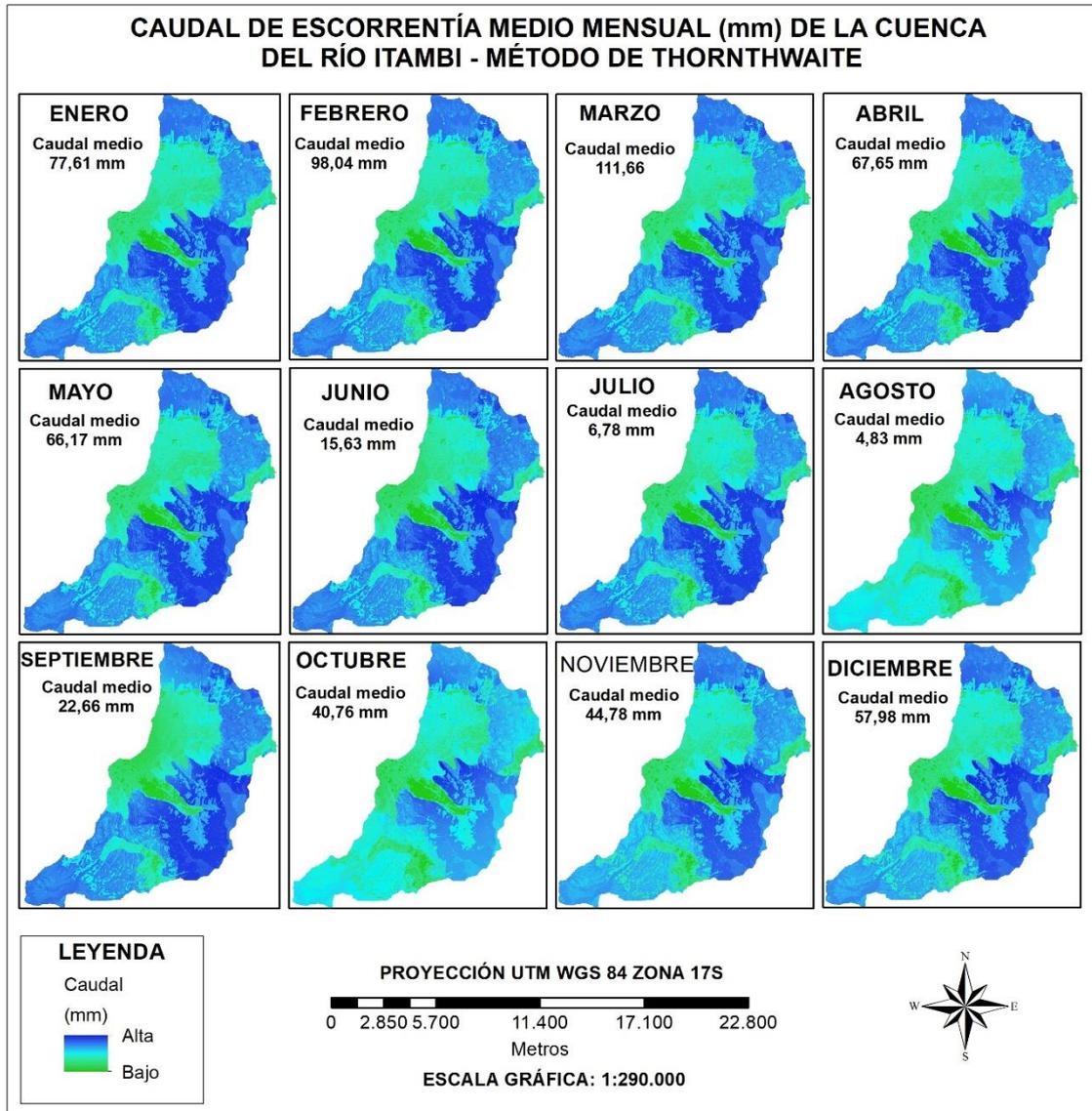


Figura 15. Caudal de escorrentía medio mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Thornthwaite

Los resultados obtenidos a partir del método de Turc, son similares que los calculados por el método de Thornthwaite, el caudal medio mensual presenta un rango desde 4,83 mm/mes a 111,64 mm/mes (Ver Figura 16).

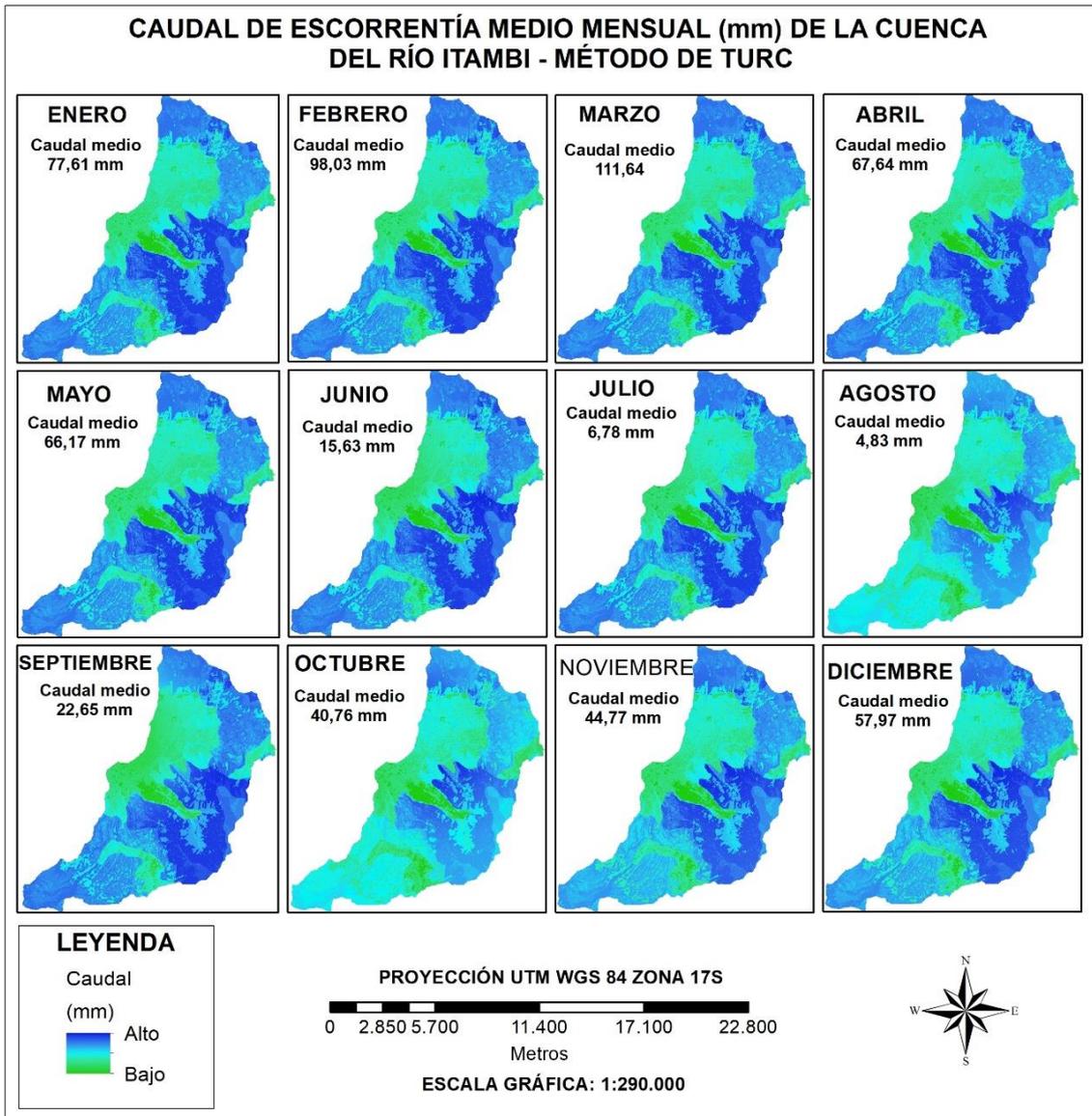


Figura 16. Caudal de escorrentía medio mensual (mm) de la cuenca hidrográfica del río Itambi, período 2000-2020, con el método Turc

4.1.6 Balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El cálculo del balance hídrico partió del resultado de la evapotranspiración potencial media (mm) estimada mediante el método de Thornthwaite y de Turc, la precipitación media (mm) y la infiltración (mm) (Del Toro *et al.*, 2014); el cual, permitió realizar un análisis del balance hídrico en la cuenca Hidrográfica del río Itambi, cuyo objetivo, fue la selección de la estimación del balance hídrico más adecuado para la determinación de las zonas potenciales con aptitud de riego del área de estudio.

En la Figura 17 y 18, se muestran los resultados de la estimación balance hídrico simplificado analizado a partir de evapotranspiración calculada por el método de Thornthwaite, en la cuenca hidrográfica del río Itambi; los cuales, indican dos épocas anuales del período evaluado del año 2000 al 2020, una época seca y una húmeda. En la época seca considerada como estiaje empieza en el mes de junio hasta el mes de agosto, que va aumentando gradualmente hasta el mes de noviembre. La época lluviosa o húmeda se presenta desde el mes de diciembre hasta marzo, con descendimientos hasta el mes de mayo.

El ciclo hidrológico de la cuenca hidrográfica del río Itambi en el periodo 2000 al 2020, calculado a partir del método de Thornthwaite, estimó una precipitación media anual de 1168,71 mm, con una ETP media anual de 1373,53 mm y una infiltración media anual de -814,19 mm, cuyo caudal calculó un valor medio anual de 938,99 mm/año.

En la Figura 17, se presentan dos épocas en el año hidrológico medio, en los meses donde la evapotranspiración potencial media mensual calculada por el método de Thornthwaite excede a la precipitación media mensual. Cuando los valores de infiltración son más bajos, los meses son secos; mientras que, cuando la precipitación es mayor a la evapotranspiración se presentan meses húmedos.

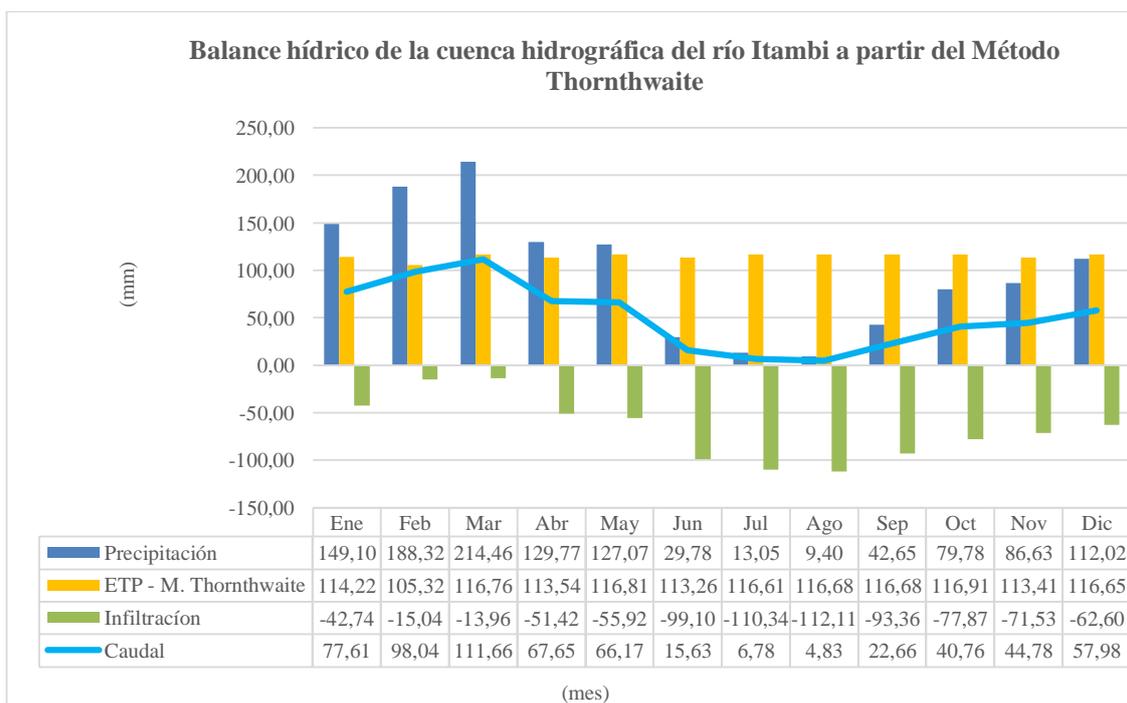


Figura 17. Resultado del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Almorox (2013), citado por Del Toro *et al.* (2014), que estima P-ETP como uno de los parámetros de la cuenca en estudio, el cual, menciona que “al calcular esta diferencia entre las entradas y salidas potenciales de agua en el suelo, se pueden clasificar los meses húmedos (si $P > ETP$) y los meses secos (si $P < ETP$)”(p. 72).

En este sentido, en la cuenca hidrográfica del río Itambi los meses con volúmenes de escorrentía más bajos, considerados como meses secos, se presentan entre los meses junio a septiembre con un rango de caudal medio de 15,63 mm/mes a 22,66 mm/mes y, octubre y noviembre con valores menores a 50 mm/mes; y, los meses húmedos se presentan entre los meses de diciembre a mayo en un rango medio que oscila entre 57,98 mm/mes a 66,17 mm/mes a 111,16 mm/mes (Ver Figura 17).

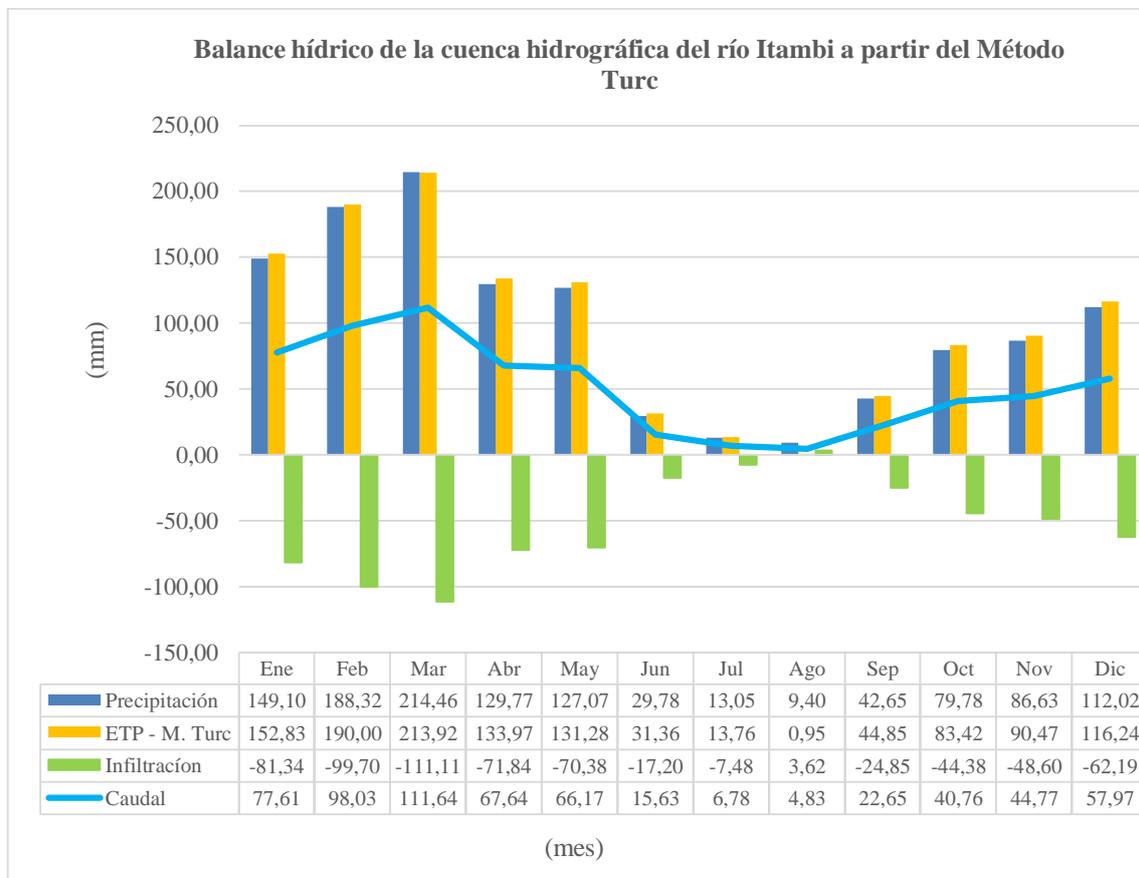


Figura 18. Resultado del balance hídrico simplificado de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El caudal presenta valores bajo de escorrentía, en la mayor época a largo del año, conociendo que esta cuenca es el mayor aportante al Lago San Pablo. Los resultados tienen cierta similitud a los obtenidos en el estudio del Mapa de Escorrentía realizado por

el INAMHI (2015) en la Cuenca del Río Mira, en el cual distingue dos temporadas climáticas; la época seca se presenta entre los meses de octubre a mayo y la época lluviosa de junio a septiembre; con una “distribución bimodal de las precipitaciones con dos picos máximos en octubre y en marzo y un mínimo en julio”.

4.2 Fase 2: Determinación de las zonas potenciales con aptitud agrícola

En los apartados siguientes, se presentan los resultados para la determinación de zonas potenciales con aptitud agrícola de la cuenca hidrográfica del río Itambi con las variables Balance hídrico simplificado, Índice de aridez y Capacidad de uso de tierras.

4.2.1 Zonas de aptitud agrícola por balance hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi

En la Figura 21 se muestra la distribución espacial de las zonas de aptitud agrícola por balance hídrico (caudal de escorrentía expresado en m/año) de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Según los criterios de zonas potenciales con aptitud agrícola por balance hídrico (Ver Tabla 7), el 2,71 km² de la superficie de la cuenca hidrográfica del río Itambi, tiene una aptitud agrícola por balance hídrico como zonas potenciales Muy Aptas; el 12,91 km² de la superficie de la cuenca son Aptas; 20,51 km² son Moderadamente Aptas; el 39,60 km² son zonas Poco Aptas; y el 17,39 km² son zonas No aptas.

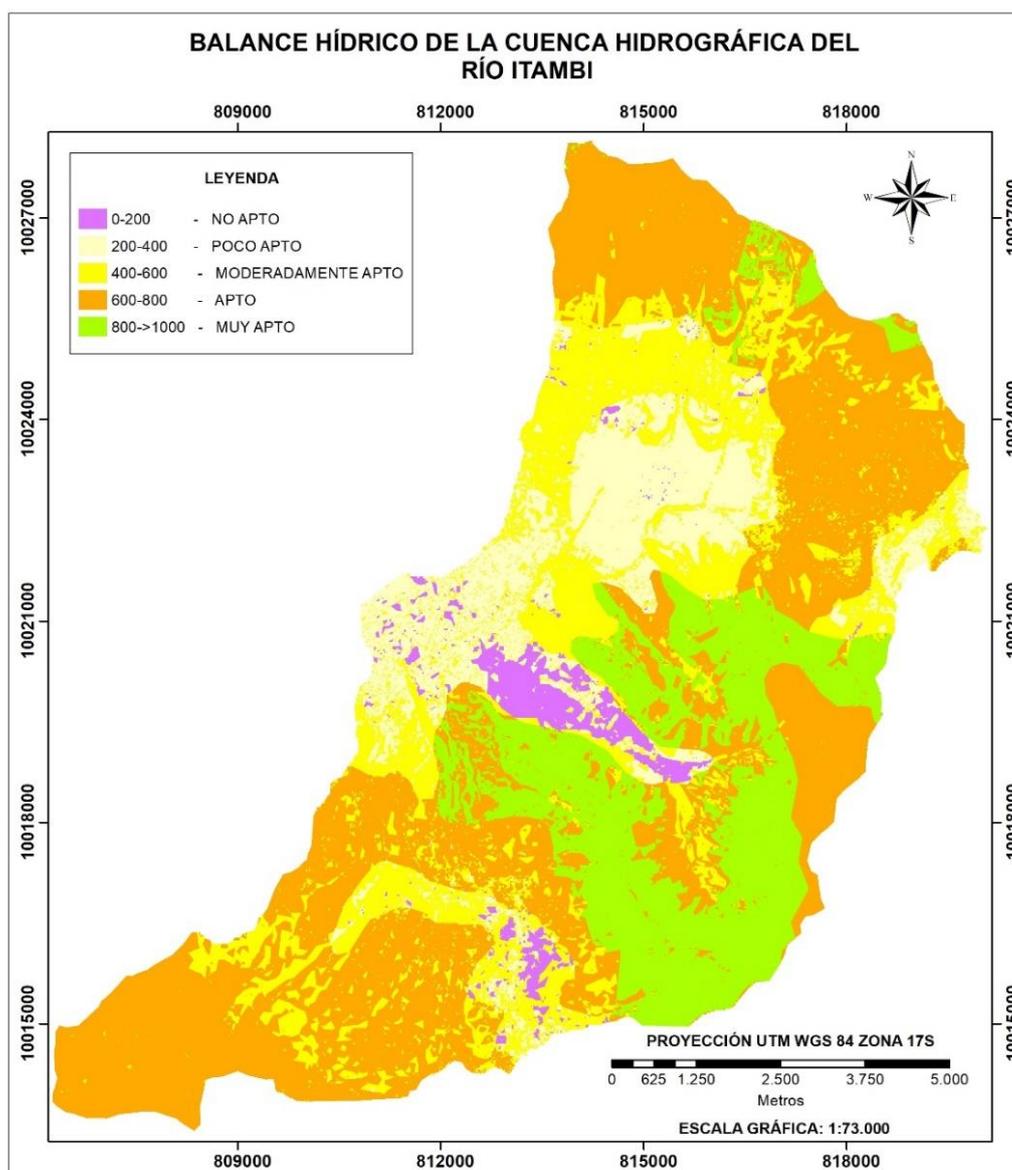


Figura 19. Balance Hídrico de la cuenca hidrográfica del río Itambi, clasificado por rangos de aptitud agrícola.

4.2.2 Zonas de aptitud agrícola por Índice de aridez de la cuenca hidrográfica del río Itambi

El Índice de aridez del área de la cuenca hidrográfica del río Itambi, presentó un rango de distribución espacial que va desde 1,28 a 2,65 mm, (Ver Figura 20), que comparado con valores de Índice de la Tabla 8, los resultados presentan valores del índice mayores a 0,65 mm, por lo tanto, la cuenca en estudio tiene un clima Húmedo. Además, según los criterios de aptitud de riego en el área de la cuenca en estudio, la aptitud es Muy Apta.

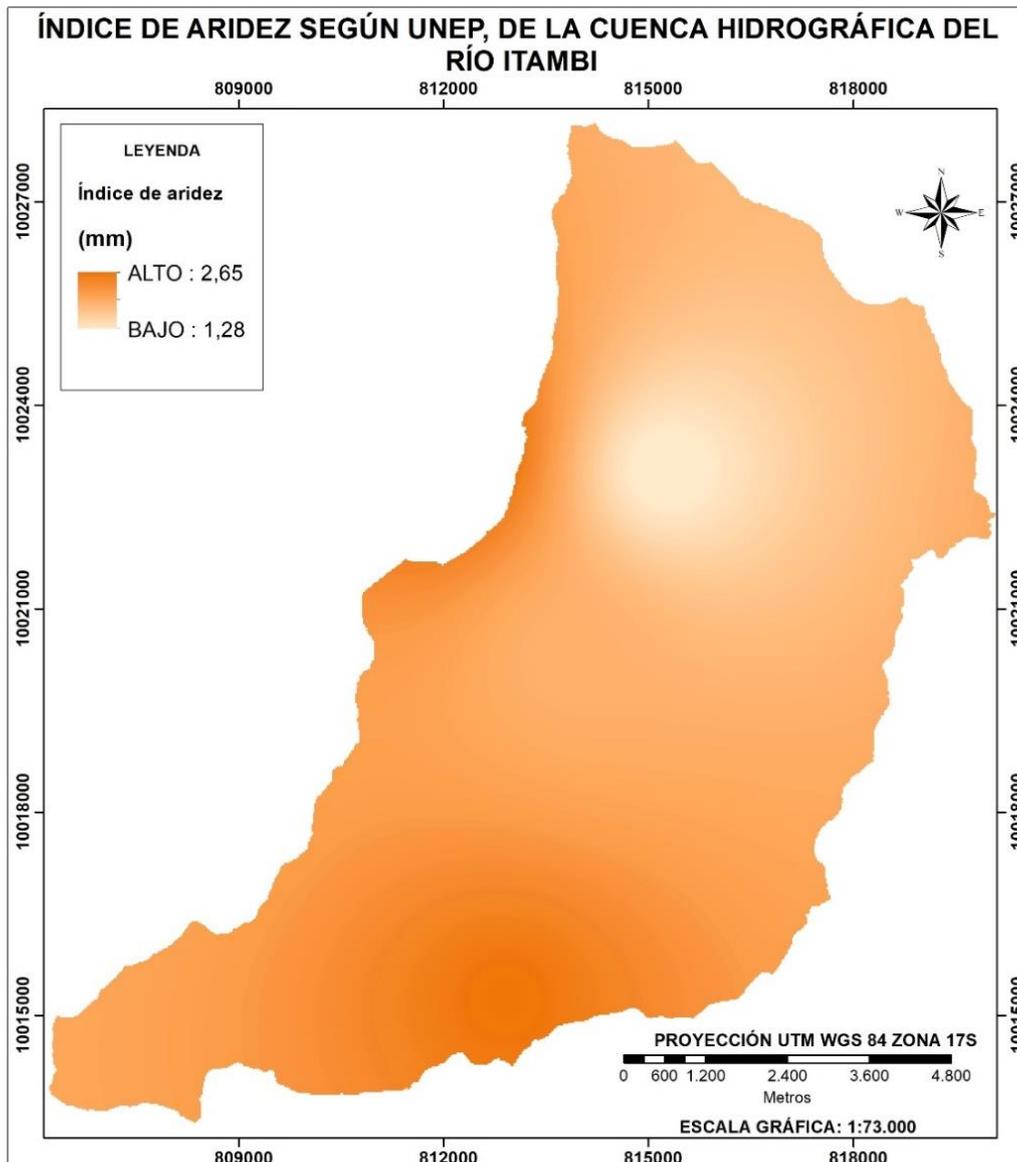


Figura 20. Índice de aridez (m) según UNEP, de la cuenca hidrográfica del río Itambi

4.2.3 Zonas de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras de la cuenca hidrográfica del río Itambi

En el área de la cuenca hidrográfica del río Itambi, la distribución espacial de las zonas de aptitud agrícola por capacidad de uso de tierras (Ver Figura 21), esta representada el 5,82 % de suelos Muy Aptos para la agricultura (CUT Clase I) cubriendo una superficie de 5,44 km², siendo tierras que soportan actividades agrícolas que se adaptan sin que degraden a sus elementos; el 7,52 % de la superficie de la cuenca en estudio con un área de 7,03 km², es una zona Apta para la agricultura, considerados suelos de tipo Clase II, que a diferencia de la Clase I son tierras con ligeras limitaciones por tener pendientes

menores a 12 %; el 4,64 % del área de la cuenca hidrográfica del río Itambi ocupada por 4,34 km², son tierras Moderadamente Aptas para la agricultura, con la posibilidad de elección de cultivos anuales y la necesidad de usar prácticas de conservación de suelos; el 7,41 % del superficie de la cuenca, con un área de 6,93 km², son suelos Poco Aptos para realizar actividades agrícolas de tipo Clase 4 y 5, siendo suelos que requieren prácticas de manejo y conservación; y, el 74,61 % del área de la cuenca, son tierras No Aptas para actividades agrícolas.

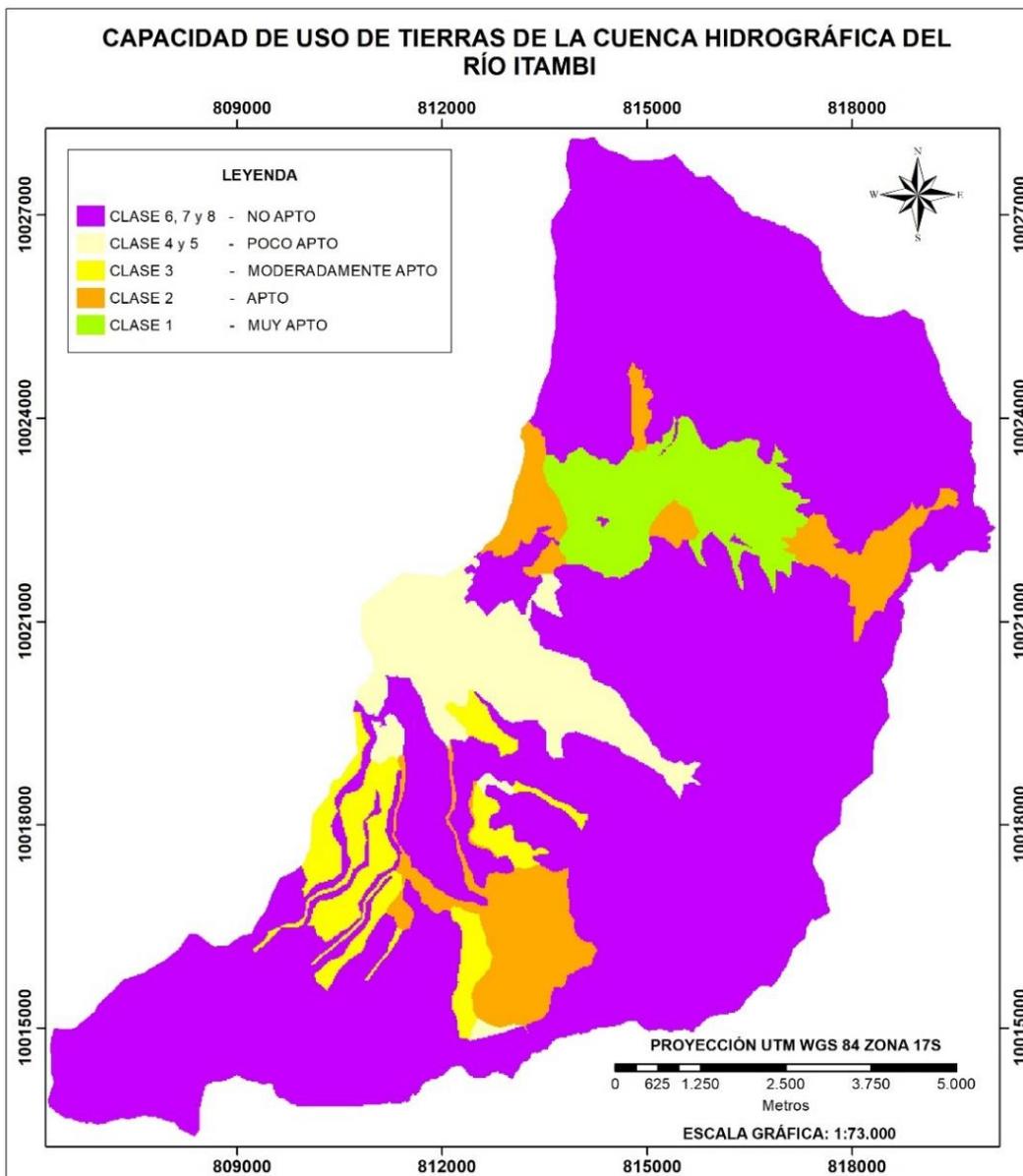


Figura 21. Capacidad de uso de tierras de la cuenca hidrográfica del río Itambi, clasificado por rangos de aptitud agrícola. Cartografía IEE E: 1:25000

4.2.4 Zonas potenciales con aptitud agrícola de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Sobre las variables establecidas de balance hídrico simplificado, índice de aridez y la capacidad de uso de suelo definidas con los criterios de aptitud de uso agrícola (Ver Tabla 13), se obtiene como resultado, las zonas potenciales con aptitud de uso agrícola en la cuenca hidrográfica del río Itambi (Ver Figura 22).

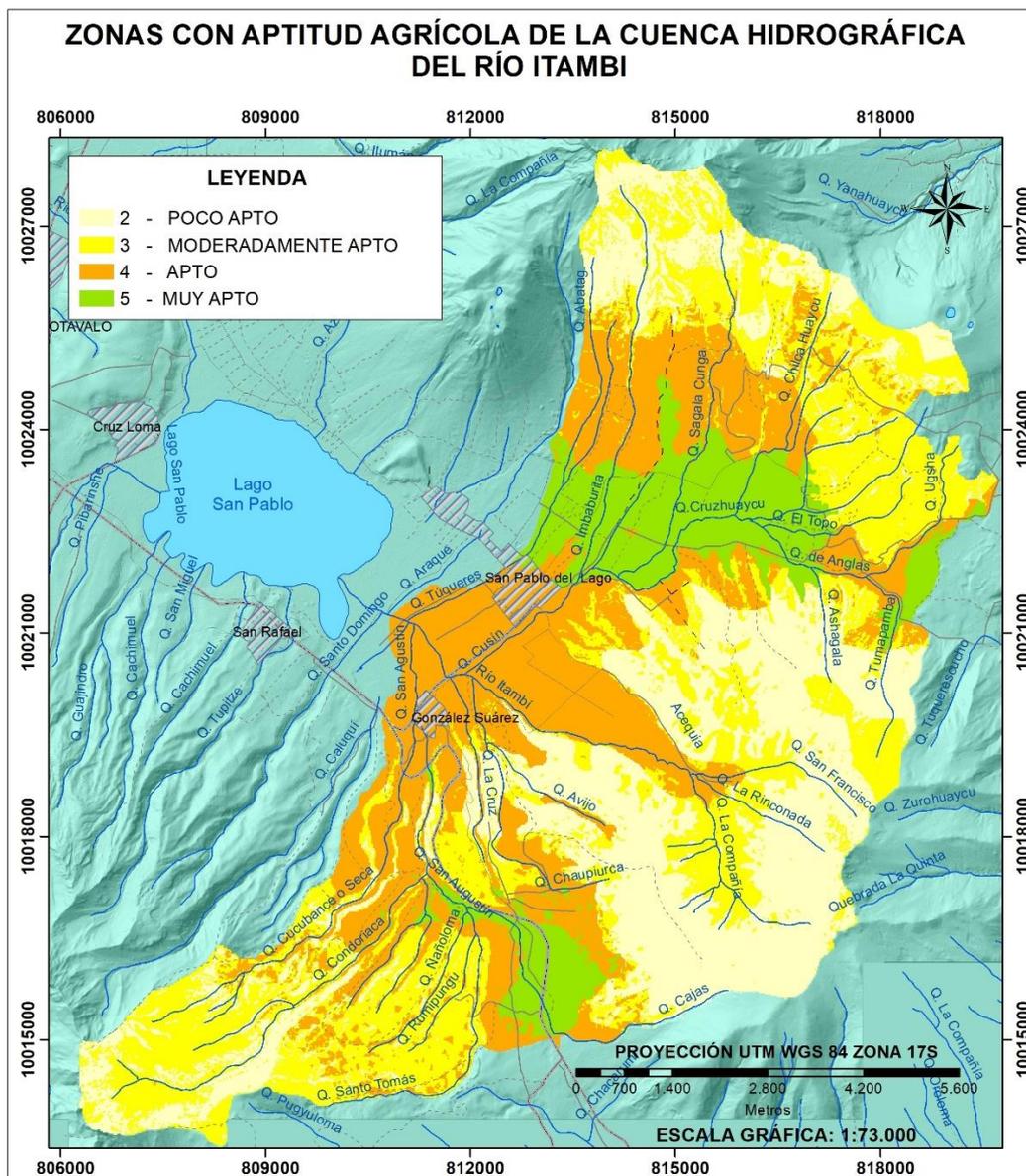


Figura 22. Zonas con aptitud agrícola, de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

En la Tabla 17, se presenta los resultados de cada uno de los criterios de zonificación potencial de aptitud de uso agrícola respecto al área de la cuenca hidrográfica del río

Itambi, de la cual, apenas el 10,84 % son áreas Muy Aptas para uso agrícola, ubicadas en su mayor parte en la parroquia San Pablo; el 27,09 % del área de cuenca son Aptas representadas con color naranja; el 28,50 % son zonas Moderadamente Aptas; y, el 33,57 % son zonas Poco Aptas para uso agrícola, ubicadas en las zonas altas de la cuenca en estudio (Ver Figura 22).

Tabla 17.

Porcentaje de las zonas con aptitud de uso agrícola en (km²)

Peso	Aptitud Agrícola	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
5	Muy Apto	10,14	1014,16	10,84
4	Apto	25,33	2533,34	27,09
3	Moderadamente Apto	26,65	2665,35	28,50
2	Poco Apto	31,39	3139,85	33,57

Según Espinel García, *et al.* (2015) para la delimitación de uso potencial agrícola, utilizó once variables: “Periodo de crecimiento, Temperatura, Precipitación, Suelo, Textura, Altitud, Pendiente, Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Materia orgánica y concentración de iones hidronio en el suelo (Ph)” (p. 80); de las cuales, permitió el resultados de zonas potenciales de dos niveles de aptitud, encontrándose el potencial apto en las zonas a pie de montaña, laderas y planicies con pendientes menores a 10 % y en suelos ricos en materia orgánica, con profundidad promedio de 20 centímetros. En el área de la cuenca hidrográfica del río Itambi, se tiene resultados similares, las zonas con aptitud agrícola categorizadas como Muy Aptas ocupan un área de 10,14 km², se ubican en zonas que no presentan limitaciones de uso, con pendientes menores a 5%, sin evidencia de erosión, suelos profundos y fácilmente trabajables (IEE, 2015), Además, presentan disponibilidad de agua en un rango de 400 a 800 mm/año.

Para Sotelo Ruiz, *et al.* (2016), las diferentes metodologías para la identificación y delimitación de las zonas potenciales dependen de la información disponible y del detalle de la misma. El uso de cartografía temática de capacidad de uso de tierras generada por el IEE (2015) a una escala 1:25.000, y el balance hídrico simplificado, permitió tener mayor detalle en los resultados de zonas con aptitud agrícola, debido a que dicho proceso fue realizado en base a un análisis de variables de pendiente, profundidad efectiva, textura superficial, pedregosidad, fertilidad, salinidad, toxicidad, drenaje, períodos de inundación y regímenes de humedad y temperatura del suelo.

4.3 Fase 3: Determinación de zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

La modelación aplicada en el proceso de identificación de las zonas con potencial de riego (Ver Figura 4), arrojó que la cuenca hidrográfica del río Itambi presenta tres niveles de aptitud que va desde Apto a Poco Apto.

En la Tabla 18 se presenta el resultado de las zonas potenciales con aptitud de riego, de las cuales indica que apenas el 5,53 % son suelos Aptos para riego ocupando una superficie de 5,17 km²; el 16,81 % del área de la cuenca son suelos Moderadamente Apto, con una superficie de 15,72 km²; el 22,66 % son suelos Poco Aptos para riego; y, el 55 % del área de la cuenca son zonas No Aptas para riego.

Tabla 18.

Porcentajes de distribución de las zonas potenciales con aptitud de riego

Peso	Aptitud de riego	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
4	Apto	5,17	516,62	5,53
3	Moderadamente Apto	15,72	1570,18	16,81
2	Poco Apto	21,19	2119,46	22,66
1	No Apto	51,43	5143,34	55,00

En la Figura 23, se presenta la distribución espacial de resultado de la determinación de las zonas potenciales con aptitud de riego en la cuenca del río Itambi. Las zonas de nivel 4 con 5,17 km², consideradas como Aptas, con poca disponibilidad de agua, cultivables con ligeras limitaciones de uso y moderados riesgos de daño, se encuentran distribuidas en la parte baja de la cuenca específicamente en la parroquia de San Pablo, en zonas de pendientes menores al 25 %, con un rango de caudal medio anual estimado de 500 a 700 mm y un rango de índice de aridez que va desde 1,3 a 1,5 mm con clima húmedo.

Las zonas establecidas como Moderadamente Bajas, con 15,72 km², consideradas como “zonas moderadas para riego, con limitaciones de disponibilidad de agua, cultivables con moderadas limitaciones de uso susceptibles de corrección, y riesgos de daños”, se encuentran distribuidas en la parte media de la cuenca del río Itambi, en zonas con pendientes menores al 25 %, con un rango de caudal medio anual estimado de 500 a 700 mm y valor de índice de aridez mayor a 1,5 mm de clima húmedo (Ver Figura 23).

La superficie de 21,19 km² del área de la cuenca, resultado como zonas Poco Aptas consideradas como “zonas con poco potencial de riego, escasa disponibilidad de agua, cultivables sólo ocasionalmente por presentar serias limitaciones de uso y alto riesgo de daños, aptas para pastoreo y/o forestación”; las cueles presentan pendientes menores a 25 % y con un rango de rango de caudal medio anual estimado de 500 a 900 mm y valor de índice de aridez mayor a 1,5 mm de clima húmedo (Ver Figura 23).

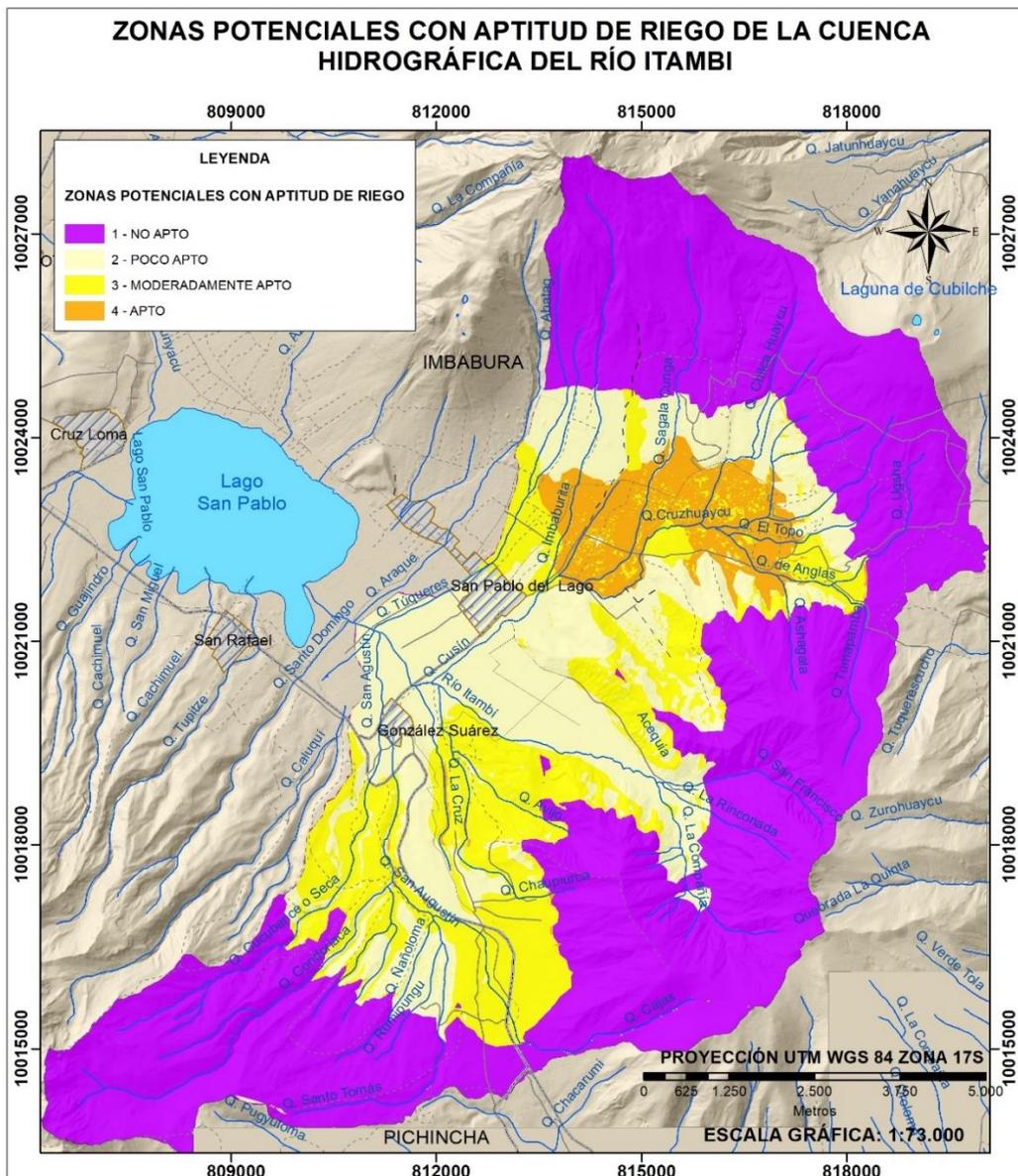


Figura 23. Zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

En el estudio realizado por Espejel *et al.* (2015), aplicado en la cuenca Balsas Mezcala, ubicado en la México, las áreas con potencial de irrigación mediante el método de análisis

multicriterio demostró aplicabilidad y objetividad en los resultados, que facilitó la separación de los suelos potenciales al emplear las variables climáticas y edáficas, determinando zonas aptas para irrigación en tres niveles, en este estudio se consideró como parte de las variables climáticas de precipitación y temperatura, esto ha permitido determinar las zonas con potencial de irrigación en la cuenca en estudio.

En la investigación realizada por Muema W. (2016) aplicando análisis multicriterio basado en SIG mediante la aplicación de varias herramientas de análisis en ocho capas: ríos perennes, caminos, pendiente, uso de la tierra, cobertura de la tierra, pH del suelo, suelo textura, drenaje y profundidad del suelo, permitió obtener como resultado un mapa de idoneidad para posibles sitios de riego en el Condado de Machakos por grado de aptitud para riego, así como las áreas no apto para agricultura de regadío. En este caso en el mapa de zonas aptas para riego el resultado es de 41,90 % del área total del área de estudio a diferencia de la cuenca hidrográfica de Río Itambi que apenas el 5,53 % son zonas potenciales con aptitud de riego. Sin embargo, los resultados aplicando este tipo de modelos dependen de la información disponible de cada una de las variables de análisis y del área de investigación (Sotelo Ruiz, *et al.*, 2016).

El uso de modelación del presente estudio aplicando sistemas de información geográfica facilita el análisis, siendo una buena alternativa para definir zonas potenciales de riego considerando variables que determinan a aptitud agrícola y la disponibilidad de agua en el área de estudio, para lo cual se proponen lineamientos para el manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego. Además, los resultados permitirán a la toma de decisiones a través de estrategias para abordar acciones en zonas que no tienen aptitud de riego.

4.4 Fase 4: Elaboración de lineamientos para manejo adecuado del recurso hídrico en las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

En el presente estudio, se realizó la selección de cuatro “lineamientos territoriales para la cohesión territorial con sustentabilidad ambiental y gestión de riesgos” (p. 123), obtenidos del Plan Nacional de Desarrollo 2017 -2021, elaborado por SENPLADES (2017), direccionados a la gestión integral y corresponsable del patrimonio hídrico para

la sostenibilidad ambiental. Del Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 -2027 realizado por la Secretaría del Agua (2019), se seleccionó tres estrategias que permiten dar directrices para el manejo y protección de fuentes hídricas y el manejo integral de producción agrícola: la primera tomada del “Objetivo 1.1: Prevenir, controlar, mitigar la contaminación y recuperar las fuentes de agua superficial y subterránea utilizadas en irrigación”; y, dos estrategias seleccionadas del “Objetivo 2.1: Impulsar dinámicas de producción de forma integral que permitan el desarrollo territorial”

El Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2027, realizado por el GPI (2018), dispone de objetivos estratégicos de planificación, que permitió la selección de estrategias del “Objetivo 2. Garantizar la calidad y cantidad de agua para riego y promover la conservación de los suelos agrícolas” (p. 241), enmarcadas en la adaptación y mitigación frente al cambio climático, y el manejo y recuperación de suelos agrícolas.

Con este contexto, en la Tabla 19 se presenta los indicadores de Presión identificados para el manejo del recurso hídrico de la cuenca hidrográficas del río Itambi.

Tabla 19.

Categorías de presión, para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi

Indicadores de presión para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi		
Lineamientos / Estrategias Nacionales	Indicador de Presión	
Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021		
Lineamientos territoriales para cohesión territorial con sustentabilidad ambiental y gestión de riesgos	b.3. Promover una gestión integral y corresponsable del patrimonio hídrico para precautelar su calidad, disponibilidad y uso adecuado, con acciones de recuperación, conservación y protección de las fuentes de agua, zonas de recarga, acuíferos y agua subterránea; considerando el acceso equitativo de agua para consumo, riego y producción.	Número de hectáreas con aptitud de riego
	b.4. Garantizar los caudales mínimos requeridos en las cuencas hidrográficas, con énfasis en aquellas en las que exista conflictos entre el aprovechamiento de agua para el consumo humano, los sistemas	Caudal potencial requerido para zonas con aptitud de riego
		Disponibilidad de agua

Indicadores de presión para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi		
Lineamientos / Estrategias Nacionales	Indicador de Presión	
	productivos, generación hidroeléctrica y el caudal ecológico	
	b.5. Priorizar la reforestación en las zonas altas de las cuencas hidrográficas con el fin de disminuir la sedimentación y contaminación en la parte baja	Número de hectáreas afectadas por malas prácticas agrícolas
	b.11. Evitar la expansión de la frontera agrícola en zonas ecológicamente sensibles.	Pérdida de biodiversidad asociada al cambio del uso del suelo por influencia del crecimiento poblacional
Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027		
Objetivo 1.1: Prevenir, controlar, mitigar la contaminación y recuperar las fuentes de agua superficial y subterránea utilizadas en irrigación	E. 1.1.1. Contribuir al manejo, recuperación y protección de las fuentes de agua para riego	Fuentes de agua para riego sin actividades requieren actividades de recuperación y protección de fuentes
Objetivo 2.1: Impulsar dinámicas de producción de forma integral que permitan el desarrollo territorial en las zonas de influencia de los sistemas de riego.	E. 2.1.2. Establecer la planificación y zonificación de la producción agrícola bajo riego, en el marco de la Política Nacional Agropecuaria, las políticas locales y con la participación de las comunidades, organizaciones de regantes y productores.	Número de hectáreas con aptitud de riego
	E. 2.1.3. Fomentar la producción agroecológica en las zonas de influencia de los sistemas de riego y/o drenaje.	Producción agrícola en áreas poco aptas para cultivo que requieren prácticas agroecológicas
Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037		
Objetivo 2. Garantizar la calidad y cantidad de agua para riego y promover la conservación de los suelos agrícolas.	E 10. Promover medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático, en el sector	Cambio climático
	E 12. Impulsar el manejo y recuperación de suelos a través de prácticas de manejo sostenibles	Fuentes hídricas para uso de riego

Nota: Fuente: Lineamientos y Objetivos tomados de: SENPLADES, (2017); Secretaría del Agua - Subsecretaría de Riego y Drenaje, (2019)

4.4.1 Indicadores de Presión – Estado – Respuesta, para el manejo de recursos hídricos de la cuenca del río Itambi

En la Tabla 20 se presentan los indicadores de estado y respuesta que parten de los indicadores de presión que ejercen sobre los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Tabla 20.

Indicadores de Presión – Estado – Respuesta, en zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Presión	Estado	Respuesta
Número de hectáreas con aptitud de riego	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas agrícolas subutilizadas - Inconformidad y malestar en agricultores 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificar el desarrollo sostenible de zonas potenciales con aptitud de riego. - Participación social activa. - Número de hectáreas con aptitud de riego que cuentan con proyectos planificados con enfoque integral.
Disponibilidad de agua en fuentes hídricas de la cuenca hidrográfica Itambi	<ul style="list-style-type: none"> - Escasez de recurso hídrico en áreas con potencial de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definición áreas de conservación y protección de recursos hídricos.
Caudal potencial requerido para la gestión integral	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de infraestructura para riego. - Pérdidas económicas por actividades agrícolas en sitios sin riego 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de proyectos con enfoque integral (técnico - productivo, tecnología de riego, infraestructura para riego), con beneficio a pequeños y grandes agricultores.
Número de hectáreas afectadas por malas prácticas agrícolas en la parte de la cuenca	<ul style="list-style-type: none"> - Baja productividad agrícola. - Pérdida de biodiversidad - Cambio del uso del suelo - Áreas de protección sin cobertura vegetal nativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos para la conservación y protección.
Pérdida de biodiversidad asociada al cambio del uso del	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación ambiental por malas prácticas agrícolas. - Pérdida de biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Propiciar la ejecución de programas y proyectos de conservación, protección de

suelo por influencia del crecimiento poblacional		fuentes hídricas, educación ambiental, cambio climático, entre otros.
Número de fuentes de agua para riego sin la debida protección ambiental	- Fuentes hídricas para riego sin protección	- Número de hectáreas con proyectos de conservación y restauración de fuentes de agua para riego de zonas con aptitud de riego
Cambio del uso del suelo para dar paso a la producción agrícola en áreas de fuerte pendiente	- Pérdida de la biodiversidad por tala - zocolado, quemas agrícolas, erosión del suelo, monocultivo, entre otras.	- Números de programas y proyectos de conservación, protección de la biodiversidad y aplicación de prácticas agroecológicas.
Cambio climático	- Alteración del ciclo hidrológico reflejado en los patrones de la precipitación.	- Adaptación al cambio climático

4.4.2 Manejo de los recursos hídricos de la cuenca del río Itambi, basado en lineamientos de gestión

Las zonas potenciales con aptitud de riego identificadas en la cuenca hidrográfica del río Itambi, requieren acciones para el manejo del recurso hídrico, a fin de evitar que estas nuevas áreas resulten afectadas por una excesiva presión sobre los recursos naturales ocasionada por actividades humanas, siendo necesaria la generación de indicadores que permitan disponer de lineamientos para el manejo de los recursos hídricos. Con esa perspectiva, se aplicó el enfoque de Presión – Estado - Respuesta desarrollado por la Environment Canadá y la OCDE (1993), que permitió definir los indicadores, tomando como base las áreas identificadas como zonas potenciales con aptitud de riego.

Alcance de propuesta de lineamientos

Los lineamientos planteados para el manejo de recursos hídricos, están enmarcados en las zonas potenciales que tiene aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi y en las superficies que son aptas, moderadamente aptas, poco aptas o no aptas para la

agricultura; lo cual requieren el manejo integral de los recursos hídricos y acciones relacionadas a los objetivos estratégicos planteados a nivel provincial y nacional.

Objetivos

- Aportar al manejo adecuado del recurso hídrico de las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Objetivos específicos

- Establecer indicadores de acción para el manejo adecuado del recurso hídrico de la cuenca del río Itambi
- Proporcionar lineamientos enmarcados en el manejo adecuado del recurso hídrico de las zonas potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi

Lineamiento 1. Desarrollo sostenible de zonas potenciales con aptitud de riego

Tabla 21.

Lineamiento 1. Desarrollo sostenible de zonas potenciales con aptitud de riego

Lineamiento 1	Desarrollo sostenible de zonas potenciales con aptitud de riego
Objetivo	Planificar acciones en las zonas potenciales con aptitud de riego, bajo los principios del desarrollo sostenible (económico, social, ambiental e institucional), en la cuenca hidrográfica del río Itambi
Definición	Uso y aprovechamiento de recursos naturales en zonas potenciales con aptitud de riego para satisfacer la necesidad actual, sin comprometer la de las futuras generaciones.
Descripción	Consiste en la planificación del desarrollo de las zonas potenciales con aptitud de riego, bajo los principios del desarrollo sostenible (económico, social, ambiental e institucional).
Acciones	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de actores para las zonas con aptitud de riego. - Levantamiento de línea base ambiental - Zonificación de áreas - Diseño participativo de la propuesta de desarrollo, programas y proyectos; para zonas con aptitud de riego que considere lo económico, involucre la participación social, sea amigable con el ambiente y despierte el interés político e institucional. - Socializar la propuesta de desarrollo, con actores involucrados, para áreas aptitud de riego

-
- Búsqueda y captación de recursos económicos para la implementación de programas y proyectos piloto priorizados en zonas con aptitud de riego.
-

Lineamiento 2. Desarrollo de proyectos con enfoque integral

Tabla 22.

Lineamiento 2. Desarrollo de proyectos con enfoque integral

Lineamiento 2	Desarrollo de proyectos con enfoque integral
Objetivo	Desarrollar proyectos con enfoque integral, en las zonas potenciales con aptitud de riego
Definición	El enfoque integral debe lograr la participación de todos los actores en la resolución o atención del conflicto.
Descripción	<p>Al tratarse de áreas potenciales con aptitud de riego en las cuales se viene cultivando especies de ciclo corto, esperanzados únicamente en las precipitaciones, ha ocasionado pérdidas económicas, baja producción y la subutilización de predios.</p> <p>En este sentido se propone el desarrollo de proyectos con enfoque integral, que de beneficio tanto a pequeños y grandes agricultores, en lo productivo, tecnología de riego e infraestructura.</p>
Acciones	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de actores - Captación y búsqueda de financiamiento para la ejecución de estudios. - Realizar los estudios y diseños de un proyecto integral para la construcción de infraestructura para la captación y conducción de agua de riego, implementación de tecnología agrícola y de riego para los sectores potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi. - Captación y búsqueda de financiamiento para la ejecución del proyecto. - Llevar a cabo la construcción del proyecto infraestructura para la captación y conducción de agua de riego, implementación de tecnología agrícola y de riego para los sectores potenciales con aptitud de riego de la cuenca hidrográfica del río Itambi.

Lineamiento 3. Ejecución de programas y proyectos

Tabla 23.

Lineamiento 3. Ejecución de programas y proyectos

Lineamiento 3	Ejecución de programas y proyectos
----------------------	---

Objetivo	Ejecutar programas y proyectos de conservación, protección de fuentes hídricas y de adaptación al cambio climático
Definición	Los programas y proyectos en temas de conservación, protección de fuentes hídricas y de adaptación al cambio climático, buscan disminuir el impacto ambiental ejercido por actividades humanas.
Descripción	Para el manejo adecuado de zonas potenciales con aptitud de riego, es importante el acompañamiento técnico a través del desarrollo y ejecución de programas y proyectos que busquen la conservación y protección de fuentes hídricas, procesos de educación ambiental, y de proyectos de adaptación al cambio climático.
Acciones	<ul style="list-style-type: none"> - Programas de capacitación y educación ambiental dirigido a actores locales en temas como (recursos naturales, cambio climático, contaminación, manejo de residuos domésticos, agroecología, control biológico de plagas, triple lavado de envases vacío de agroquímicos, entre otros). - Desarrollo e implementación de proyectos de adaptación al cambio climático. - Programas de reforestación con especies nativas en zonas de recarga hídrica para la protección de fuentes hídricas - Desarrollo de proyectos productivos diseñados según la vocación agrícolas de nuevas zonas irrigadas como, por ejemplo: cultivo de frutilla, uvilla, aguacate entre otros. - Desarrollo de proyectos agroindustriales, para la producción de mermeladas y productos deshidratados.

Lineamiento 4. Definición de áreas de conservación y protección

Tabla 24.

Lineamiento 4. Definición de áreas de conservación y protección

Lineamiento 4	Definición de áreas de conservación y protección
Objetivo	Definir áreas de conservación y protección
Definición	Las áreas de conservación y protección favorecen la protección de los recursos naturales existentes en zonas potenciales con aptitud de riego.
Descripción	La conformación de áreas de conservación y protección tienen como fin la protección de las fuentes de donde provienen los recursos hídricos y de donde se espera captar el caudal necesario para irrigar las zonas aptas para riego.
Acciones	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de fuentes hídricas - Caracterización de las fuentes hídricas, para conocer los principales problemas ambientales que están afectando - Socialización de la caracterización de las fuentes hídricas - Delimitación física de áreas de conservación y protección

- Implementación de acciones para la protección y conservación de fuentes hídricas
 - Capacitación en temas ambientales a actores locales
 - Reforestación
 - Mingas de limpieza
 - Fortalecimiento comunitario

Lineamiento 5. Participación social

Tabla 25.

Lineamiento 5. Participación social

Lineamiento 5	Participación social
Objetivo	Promover la participación social en la gestión de recurso hídrico
Definición	La participación social pretende impulsar la concertación entre todos los actores, para la gestión del recurso hídrico necesario para las zonas potenciales con aptitud de riego.
Descripción	<p>La participación social activa de comunidades y líderes comunitarios, es fundamental para lograr el desarrollo de zonas con potencial agrícola y aptitud de riego identificadas en la cuenca hidrográfica del río Itambi.</p> <p>Por lo cual, todo proceso llevado a cabo para el aprovechamiento de estas nuevas áreas potencialmente irrigas, deben tener la participación activa de las comunidades y líderes comunitarios.</p>
Acciones	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de todos los actores involucrados - Conformar una base de datos de todos los actores - Fomentar la participación activa de comunidades y líderes comunitarios. - Conformación de comités para la protección de recursos hídricos. - Incentivar la creación de un fondo de inversión para la conservación de recursos hídricos. - Participar activamente en todos los procesos, programas y proyectos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El balance hídrico es una de las variables que influenciaron a la determinación de zonas potenciales con aptitud de riego, permitiendo una distribución geoespacial de datos de la cuenca hidrográfica del río Itambi con el uso de sistemas de información geográfica, del año hidrológico de veinte años, en el período 2000 a 2020. El rango de precipitación media anual de 954,97 a 1347,4 mm; la evapotranspiración 535,28 a 574,42 mm; infiltración presentó un rango -129,98 a -208,51 mm/año; estos parámetros permitieron obtener el balance hídrico de la cuenca, con un caudal de escorrentía medio anual de 562,92 mm/año, con un rango medio anual que oscila entre 0 a 938,99 mm/año. Los meses arrojaron déficit de escorrentía son entre junio a noviembre, con picos más bajos en los meses de julio y agosto.

Del área de la cuenca hidrográfica del río Itambi de 93,51 km², las zonas con aptitud agrícola, presentaron 4 nivel de aptitud; 10,14 km² son zonas “muy aptas” para la agricultura, 25,33 km² son zonas consideradas como “aptas”, las dos representan el 37,93 % de área de estudio; mientras que el 62,07 % son zonas “moderadamente aptas” y “poco aptas” para realizar actividades agrícolas. En este sentido, el porcentaje de áreas aptas para la agricultura resultado en el estudio, permitió tener una base fundamentada con criterios para realizar la zonificación de áreas potenciales con aptitud de riego.

Las zonas potenciales con aptitud de riego realizadas en la cuenca del río Itambi, presentó tres niveles de aptitud, que van desde “apto” a “no apto”. Del área de la cuenca, 5,17 km² son zonas potenciales “aptas” para riego; 15,72 km² del área de la cuenca son “moderadamente aptas” para riego; y, 22,66 km² son zonas “poco aptas” para riego. Los tres niveles representan el 45 % del área de la cuenca, sin embargo, apenas el 5,53 % es considerada como apto, porque lo que, es necesario contribuir con lineamientos que permitan un manejo adecuado del recurso hídrico en la cuenca.

Los lineamientos establecidos para el manejo de los recursos hídricos para las zonas potenciales con aptitud de riego, requieren el desarrollo de una planificación estratégicas

que permita la participación de actores involucrados con el fin de establecer acuerdos y compromisos de programas y proyectos a ser aplicados no solo en las zonas con potencial de aptitud de riego, sino también en las zonas no aptas para el desarrollo de la agricultura de la parte alta de la cuenca, que son zonas que demandan proyectos de recuperación y conservación. Es así que, las acciones propuestas en los lineamientos para el manejo adecuado de los recursos hídricos se enfocaron principalmente en el desarrollo sustentable de las zonas potenciales con aptitud de riego y en la conformación de áreas de conservación y, protección en las fuentes de agua de uso y aprovechamiento de recurso con fines agrícolas.

RECOMENDACIONES

Formar una mesa técnica que permita la participación activa de actores para identificar los problemas ambientales por efectos de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del río Itambí.

La contribución de lineamientos para el manejo de los recursos hídricos, requiere el desarrollo de un plan estratégico en la cuenca hidrográfica del río Itambi para ejecutar proyectos específicos de gestión y manejo de áreas con potencial de riego.

Se recomienda gestionar acciones para que las áreas no aptas para actividades agrícolas sean declaradas como áreas de protección y conservación.

REFERENCIAS

- Alva Huayaney, M. E., & Bernaun Chaca, J. (2013). Determinación de zonas potenciales para cultivos frutícolas en la región Tacna, mediante sistemas de análisis espacial. *Espacio y Desarrollo*(25), 123-135.
- Alvarado Batres, C., & Barahona Polomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33.
- Álvarez, J. (2016). *Aplicación Web Hidro_HTML*. Recuperado el 2020, de https://winninglero.neocities.org/Hidro_HTML5/index.html
- Asamblea Nacional. (2014). *Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua*. Registro Oficial Segundo Suplemento N° 305 (6 de agosto de 2014).
- Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento 983 de (12 de Agosto 2017).
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2019). 9.3 Método LUCIS (Land Use Conflict Identification Strategy): Aplicación a los usos del suelo en municipio de Luján, Argentina. En *Método de evaluación multicriterio*. Recuperado el 22 de 09 de 2021, de Libro Digital: https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Buzai/publication/333614547_Metodo_LUCIS_Land_Use_Conflict_Indenticat ion_Strategy_Aplicacion_a_los_usos_del_suelo_en_el_municipio_de_Lujan_Ar gentina/links/5cf6e7b3299bf1fb18597606/Metodo-LUCIS-Land-Use-Confli
- Buzai, G., & Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*(59), 91-124.
- Cajamarca Rivadeneira, R. E. (2017). *Estudio de balance hídrico superficial de las cuencas hidrgráficas, sector Jadán y Zhidmad en el área de interceptación con el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA)*. Cuenca.
- Carrera Burneo, P., & Gunkel, G. (2003). Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnológica*, 33, 29-43.
- Casallas, J. E., & Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago SAn Pablo, Ecuador. *Limnetica* 20(2), 215-232.
- Ceballos Silva, A., & López Blanco, J. (2010). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIG. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 109-118.

- Cervantes Martínez, A. (2007). El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la Península de Yucatán. *Teoría y Praxis*(3), 143-152.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Decreto Legislativo 0*. Ecuador.
- Coral, A. C., Garcia Tommaselli, J. T., & Leal, A. C. (2015). Cálculo de balance hídrico usando modelación de datos espaciales: estudio aplicado a la cuenca del río Vista, Ecuador. *Formacao*, 1(22), 119-137.
- Del Toro Guerrero, F., Kretschmar, T., & Hinojosa Corona, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 69-81.
- Díaz Padilla, G., Sánchez Cohen, I., Guajardo Panes, R. A., Del Ángel Pérez, A. L., Ruíz Corral, A., Medina García, G., & Ibarra Castillo, D. (2011). Mapeo de índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17, 267-275.
- Espejel García, A., Romero Domínguez, J., Barrera Rodríguez, A. I., Torres Espejel, B., & Félix Crescencio, J. (2015). Determinación del uso potencial agrícola mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio para la Cuenca Balsas Mezcala. *Ra Ximhai*, 11(5), 77-95.
- FAO. (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general. Servicio de Recursos, manejo y conservación de suelos* (Vol. 73). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO].
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Pablo. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia de San Pablo 2015-2019*. San Pablo-Imbabura: Autor.
- Gobierno Provincial de Imbabura [GPI]. (2018). *Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura 2017-2037*. Ibarra-Imbabura: Autor.
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de la provincia de Imbabura 2015-2019*.
- Guenni, L., Degryze, E., & Alvarado, k. (Junio de 2008). Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1), 41-65.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013). *Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Escala 1:25.000. Clima e Hidrología*. Pedro Moncayo: Autor.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). *Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional - CARTografía de Capacidad de uso de tierras. Escala 1:25.000*.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Cuenca Río Mira. Mapa de Escurrimiento*. Quito: Autor.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Índice de Estaciones Convencionales*. Quito.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2020). Datos mensuales de: Precipitación, Temperatura y Evapotranspiración potencial (Periodo 2000 - 2020).
- Ministerio de Agricultura - Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (2008). *Actualización del balance hídrico en la Cuenca del río Ramis*. Ayaviri. Melgar. Puno, Perú: Autor.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). *Zonas prioritarias de uso y aprovechamiento del recurso hídrico para pequeña y mediana agricultura*. Quito: Autor.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2013). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012- 2017*. Quito-Ecuador: Autor.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA]. (2016). *Balance hídrico superficial de Bolivia*. Paz- Bolivia: Autor.
- Muema W., V. (2016). *GIS based Multi Criteria Analysis in Mapping Potential for Irrigated Agriculture. Case study: Machakos County*. Nairobi: Doctoral dissertation, University of Nairobi.
- Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura para América Latina y el Caribe [FAO]. (2015). *Año Internacional de los Suelos*. Roma.
- Pabón Caicedo, J. D., Eslava Ramírez, J. A., & Gómez Torres, R. E. (Octubre de 2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 47-59.
- Pandia Fajardo, E. F. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 19(37)*, 39-46.
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión Ambiental*, 9(2), 27-41.

- Quereda Sala, J., Montón Chiva, E., & Escrig Barberá, J. (2010). Los recursos Hídricos en el sistema hidrográfico del río Mijares-La Plana. *Invetigaciones Geográficas*(51), 185-201.
- Ruíz, J., & Flores, H. E. (1998). Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 219-229.
- Secretaría del Agua - Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019 - 2027*. Quito: Autor.
- Secretaría del Agua. (2011). *Resolución 2011-245*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Quito: Autor.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2011). *Contribuyendo a desarrollo de una cultura del agua y la gestión Integral del recurso hídrico. Cartilla técnica: Balance hídrico superficial. Foro Peruano para el agua - Global Water Partnership*. Lima - Perú: Autor.
- Silva León, G. (enero a junio de 2005). La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1), 75-108.
- Soriano Soto, M. D., Pons Marti, V., García-España Soriano, L., & Llinares Palacios, J. (2012). Comparación de los valores de evapotranspiración en la provincia de Valencia utilizando diferentes modelos. *Cambio climático. Extremos e impactos: [Ponencias presentadas al VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología]*, 641-650.
- Sotelo Ruiz, E. D., Cruz Bello, G. M., González Hernández, A., & Moreno Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 401-412.
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2016). *Propuesta de Modelo de Gestión Integral del Riego en el Ecuador*. Quito-Ecuador.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Torrico Torrico, M. A. (2011). *Determinación de balances hídricos en microcuencas y subcuencas. Cuencas: Escaleras (Municipio de Villa Serrano) y San Jorge (Municipio de Mojocoya)*. Chuquisaca - Bolivia.
- Trezza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar? *Bioagro*, 20(2), 89-95.

- UNEP. (1992). *World Atlas of Desertification*. Oxford University Press.
- UNESCO. (2006). *Evaluación de los Recursos Hídricos. Elaboración del balance hídrico integral por cuencas hidrográficas*. Documento Técnicos PHI-LAC, N°4.
- Universidad Técnica del Norte [UTN]. (2016). *Resolución Nro. 001-073-CEAACES-2013-13*. Ibarra.
- Vásquez, N. S. (2016). *Caracterización físico química, biológica e hidromorfológica del río Itambi como afluente del Lago San Pablo (Imbabura - Ecuador)*. Quito.