



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



INSTITUTO DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA
CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”**

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

TUTOR:

Dr. César Alonso Zuleta Padilla Ph.D.

AUTOR:

Ing. Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

IBARRA - ECUADOR

2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Grado, presentado por la Ing. Mercy Gabriela Enríquez Ruiz, para optar por el grado de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 17 días del mes de abril del 2018.



Dr. César Alonso Zuleta Padilla Ph.D.

TUTOR

APROBACIÓN DEL JURADO

“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA MICROCUCENCA DEL RÍO MATAQUÍ”

Por: Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

Trabajo de Grado de Maestría aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente jurado, a los 17 días del mes de abril del 2018.



Dr. Alonso Zuleta Padilla Ph.D.

TUTOR



Ing. José Guzmán Paz MSc.

ASESOR

AUTORÍA

Yo; Mercy Gabriela Enríquez Ruiz, portadora de la cedula de ciudadanía N° 1002684320, declaro que la presente investigación denominada: **“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”**, es de mi autoría y responsabilidad, y se han respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.



Ing. Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

CI: 1002684320

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSTGRADO

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD		1002684320	
APELLIDOS Y NOMBRES		Enríquez Ruiz Mercy Gabriela	
DIRECCIÓN		Pasaje 1 C2-042 y la Capilla, Mira	
E-MAIL		gabriela.enru@gmail.com	
TELÉFONO FIJO	062 280-343	TELÉFONO MÓVIL	0997884706
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”		
AUTOR:	Mercy Gabriela Enríquez Ruiz		
FECHA:	17/04/2018		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	POSGRADO		

TITULO POR EL QUE SE OPTA:	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
DIRECTOR:	Dr. César Alonso Zuleta Padilla PhD

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Mercy Gabriela Enríquez Ruiz, con cédula de ciudadanía Nro. 1002684320, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. 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 17 días del mes de abril del 2018.

El Autor

Ing. Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

CI: 1002684320

DEDICATORIA

Este trabajo fue realizado con mucho entusiasmo y cariño en un lugar prístino, lleno de belleza y paz, por lo que lo dedico con todo el aprecio a todos quienes fueron parte importante para culminar con este propósito, de manera especial:

A Dios, por permitirme cumplir esta meta, con esfuerzo, bondad y amor infinito.

A Carmita y Jesús, quienes de ellos soy lo que soy, y que junto con mis hermanos, cuñados y sobrinos han sido el empuje y empeño de todos los días por mejorar siempre.

A Darío, profesional íntegro, amigo y mi hogar.

RECONOCIMIENTO

Al Señor Ingeniero Marcelo Ramírez propietario de la Reserva Sabia Esperanza, que con su noble causa de amor y respeto a la naturaleza no ha permitido que este lugar sea intervenido y a la comunidad La Floresta por la acogida y colaboración para realizar este trabajo.

Al Doctor Alonso Zuleta, mi tutor, por todos sus conocimientos, guía y tiempo dedicados para la culminación de este trabajo.

Al proyecto “Captura de Carbono en la Reserva Sabia Esperanza”, del Centro Universitario de Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte, por ser el enlace que me permitió conocer este hermoso relicto del cantón Pimampiro.

A la Universidad Técnica del Norte y el Instituto de Posgrado, por darme la oportunidad de continuar formándome dentro de sus aulas.

Un reconocimiento especial al Ing. Juan Alcívar (+) compañero de aula y amigo que nos enseñó sobre el sacrificio de alcanzar las metas, la amistad sin interés y que lamentablemente ya no se encuentra con nosotros.

A mis familiares, amigos y compañeros de aula, quienes me brindaron todo su apoyo en el transcurso de la maestría y de la presente investigación, en especial en la fase de campo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL JURADO.....	iii
AUTORÍA	iv
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	v
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO; Error! Marcador no definido.	
DEDICATORIA	vii
RECONOCIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Objetivos de la investigación	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación de la investigación.....	3
CAPITULO II	5
MARCO REFERENCIAL	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Referentes teóricos.....	6
2.2.1 Disponibilidad hídrica	6
2.2.2 Balance hídrico.....	6
2.2.3 Precipitación.....	8
2.2.4 Infiltración.....	9
2.2.5 Evapotranspiración.....	10
2.2.5.1 Evapotranspiración potencial (ETP)	11
2.2.5.2 Evapotranspiración real (ETR)	11
2.2.6 Escorrentía.....	11
2.2.7 Cobertura de la tierra.....	13
2.2.7.1 Herbazal de Páramo	13

2.2.7.2	Arbustal siempreverde	13
2.2.7.3	Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	13
2.2.8	Servicios Ecosistémicos	14
2.2.9	Valoración de Servicios Ecosistémicos	14
2.2.10	Costo de Oportunidad	15
2.3	Marco Legal	15
CAPITULO III	.....	17
MARCO METODOLÓGICO	.....	17
3.1	Descripción del área de estudio	17
3.2	Diseño y tipo de investigación	18
3.3	Procedimiento de investigación	18
3.3.1	Diagnóstico hidro-meteorológico de la reserva Sabia Esperanza.....	18
3.3.1.1	Precipitación	18
3.3.1.2	Infiltración	19
3.3.1.3	Evapotranspiración	20
3.3.2	Determinación de la disponibilidad hídrica de cada una de las coberturas en estudio de la reserva Sabia Esperanza.....	22
3.3.2.1	Ecuación simplificada del balance hídrico	22
3.3.2.2	Coeficiente de escorrentía	23
3.3.2.3	Número de curva SCS.....	24
3.3.3	Valoración mediante costo de oportunidad entre la principal actividad económica y la disponibilidad hídrica de la reserva.....	27
3.3.3.1	Costo de producción	28
3.3.3.2	Costo de oportunidad	28
3.3.3.3	Valor de captación hídrica	29
CAPITULO IV	.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	.....	30
4.1	Caracterización de los componentes hidro-meteorológicos de la Reserva Sabia Esperanza.....	30
4.1.1	Precipitación.....	30
4.1.2	Geopedología	31
4.1.2.1	Geomorfología.....	31
4.1.2.2	Geopedología.....	33
4.1.2.3	Andisols.....	33

4.1.2.4	Inceptisols	33
4.1.3	Infiltración	34
4.1.3.1	Velocidad de Infiltración levantada en campo	34
4.1.3.2	Cálculo de la Velocidad de Infiltración	35
4.1.4	Evapotranspiración	37
4.1.5	Discusión	38
4.2	Disponibilidad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza	39
4.2.1	Ecuación simplificada del balance hídrico	39
4.2.2	Coeficiente de escorrentía	40
4.2.3	Número de curva SCS	41
4.2.4	Discusión	43
4.3	Valoración del servicio ecosistémico hídrico de la Reserva Sabia Esperanza, mediante el costo de oportunidad frente a la principal actividad económica	44
4.3.1	Cobertura y uso del suelo	44
4.3.2	Producción Agropecuaria	44
4.3.3	Costo de producción de ganadería extensiva Zona La Floresta	44
4.3.4	Costo de oportunidad	45
4.3.5	Valor de productividad hídrica	46
4.3.6	Discusión	46
CAPITULO V	.....	48
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1	CONCLUSIONES	48
5.2	RECOMENDACIONES	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de la Velocidad de infiltración	10
Tabla 2.	Radiación solar extraterrestre en mm/día	22
Tabla 3.	Valores de coeficiente de escorrentía método Benítez	24
Tabla 4.	Clasificación hidrológica del suelo	25
Tabla 5.	Curva numérica (CN) para estimar el escurrimiento bajo diferentes características en condiciones de humedad II.....	26
Tabla 6.	Condición de humedad antecedente en función de la precipitación media diaria...27	
Tabla 7.	Curvas numéricas (CN) para condiciones de humedad antecedentes I, II y III	27
Tabla 8.	Precipitación media anual para diferentes coberturas vegetales en la Reserva Sabia Esperanza.....	30
Tabla 9.	Resumen de la unidad ambiental con sus características morfológicas. Reserva Sabia Esperanza.....	32
Tabla 10.	Resumen de los órdenes de suelos a nivel de subgrupo taxonómico. Reserva Sabia Esperanza.....	34
Tabla 11.	Registro digital del cálculo de Ks (velocidad de infiltración) por el método de infiltrómetro de minidisco. Reserva Sabia Esperanza.	35
Tabla 12.	Categorización de la información para las pruebas de infiltración. Reserva Sabia Esperanza.....	37
Tabla 13.	Valores diarios, mensuales y anuales de Evapotranspiración potencial por los métodos Thornthwaite y Hargreaves	38
Tabla 14.	Valores obtenidos de disponibilidad hídrica, mediante la ecuación simplificada del balance hídrico	40
Tabla 15.	Escorrentía de acuerdo a la cobertura vegetal mediante el método de coeficiente de escorrentía.....	41
Tabla 16.	Escorrentía de acuerdo a la cobertura vegetal mediante el método de número de curva SCS	42
Tabla 17.	Valores de disponibilidad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza en (m ³ /año)	43
Tabla 18.	Clasificación de uso de suelo en la Microcuenca del Río Verde, Reserva Sabia Esperanza.....	44
Tabla 19.	Costos de producción UB/ha/año de la actividad ganadera en la Reserva Sabia Esperanza.....	45
Tabla 20.	Análisis del costo de oportunidad para la producción lechera en la zona la Floresta, Reserva la Esperanza	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Flujo de escorrentía.....	12
Figura 2.	Flujograma que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación	19

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Distribución mensual de precipitación y temperatura	31
Grafico 2.	Relación acumulación de infiltración con el tiempo. Reserva Sabia Esperanza.	36
Gráfico 3.	Evapotranspiración mensual por los métodos Thornthwaite y Hargreaves	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Mapa de Precipitación anual media de la Reserva Sabia Esperanza.....	59
Anexo 2.	Mapa de Cobertura de la tierra de la Reserva Sabia Esperanza	60
Anexo 3.	Mapa de Infiltración de la Reserva Sabia Esperanza.....	61
Anexo 4.	Mapa de Evapotranspiración (Thornthwaite) de la Reserva Sabia Esperanza	62
Anexo 5.	Mapa de Disponibilidad hídrica (Ecuación simplificada del balance hídrico) de la Reserva Sabia Esperanza	63
Anexo 6.	Mapa de Disponibilidad hídrica (Coeficiente de escorrentía) de la Reserva Sabia Esperanza.....	64
Anexo 7.	Mapa de Disponibilidad hídrica (Número de curva SCS) de la Reserva Sabia Esperanza.....	65
Anexo 8.	Ficha de levantamiento de información agro-productiva	66
Anexo 9.	Análisis de suelo de las muestras colectadas en la Reserva Sabia Esperanza.	68
Anexo 10.	Cálculo de la conductividad hidráulica del suelo	71
Anexo 11.	Fotografías	74

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

**“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA
CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”**

Autor: Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

Tutor: Dr. César Alonso Zuleta Padilla Ph.D.

Año: 2018

RESUMEN

En la comunidad La Floresta, donde se encuentra ubicada la Reserva Sabia Esperanza, se evidencia una gran devastación de vegetación natural, siendo reemplazada por grandes extensiones de pasto y cultivos. Existen remanentes de bosques y páramo en los lugares de difícil acceso, además estos ecosistemas sufren de gran presión del avance de la frontera agrícola, subestimando el valor hídrico que poseen y la importancia de los servicios ecosistémicos que ofrece. El presente estudio tuvo como objetivo valorar la disponibilidad hídrica del bosque nativo y páramo de la reserva. La valoración económica es una de las herramientas que permite contar con indicadores para la toma de decisiones, una de ellas es el Costo de Oportunidad, método utilizado para valorar económicamente el servicio hídrico del área, instrumento que incluye la cuantificación hidrometeorológica y el valor de captación del agua disponible de los ecosistemas para posteriormente comparar con el valor económico de la actividad que se desarrolla en el área y determinar el valor que se deja de percibir por conservar el ecosistema. La investigación fue cuantitativa y el diseño fue de campo para la recolección de datos y costos de producción de la principal actividad económica; aplicando estadística descriptiva y geoestadística en el procesamiento de datos. Como resultado se determinó una producción de 10646563,23 m³/año, y el valor de productividad hídrica es de 0,013 USD/m³, dando un total de 133494,78 USD/año y el costo de oportunidad de la actividad ganadera es de 112,11 USD/ha/año. En conclusión, la Reserva tiene una alta importancia para la regulación hídrica y un cambio de uso de suelo puede causar un impacto negativo en este servicio ambiental, por lo que para adoptar mejores decisiones, la valoración económica mide los beneficios económicos que puede generar la conservación del área de estudio.

Palabras clave: valoración, disponibilidad hídrica, Reserva Sabia Esperanza

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

**“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA
CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”**

Autor: Mercy Gabriela Enríquez Ruiz

Tutor: Dr. César Alonso Zuleta Padilla Ph.D.

Año: 2018

ABSTRACT

In the La Floresta community, where the Sabia Esperanza Reserve is located, there is evidence of a great devastation of natural vegetation, being replaced by large areas of pasture and crops. There are remnants of forests and paramo in the places of difficult access; in addition, these ecosystems suffer from great pressure from the advance of the agricultural frontier, underestimating the water value they have and the importance of the ecosystem services that it offers. The objective of this study was to assess the water availability of the native forest and paramo of the reserve. The economic valuation is one of the tools that allows to have indicators for the decision making, one of them is the Cost of Opportunity, a method used to economically value the water service of the area, an instrument that includes hydrometeorological quantification and the value of catchment of the available water of the ecosystems to later compare with the economic value of the activity that develops in the area and determine the value that is left to perceive to conserve the ecosystem. The research was quantitative and the design was field for data collection and production costs of the main economic activity; applying descriptive and geostatistical statistics in data processing. As a result, a production of 10646563.23 m³ / year was determined, and the water productivity value is 0.013 USD / m³, giving a total of 133494.78 USD / year and the opportunity cost of the livestock activity is 112, USD 11 / ha / year. In conclusion, the Reserve has a high importance for water regulation and a change in land use can cause a negative impact on this environmental service, so to take better decisions the economic valuation, measures the economic benefits that conservation can generate of the study area.

Keywords: valuation, water availability, Sabia Esperanza Reserve

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Problema de investigación

De acuerdo al Informe de la Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el mundo, para el año 2030 el déficit de agua a nivel mundial será del 40% debido al crecimiento demográfico y la demanda de agua para actividades antrópicas, generando cada vez más aumento en la demanda de agua dulce. Ésta es una situación alarmante debido a que este importante recurso es vital no sólo para el humano, sino también para el funcionamiento de procesos ecosistémicos, es decir para la vida en general (Franek, Koncagul, Connor, & Hunziker, 2015).

La reducción de ecosistemas que proporcionan servicios hídricos es una de las mayores amenazas en el abastecimiento de agua para el hombre, en Ecuador, el recurso hídrico es suficiente en términos nacionales, pero como manifiesta Gaybor, citado por Acosta (2010) el problema es la mala distribución, la contaminación y que las fuentes de agua se destruyen aceleradamente. En los últimos años, en Ecuador se ha registrado un deterioro en la calidad e inclusive en la cantidad de agua debido al avance de actividades antrópicas, invadiendo ecosistemas productores de agua.

La demanda de más alimento y recursos naturales ha provocado una devastación en los bosques y páramos de la Sierra ecuatoriana, más que la producida por el cambio climático originado en los últimos tiempos, así como expone Hofstede, Calles, López, Polanco, Torres, Ulloa, Vásquez & Cerra (2014), el sobrepastoreo, las quemadas, el cultivo a gran escala de papas y la minería son los que provocan más pérdida de páramos y afectan por lo menos a la mitad de los remanentes.

Los ecosistemas alto andinos son importantes tanto por su valor científico y ecológico, dado por su alto endemismo, así como también por la función reguladora de agua, importante para las poblaciones aguas abajo, siendo principalmente el páramo considerado como “fábrica de agua, esponjas para su almacenamiento o cuna del sistema hídrico de los neotrópicos” (Camacho, 2013). El recurso agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de todas las actividades antrópicas, y mucho de la disponibilidad

de este valioso recurso se encuentra en riesgo por factores principalmente de origen antrópico, como son el avance de la frontera agrícola y el cambio de uso de suelo, vulnerando de esta manera los ecosistemas alto andinos que brindan servicios importantes para la regulación del ciclo hidrológico.

Estos servicios ecosistémicos aún se encuentran infravalorados o sobrexplotados por el desconocimiento del valor no solo ambiental, sino también los beneficios económicos que puedan generar a las comunidades (Castro, 2009). Dicho desconocimiento ha llevado al cambio de uso de la tierra, de conservación, recarga y captación de agua a actividades socio productivas extensivas, deteriorantes de las propiedades reguladoras de agua. Por tal razón los ecosistemas de montaña se encuentran altamente vulnerables por los cambios climáticos y de uso de la tierra, afectando los servicios que brindan (Schröter et al. citado por Schirpke, Kohler, Leitinger, Fontana, Tasser & Tappeiner, 2017).

En la comunidad La Floresta, parroquia San Francisco de Sigsipamba, cantón Pimampiro donde se encuentra ubicada la Reserva Sabia Esperanza, se puede evidenciar una gran devastación de vegetación natural, siendo ésta reemplazada por grandes extensiones de pasto y en menor proporción por cultivos. Existen escasos remanentes de bosques y páramo en los lugares de mayor altitud y más difícil acceso, por lo que estos ecosistemas sufren de gran presión del avance de la frontera agrícola, subestimando el valor hídrico que poseen y la importancia de los servicios ecosistémicos que ofrece.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Valorar la disponibilidad hídrica del bosque nativo y páramo de la reserva Sabia Esperanza en la cuenca del río Mataquí, Provincia de Imbabura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los componentes hidro-metereológicos de los diferentes ecosistemas de la Reserva Sabia Esperanza.
- Comparar la disponibilidad hídrica de los diferentes ecosistemas de la reserva Sabia Esperanza.

- Valorar mediante el costo de oportunidad la importancia de la conservación de la Reserva Sabia Esperanza frente a la principal actividad económica de la zona.

1.3 Justificación de la investigación

Los ecosistemas naturales de las montañas cumplen funciones importantes, sean éstas ecológicas o económicas para las tierras bajas y circundantes, principalmente en la generación, control y abastecimiento de agua para la producción, alimentos y energía, (Buytaert, Céleri, De Bièvre, Cisneros, Wyseure, Deckers, & Hofstede, 2006), suministrando un sinnúmero de servicios ecosistémicos, siendo una de las más importantes la regulación del ciclo hidrológico.

Según Buytaert et al. (2006) la importancia hidrológica de los ecosistemas de alta montaña se ve contrastada con su vulnerabilidad, debido a que las actividades antrópicas cada vez invaden más estos espacios naturales, ejerciendo presión y deterioro. Muchas de estas actividades antrópicas, tales como avance de la frontera agrícola, aumento de la erosión, etc. pueden provocar impactos profundos en el ciclo del agua, así como también en las propiedades resilientes de los ecosistemas y las capacidades de dichos ecosistemas para ofrecer servicios. (Camargo, Carreño, & Barón, 2012)

En los ecosistemas de altura, considerados como los proveedores de agua, no existen datos de la cantidad de agua disponible, en la mayoría de casos o en su defecto no se cuenta con balances hídricos cuantificados. (Buytaert, Celleri, Willems, De Bievre, & Wyseure, 2006). Por lo que el conocimiento del funcionamiento y los diversos servicios que estos ecosistemas suministran es importante para de esta manera saber valorar y dar un adecuado manejo para la conservación del recurso agua a través del tiempo, sin arriesgar la demanda a las futuras generaciones.

Además de considerar el funcionamiento de los ecosistemas, es importante dar una valoración a los servicios que éstos nos brindan, con la finalidad de tener herramientas para la toma de decisiones y políticas para la protección de fuentes de agua y conservación de los bosques y páramos con los recursos económicos que la valoración genere (Paspuel, 2009).

De acuerdo a Pérez, Sanjurjo, Galicia, Hernández-Díaz, Hernández-Trejo & Márquez (2016) la pérdida de los servicios de los ecosistemas representa un déficit de alrededor de 4.3 mil millones de dólares al año por el cambio de uso de las tierras, lo que preocupa y compromete a diferentes tipos de organizaciones a proponer nuevas formas de articulación entre la sociedad y el ambiente, buscando nuevos mecanismos en los que se agregue un valor económico a los servicios ecosistémicos.

Razón por la cual es necesario valorar y cuantificar la disponibilidad del recurso agua que almacenan los ecosistemas que prevalecen en la zona alta andina, bosque montano alto, arbustal siempreverde y el herbazal de páramo, de tal manera que permita valorar dicho servicio y fomentar la importancia que tienen como fuentes productoras de agua, la eficiencia como almacenadores de agua y la vulnerabilidad que tienen ante las amenazas antrópicas que soportan, siendo cada vez más evidente la presión de los ecosistemas, como es el caso de Sabia Esperanza, que al ser una reserva de conservación e investigación, es uno de los pocos relictos que se encuentran en un mínimo estado de alteración.

El estudio hidrológico del área Sabia Esperanza y su valoración se incluye dentro de la línea de investigación 3 de la Universidad Técnica del Norte en la que se relaciona con el área de conocimiento de Recursos Naturales y es una contribución al cumplimiento del objetivo 7 del Plan Nacional para el Buen Vivir en el que se garantizan los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental territorial y global. Dentro del perfil de egreso del programa de Maestría, el presente plan de tesis se enmarca dentro de la visión multi e interdisciplinaria que busca fomentar el equilibrio entre la conservación de la capacidad productiva de los ecosistemas, su valoración y aprovechamiento.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Mediante convenio No. MAE-PSB-2010-119 del Ministerio de Ambiente del 15 de junio del 2010, la Reserva Sabia Esperanza forma parte del proyecto Socio Bosque, con 1.500 hectáreas, destinadas a la conservación y protección durante 20 años, y por razón del acuerdo ministerial 141 del 25 de abril de 1996 dicha reserva es incluida en la Corporación Nacional de Bosques y Reservas Privadas del Ecuador (CNMPE), cuyo objetivo es conservar, preservar y/o recuperar los recursos naturales en zonas de importancia para la biodiversidad (Sánchez, 2017).

A pesar de lo anterior expuesto, la reserva Sabia Esperanza no cuenta con estudios hidrológicos completos en los que se demuestren los servicios que brinda este remanente. Este desconocimiento del funcionamiento de las partes altas de las cuencas hidrográficas las vuelve vulnerables ante las actividades antrópicas que avanzan cada vez más (Alvear, De Bièvre, & Iñiguez, 2004).

Algunos estudios como el de Viébre & Acosta (2012) destacan la importancia de los ecosistemas de las partes altas de las cuencas hidrográficas en la regulación hídrica, ya que son las que ofrecen este servicio por las características y propiedades de estos sitios. Para lo cual es importante establecer la cantidad de agua que suministran los ecosistemas que se encuentran en la reserva que se encuentra disponible para el uso.

Según el estudio realizado por Clemente, Rodrigo, Sosa, Maass, Ruíz, de Jesús & Flores (2015) existen varios métodos para considerar la cantidad de agua que una cuenca hidrográfica puede disponer, mediante la diferencia de parámetros de precipitación y la evapotranspiración. En cambio, según Silva, Aldama, Martín & Alarcón (2013) en su publicación sobre metodología para la determinación de disponibilidad agua superficial en cuencas hidrológicas, se cuantifica mediante el valor de escurrimiento que produce un área.

Esta cuantificación no es suficiente si no se le da un valor, especialmente económico a los servicios hídricos que brinda la reserva, en vista de que pueden ser un factor determinante para la toma de decisiones e implementación de políticas de conservación.

Varios métodos de valoración son propuestos como el de valoración contingente (Pérez et al, 2016) siendo uno de los más conocidos y usados y se refiere a estimar el valor que dan las personas a un bien o un servicio ambiental, en lugar de establecer las estimaciones en base a la conducta de un mercado. (Penna & Cristeche, 2008), pero de acuerdo a las condiciones del área de estudio y al no presentar un servicio adecuado y completo de agua potable y agua de riego se adaptó, para el presente estudio, el método de costo de oportunidad, que de acuerdo a Barrantes (2006) relaciona las actividades económicas que se desarrollan en el área y el valor de captación del agua de los ecosistemas productores.

2.2 Referentes teóricos

2.2.1 Disponibilidad hídrica

La unidad básica para poder determinar la cantidad de agua que se encuentra disponible para el uso y el consumo del recurso hídrico es la cuenca hidrográfica. De acuerdo a Silva, et al (2013) la disponibilidad de agua es el resultante de establecer los escurrimientos naturales de una unidad hidrográfica de las concesiones permitidas para uso antrópico y de las demandas que tiene el mismo ambiente.

El Ecuador de acuerdo a la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) citado por (Pule, 2016) es uno de los países con mayor disponibilidad de este recurso bordeando los 20700 m³/habitante/año, sin embargo el 80% de dicha disponibilidad se encuentra dirigida hacia la vertiente amazónica, donde se encuentra en menor porcentaje la distribución poblacional.

2.2.2 Balance hídrico

De acuerdo a los Métodos de Cálculo del Balance Hídrico de la UNESCO realizado por Sokolov & Chapman (1981), el balance hídrico se basa en el principio de

conservación de energía en el que la diferencia entre las entradas y salidas de un sistema está establecida por la variación de la cantidad de agua que almacena.

El balance hídrico se conforma por diferentes variables, Turcios (1995) citado por (Ixmatá & Manuel, 2003), donde se establecen la precipitación, intercepción, evapotranspiración potencial, infiltración, escorrentía como variables para el cálculo, de la siguiente manera:

$$P = ETP + R + I + H$$

Dónde:

P = precipitación

ETR = evapotranspiración

R = escorrentía

I = infiltración

H = variaciones de la reserva de agua

Para determinar el balance hídrico, Thornthwaite y Mather (1957) citado por Mendoza, Bocco, López & Bravo (2002), desarrollaron una ecuación para establecer la cuantificación del agua en equilibrio dentro de un área determinada, en la que utiliza variables de precipitación, evapotranspiración, drenaje, escorrentía y humedad y cobertura del suelo en condiciones en las que el límite de la cuenca coincide con los aportes a los acuíferos, es de esta manera que la ecuación se presenta de la siguiente manera:

$$P - Q \times ETA = (R_I + R_{SW}) - CR - Q_{gw}$$

Dónde:

P= precipitación,

Q= escurrimiento superficial,

ETA= evapotranspiración actual,

(R_I + R_{sw}) = recarga del acuífero (por infiltración o desde cuerpos de agua superficiales),

CR= movimiento del agua subterránea hacia la zona de capilaridad, y

Q_{gw} = contribución del agua subterránea al caudal de corrientes naturales.

Varias han sido las adecuaciones que se le han dado a esta ecuación de acuerdo a las necesidades del estudio, por lo que la UNESCO (1981) plantea una modificación de la siguiente manera:

$$P - E - Q - \Delta S - v = 0$$

Dónde:

P= precipitación

E= evaporación

Q= caudal total

ΔS = variación del volumen total de agua almacenada

v = Término residual o error de cierre de la ecuación del balance hídrico

2.2.3 Precipitación

La precipitación se define como la cantidad de agua de la atmósfera que llega a la superficie de la tierra, en cualquier manifestación (lluvia, neblina, rocío) sea en estado líquido o sólido. Esta variable es el único aporte que tiene el balance hídrico. (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008)

La determinación de la precipitación se realiza a través de aparatos de medición llamados pluviómetros los cuales establecen la cantidad de precipitación y por pluviógrafos la intensidad, medidos en milímetros de precipitación.

Existen varios métodos que pueden determinar la precipitación media, como base de estudio para este parámetro se utiliza como unidad geográfica la cuenca hidrográfica.

Los métodos que buscan establecer la distribución espacial de la lluvia en una superficie a partir de datos de estaciones climáticas, tratan de explicar cómo se ha producido el fenómeno en un territorio determinado (cuenca). La obtención de la distribución espacial de la precipitación atiende por tanto a diferentes fines según el tipo de modelo a manejar (Álvarez, 2011).

Entre los métodos para determinar la precipitación media está el método aritmético, el cual toma los datos pluviométricos de una cuenca y se procede a sacar la media de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P(X_i, Y_i)}{N}$$

Por otro lado, están los métodos de interpolación, en los que mediante datos conocidos se calcula el valor próximo, dentro de estos métodos se encuentran: interpolación lineal, y varios métodos geoestadísticos como el inverse distance, krigging, etc. (Zapata, s.f.) que consideran características geográficas y topográficas. (Portalés, Boronat, Pardo & Balaguer, 2006). También existe el método de los polígonos, siendo el más usado el de Thiessen en una cuenca hidrográfica. Este método extrapola las precipitaciones y se relaciona con las áreas del polígono que se forman trazando las mediatrices de los segmentos que unen las estaciones pluviométricas.

Para cuantificar esta variable, hay que tener cuenta que presenta un comportamiento especial en las zonas parameras, como la del área de estudio, debido a que se caracterizan por presentar valores de precipitación elevadas, principalmente por la orografía de la montaña, ya que el flujo de aire de las grandes circulaciones es calentado en los valles andinos con mayor temperatura, disminuyendo la densidad y obligando a elevarse por los relieves hasta las partes altas, formando nubes que posteriormente se convertirán en lluvia por las bajas temperaturas que presentan estas zonas. (Llambí, 2012)

2.2.4 Infiltración

De acuerdo a Pule (2016) la infiltración es la cantidad de agua que llega a la superficie de la tierra y traspasa hacia el suelo iniciando un movimiento descendente alcanzando diferentes profundidades. Es decir, es la ocupación del agua en los espacios porosos del suelo, desplazando el aire que se encuentra alojado por lo que contribuye a la recarga de acuíferos. (Taboada, Lado, Diéguez & Paz, 1999)

Para cuantificar la infiltración existen varios métodos de medición de esta variable, diferenciando los métodos de medida directa (lisímetros, simulador de lluvia,

infiltrómetros, tubos) los cuales cuantifican la cantidad de agua infiltrada en una unidad de área en un determinado tiempo, a lo que se le denomina velocidad de infiltración.

Dicha velocidad depende de las condiciones de los suelos, en especial de la zona de desarrollo radicular siendo principalmente las características físicas de textura, estructura, densidad, materia orgánica, las determinantes para establecer la velocidad. (Guatibonza, 2009 citado por Amancha, 2015).

Según la USDA, la velocidad de la infiltración se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 1.
Clasificación de la Velocidad de infiltración

CLASE	DENOMINACIÓN	RANGO (mm/h)
1	Muy Rápida	> 250
2	Rápida	150 - 250
3	Moderadamente Rápida	65 - 150
4	Moderada	20 - 65
5	Moderadamente Lenta	5 - 20
6	Lenta	1,5 - 5
7	Muy Lenta	< 1,5

Fuente: USDA (2006)

2.2.5 Evapotranspiración

El término de evapotranspiración es el proceso físico en el cual el agua que se encuentra en estado líquido se convierte en vapor, sea por la evaporación y la transpiración de las plantas (Allen, 2006). Las unidades usuales son las de milímetro por día (mm/día) o milímetros al mes (mm/mes) y las de metro cúbico en hectárea al día (m³/ha/día).

La evapotranspiración potencial de acuerdo a Thornthwaite (1948), es la cantidad máxima que evapotranspira de acuerdo a las condiciones climáticas; en cambio para Penman, 1956 es la cantidad de agua que transpira un cultivo o cobertura vegetal sin que falte agua o como manifiesta Papadakis (1980) la cantidad de agua que se necesita una cobertura para un rendimiento óptimo. (Universidad Politécnica de Madrid, s.f)

2.2.5.1 *Evapotranspiración potencial (ETP)*

Es la evapotranspiración máxima en condiciones óptimas existentes, es decir, si el suelo se encuentra en estado saturado y con una buena cobertura vegetal completa. (Allen, Pereira, Raes, 1998)

De acuerdo a Allen (2006) este parámetro se calcula mediante la medida directa con la utilización de lisímetros, pero este proceso resulta costoso, por lo que se estima mediante la aplicación de fórmulas empíricas y analíticas.

2.2.5.2 *Evapotranspiración real (ETR)*

Es la evapotranspiración en condiciones reales de las condiciones existente en el medio. Este valor depende de las realidades de humedad disponible, cobertura vegetal, saturación del suelo, etc. (Hämmerly, 2011).

2.2.6 Escorrentía

La parte de la precipitación que no llega a infiltrarse por el suelo cuando éste ya se encuentra saturado o su textura ya no permite la percolación, escapa de los fenómenos de evapotranspiración es la escorrentía, la que provee a los cauces superficiales de forma continua o intermitentes de una cuenca hidrográfica. (López & Blanco citado por Duarte & Mónica, 1998)

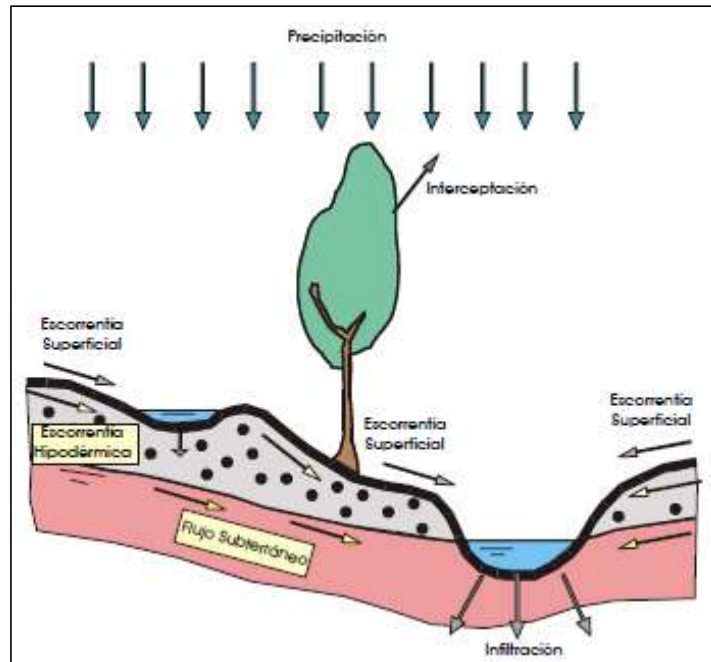


Figura 1. Flujo de escorrentía

Fuente: Duarte, G., & Mónica, C. (1998). Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados latifoliados maduros.

De acuerdo a Mendoza et al (2002), en el modelo original de Thornthwaite y Mather (1957), el escurrimiento superficial es la porción de agua que la cuenca no puede almacenar, por lo que algunos autores manifiestan que para cuencas grandes es el 50% del excedente de agua que se escurre superficialmente al mes y el restante 50% es almacenado para abastecer la escorrentía del mes siguiente.

Para determinar el escurrimiento de una cuenca se debe tomar en cuenta varios aspectos: precipitación, textura del suelo, pendiente y tipo de cobertura del suelo. Para lo cual se han desarrollado varios métodos para la estimación del escurrimiento mediante ecuaciones.

La estimación del coeficiente de escorrentía se determina por varias ecuaciones empíricas que va desde las más simples a las más complejas, en las que se calculan a partir de variables y valores de tablas de acuerdo a las especificaciones de cada variable. El coeficiente de escorrentía se puede estimar mediante tablas, o estimación por comparación en otras cuencas cercanas, o de manera directa. (Duarte, et al, 1998)

2.2.7 Cobertura de la tierra

De acuerdo a la clasificación de ecosistemas realizado por el Ministerio de Ambiente el Ecuador (2013), clasifica a las formaciones vegetales en las siguientes coberturas con sus respectivas características:

2.2.7.1 *Herbazal de Páramo*

Esta formación vegetal está ubicada en zonas pluviales, húmedas e hiperhúmedas, con fenología siempreverde en los pisos climáticos montano alto y montano alto superior, desde 3300-3900 msnm en relieves de montaña y glacis. Se caracteriza por la presencia de *Calamagrostis spp.* La composición y estructura del ecosistema se modifican hacia las cotas más bajas, ya que se puede presenciar la transición a especies arbustivas y arbóreas del bosque de altura.

2.2.7.2 *Arbustal siempreverde*

Se encuentra principalmente en zonas pluviales húmedas e hiperhúmedas, desde los 2800 a los 3600 msnm en los pisos bioclimáticos montano alto y montano alto superior. Su fenología es siempreverde con arbustos hasta los 3 m de altura, localizándolos por encima de la línea de bosque con especies características de los géneros *Baccharis*, *Gynoxys*, *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Miconia*, *Buddleja*, *Monnina* e *Hypericum*; especies de Ericaceae que son más comunes en las áreas de menor altitud.

2.2.7.3 *Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes*

Este tipo de ecosistemas se encuentra ubicado sobre bioclimas pluvial, húmedo e hiperhúmedo, con fenología siempreverde desde los 3000 a 3700 msnm (montano alto), sobre relieves de montaña, edificios volcánicos, colinas y vertientes. Estos bosques se caracterizan por tener un dosel de 10 a 15 m de alto, de troncos gruesos en ocasiones torcidos y raíces adventicias. En el sotobosque se puede evidenciar la presencia de helechos herbáceos y arbóreos de los géneros *Dicksonia* y *Cyathea*, también arbustos, epífitas y briófitas. Cuando existe intervención, las principales especies que colonizan son gramíneas que alcanza de 5 a 8 m de altura y que se adhieren a los árboles y arbustos, estas especies son conocidas comúnmente como suros. Existen dos tipos de estos bosques,

pero el que predomina en el área de estudio es el bosque enano, que es donde prevalecen especies arbóreas pequeñas y esclerófilas, debido a que se encuentran en zonas altas y frías cercanas a los páramos. Las especies típicas de este tipo de ecosistema son: *Escallonia myrtilloides*, *Gynoxys acostae*, *Buddleja spp.*, *Solanum sp.* y *Myrsine andina* (Fehse et al citado por Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

2.2.8 Servicios Ecosistémicos

Como concepto se menciona a los servicios ecosistémicos como la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. El agua, la tierra, el aire, el clima y los recursos genéticos han de utilizarse de forma responsable para mantener la sostenibilidad y sustentabilidad de los mismos. Los servicios ecosistémicos hacen posible la vida humana, por ejemplo, al proporcionar alimentos nutritivos y agua limpia; al regular las enfermedades y el clima; al apoyar la polinización de los cultivos y la formación de suelos, y al ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales. Si bien se estima que estos bienes tienen un valor de 125 mil millones de dólares, no reciben la atención adecuada en las políticas y las normativas económicas, lo que significa que no se invierte lo suficiente en su protección y ordenación (FAO, 2016).

La disposición de recursos naturales para su uso y aprovechamiento depende de la gestión que el humano realice de manera racional, ya que mucho dependemos de los servicios y bienes ambientales que la naturaleza nos brinda, por lo que según manifiesta la FAO (2016), mantener los ecosistemas sanos es la manera que nos garantizará la seguridad alimentaria a través del tiempo.

2.2.9 Valoración de Servicios Ecosistémicos

La valoración económica es uno de las herramientas que permite hacer visible los costos y beneficios socio-ambientales con el fin de contar con indicadores para la toma de decisiones que mejoren la reasignación de los recursos (Porras, 2003).

Las valoraciones económicas de servicios ecosistémicos se realizan para poder lograr valores estimados de la contribución real de los ecosistemas al bienestar humano. Esto visualiza la dimensión de los servicios que otorga la naturaleza, lo que puede causar un cambio en la perspectiva de las personas y en las decisiones políticas en lo que respecta

a los usos de la tierra y a la conservación (o no) de los ecosistemas naturales. En este sentido, permite que al momento de tomar decisiones generen un impacto en los ecosistemas, se vuelvan explícitos los costos reales que aquello conlleva y los trade offs que se enfrentan, posibilitando que los efectos sobre el medio ambiente se tomen en mayor consideración, y que no se evalúe solamente en base a los costos “de mercado” (Rivera citado por ECOLAP & MAE, 2007).

2.2.10 Costo de Oportunidad

El costo de oportunidad representa al valor económico que se deja de percibir por cierta actividad para proteger un recurso particular. Este valor es un acercamiento económico del bien o servicio ambiental mediante los rubros no percibido por la sociedad debido a la oportunidad de producción perdida (Labbate, 1997 citado por Tomasini, 2014) y la sociedad es quien define si este costo de oportunidad para conservar es aceptable o no.

Estos valores pueden ser una gran influencia al momento de toma de decisiones y movilizar recursos para compensar a las poblaciones que se dedican a la conservación de ecosistemas (costo de oportunidad de protección). Varias Organizaciones no Gubernamentales pueden proveer fondos o subsidios para este tipo de proyectos, especialmente cuando los beneficios de conservación son de interés global o regional (Tomasini, 2014).

2.3 Marco Legal

La normativa legal ecuatoriana garantiza el cuidado y conservación de nuestros recursos naturales con la finalidad de brindar a las futuras generaciones la capacidad de que puedan satisfacer sus necesidades, especialmente un recurso tan indispensable como es el agua; tal es así, que la Constitución del Ecuador instaure varios artículos a favor de la conservación y cuidado de la naturaleza y por ende del agua, siendo, es por lo cual que en el Artículo 71 Afirma que la Naturaleza es ente de derecho y debe ser respetada en su presencia y dinamismo; en el Artículo 73, el Estado implantará medidas precautelatorias en actividades en las cuales puedan afectar a los ecosistemas o alterar sus procesos naturales, en los cuales se incluyen indubitablemente el agua. En el Artículo 14 donde es reconocido por el Estado el derecho de la población al “Sumak Kawsay”, así como

también en el Artículo 74. Garantiza a la población a beneficiarse del ambiente y de los bienes y servicios naturales que permitan el buen vivir.

De igual manera, el Estado es quién garantiza la conservación y cuidado de ecosistemas importantes para la producción, regulación y distribución del recurso agua, conservación, recuperación y manejo como manifiesta en el Artículo 411, donde también expone que se regulará las actividades que ponga en riesgo la cantidad y calidad del agua especialmente en las fuentes. En el Artículo 406 el Estado es el que normalizará el cuidado, manejo y uso sustentable de los páramos, humedales y bosques.

Dentro de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua promueve en su Artículo 12 a la protección, conservación y recuperación de fuentes hídricas, responsabilizando a todo aquel que hace uso de este recurso, así como también en el manejo de los páramos. En su Artículo 14 también promueve la regularización de las actividades que puedan poner en peligro la cantidad y calidad del agua; como el cambio de uso del suelo en las zonas de protección hídrica que abastecen del recurso para consumo humano y riego.

En la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre en su Artículo 6 considera las áreas protectores a las formaciones vegetales, que se encuentran en zonas donde permita la preservación de cuencas hidrográficas, fuentes de agua y áreas de investigación hidrológica forestal.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Pimampiro, parroquia San Francisco de Sigsipamba, comunidad La Floresta con un área aproximada de 1 507,22 ha, diferenciándose tres tipos de ecosistemas importantes del área:

- Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, que ocupa el 23,40% de Sabia Esperanza (352,70 ha).
- Arbustal siempre verde, ocupando más de la mitad del área protegida 58,09%, (875,57 ha).
- Herbazal del Páramo, perteneciente al 18,27% de la reserva (275,34 ha).

Distribuidas tal como se muestra en la Figura 3.

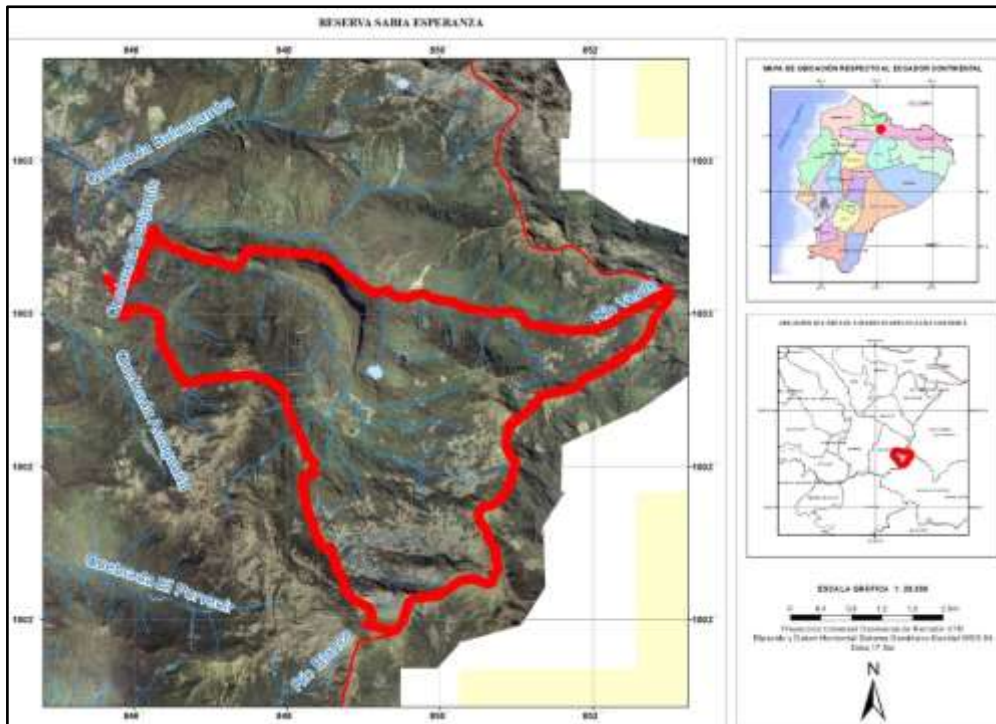


Figura 3. Ubicación al área de estudio Reserva Sabia Esperanza

La reserva Sabia Esperanza se encuentra ubicada desde los 2635 hasta los 3 600 msnm, limitando al norte con la Reserva Balsapamba, al oeste con la Reserva San Agustín y la comunidad La Floresta y al sur y este con el Parque Nacional Cayambe Coca.

3.2 Diseño y tipo de investigación

La investigación del presente estudio es de tipo cuantitativa debido a que se realizó la medida de los componentes hidro-meteorológicos y el costo de oportunidad de la principal actividad económica y el valor de captación, cuyos alcances fueron descriptivos en base a que se caracterizaron los fenómenos ocurrientes y se determinó la disponibilidad hídrica mediante el modelo propuesto de las tres coberturas en estudio, con la identificación geoespacial de las variables determinadas y la valoración de la Reserva.

El diseño fue de campo, debido a la recolección de datos in situ para complementar las variables del modelo matemático y los costos de producción de la principal actividad económica, y se aplicó estadística descriptiva y geoestadística para el procesamiento de datos recolectados.

3.3 Procedimiento de investigación

3.3.1 Diagnóstico hidro-meteorológico de la reserva Sabia Esperanza

Para realizar el diagnóstico hidro-meteorológico de la reserva se recopiló información de datos meteorológicos disponibles del INAMHI, de las estaciones meteorológicas y pluviométricas (precipitación, temperatura)

Se realizó una salida de campo de tres días a la reserva Sabia Esperanza para coleccionar datos de infiltración.

Las variables que se determinaron son: precipitación, infiltración y evapotranspiración, con las cuales, posteriormente se establecieron valores de escurrimiento.

3.3.1.1 Precipitación

Para la determinación de la precipitación se utilizaron los datos proporcionados por el INAMHI de 23 estaciones meteorológicas y pluviométricas cercanas al área de estudio, con datos registrados de hasta 30 años de registro hasta el año 2010.

Para determinar la precipitación media anual de la reserva Sabia Esperanza se realizaron interpolaciones mediante la utilización del software ArcGis 10.3 con el método spline, que es recomendado para aplicaciones climatológicas. (Díaz et al, 2008)

Para los valores de precipitación mensual se utilizó la figura 2, para establecer el método de interpolación de acuerdo a la característica de los datos disponibles, dando como resultado el método Moving Average Inverse Distance. Una vez determinado el método se realizó la interpolación respectiva con la ayuda del el Software ILWIS 3.0.

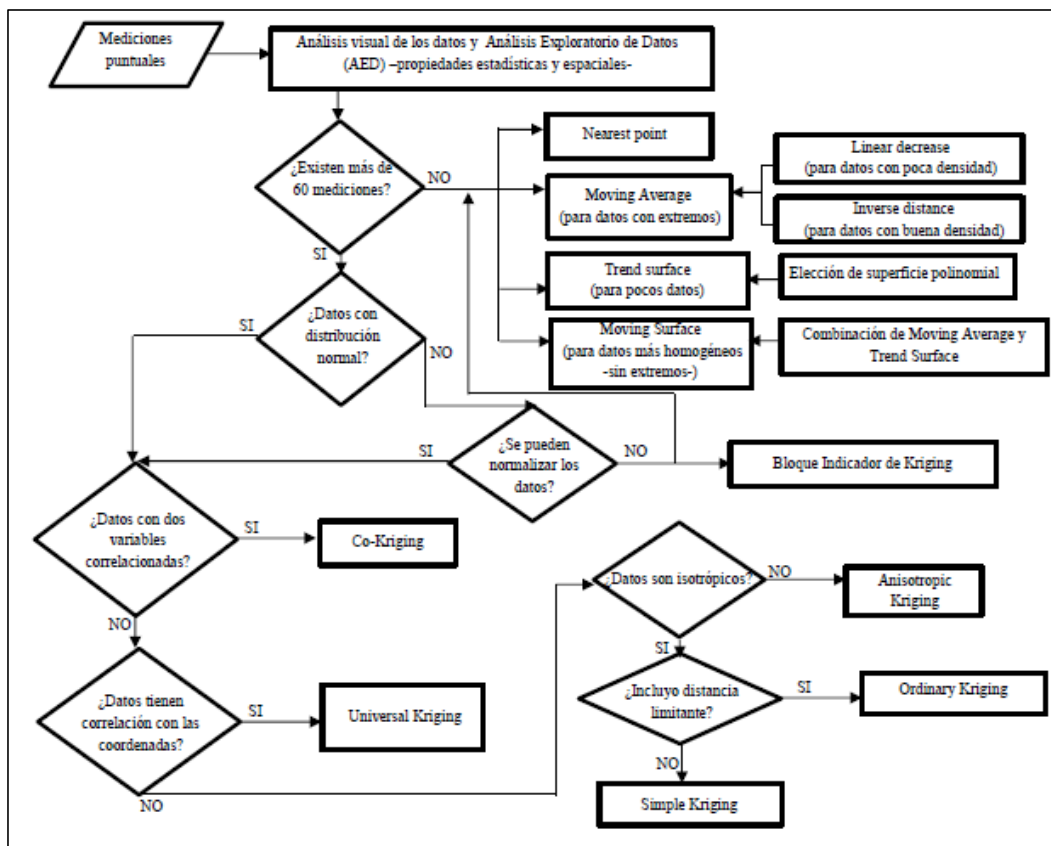


Figura 2. Flujograma que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación

Fuente: Moreno Izquierdo, V. J. (2012). Fertilidad de los Suelos a través de la Regionalización de Variables Edafológicas mediante Herramientas Geoestadísticas, en Seis Cantones del Ecuador (tesis de maestría). Universidad Mayor de San Simón. Bolivia.

3.3.1.2 Infiltración

Se determinaron unidades homogéneas tomando en cuenta la cartografía de geopedología de SIGTIERRAS escala 1:25000 y de acuerdo a la textura del suelo,

regímenes de humedad del suelo, pendiente y accesibilidad, llegando a determinar tres áreas homogéneas, debido al principal factor limitante que fue la accesibilidad.

En cada punto de muestreo se usó un infiltrómetro de minidisco para medir esta variable y se tomó una muestra de suelo para laboratorio y confirmar la clase textural materia orgánica, porosidad y humedad de suelo.

3.3.1.3 Evapotranspiración

Para establecer esta variable es importante obtener valores de temperatura máxima, mínima y diaria; sus valores se obtuvieron de 8 estaciones meteorológicas cercanas y se realizó la interpolación con la relación directa que tiene la temperatura con la altitud, mediante el software ILWIS 3.0.

Para el cálculo de la ETP mensual, se aplicaron dos métodos: Thornthwaite y Hargreaves.

La ecuación empírica de Thornthwaite, se calculó mediante la ecuación:

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

Dónde:

I= índice de calor anual por la suma de los 12 valores del índice de calor mensual (**i**)

$$i = (T / 5)^{1.514}$$

T = temperatura media mensual en °C.

a = función del índice de calor anual (I) Este valor (a) se calcula a partir de:

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$$

Una vez establecido el valor de ETP sin corregir, se procede a calcular ETP mediante:

$$ETP = ETP_{sin\ corr} \frac{N}{12} \frac{d}{30}$$

Dónde:

N= número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y la latitud

d = número de días al mes

Otro de los métodos que se utilizó para el cálculo de la evapotranspiración es mediante Hargreaves, en la que se necesitan datos de temperatura y radiación, mediante la ecuación:

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s$$

Dónde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)

t_{med} = Temperatura media (°C)

R_s = Radiación solar incidente (mm/día)

Para determinar la radiación solar incidente (R_s), se establece a partir de la radiación solar extraterrestre, que se refiere a la radiación que llegaría a la superficie terrestre si no existiera la atmósfera.

De acuerdo a Samani (2000) citado por Sánchez (2001) propone:

$$R_s = R_0 \times KT \times (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

Dónde:

R_s = Radiación solar incidente (mm/día)

R_0 = Radiación solar extraterrestre (mm/día)

KT = Coeficiente

t_{max} = Temperatura diaria máxima (°C)

t_{min} = Temperatura diaria mínima (°C)

Para establecer el valor de la constante KT se empleó el valor empírico a partir de datos de la presión atmosférica y de acuerdo al autor del método, se recomendó el valor de 0,162 para zonas interiores.

Para la Radiación solar extraterrestre, se definió de acuerdo a valores ya establecidos por Allen et al (1998), en la siguiente tabla.

Tabla 2.
Radiación solar extraterrestre en mm/día

HEMISFERIO NORTE Y SUR												
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	14,8	15,3	15,5	15	14,2	13,6	13,8	14,6	15,2	15,3	14,8	14,5

Fuente: Allen et al., 1998 citado por Sánchez, 2001

Una vez establecidas la constante, la radiación solar extraterrestre y las temperaturas diarias máximas y mínimas medias mensuales se procedió a determinar los valores de Evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves.

3.3.2 Determinación de la disponibilidad hídrica de cada una de las coberturas en estudio de la reserva Sabia Esperanza

Cada variable hidro-meteorológica se representará espacialmente en mapas temáticos con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica con el software ArcGis 10.3 para obtener como producto consolidado el mapa de disponibilidad hídrica de los ecosistemas presentes en la Reserva Sabia Esperanza.

Para establecer la disponibilidad se calculó la escorrentía de acuerdo a tres métodos ecuación simplificada del balance hídrico según UNESCO (1981), mediante el Coeficiente de Escorrentía y por el método número de curva de la Soil Conservation Service (SCS)

3.3.2.1 Ecuación simplificada del balance hídrico

De acuerdo a la UNESCO (1981) cuando una zona no cuenta con datos de aforos se puede realizar una evaluación aproximada del caudal medio que se genera mediante la ecuación:

$$P - E - Q = 0$$

Dónde:

P= Precipitación

E= Evapotranspiración

Q= Caudal

Definiendo entonces la ecuación para el caudal, como:

$$Q = P - E$$

Este método de acuerdo a la UNESCO (1981), puede dar resultados incorrectos, debido a que, en cuencas pequeñas con un tipo de escorrentía típica, acumula bastante error al determinar cómo diferencia componentes principales de la ecuación del balance hídrico.

3.3.2.2 *Coefficiente de escorrentía*

El coeficiente corresponde a la fracción de agua precipitada que genera escorrentía superficial una vez que el suelo ha llegado al punto de saturación, dependiendo de las características del área. (Asensio, Ramón, & Blanquer, 2011)

Para el cálculo de escurrimientos superficiales de áreas de drenaje reducidas se utiliza la ecuación:

$$C = \frac{E}{\bar{P}}$$

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía

E: Escorrentía media

\bar{P} : Precipitación media

Para calcular el coeficiente se establece de acuerdo a las características del suelo, cobertura de la tierra y pendiente, mediante tablas en las que ya se determinaron valores para las características que pueda presentar un área, por lo que la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$E = C \times \bar{P}$$

La determinación del valor del coeficiente fue realizada mediante el método de Benítez en el que se otorgan valores de acuerdo a la cobertura vegetal, textura de suelo y pendiente. A continuación, los valores son representados en la Tabla 3.

Tabla 3.
Valores de coeficiente de escorrentía método Benítez

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,5	0,45	0,4
Pastos, vegetación ligera	Permeable	0,4	0,35	0,30	0,25	0,20
	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
Hierba	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,2	0,15
	Impermeable	0,60	0,55	0,5	0,45	0,4
Bosque, vegetación densa	Semipermeable	0,50	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,30	0,25	0,2	0,15	0,1
	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05

Fuente: Azagne, A. M. (2006). *Particularización del método de coeficientes de escorrentía*.

3.3.2.3 Número de curva SCS

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, por sus siglas en inglés SCS, desarrolló un método para determinar la escorrentía de acuerdo el número de curva CN que otorga valores del 1 al 100 de acuerdo a las características de tipo de suelo hidrológico, uso y tratamiento de cobertura de la tierra, condiciones superficiales del terreno y condición antecedente de humedad. (Forero, 2015)

La cantidad de agua que queda disponible se obtiene de acuerdo a la ecuación:

$$Q = \frac{(I - 0,2S)^2}{I + 0,8S}$$

Dónde:

Q= escorrentía (mm)

I= cantidad de lluvia (mm)

S= diferencia máxima potencial entre la lluvia caída y la escorrentía generada que se determina de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$S = \frac{25\ 400}{N} - 254$$

N= Número de curva

Para determinar el número de curva se estableció el tipo de suelo hidrológico de acuerdo a los valores que la metodología confiere de acuerdo a las clases texturales que el área presenta, mediante la Tabla 4.

Tabla 4.
Clasificación hidrológica del suelo

Grupo de suelos	Descripción de las características del suelo
A	Suelo de bajo potencial de escurrimiento, como: arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8-12mm/h
B	Suelos de moderado a bajo potencial de escurrimiento, como: suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Cuando se encuentra con cierto estado de humedad tiene una infiltración mayor que el promedio. Infiltración básica 4-8 mm/h
C	Suelos de moderado a alto potencial de escurrimiento, como: suelos con considerable contenido de arcilla, pero menor al grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Infiltración básica 1-4 mm/h
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento, como: suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm/h

Fuente: Asensio, S. I., Ramón, H. M., & Blanquer, J. M. G. (2011). Valores del nº de curva (cálculo de la escorrentía).

El valor de la curva fue calculada mediante las características del uso y tratamiento o práctica de la cobertura de la tierra, la condición hidrológica mediante la Tabla 5.

Tabla 5.

Curva numérica (CN) para estimar el escurrimiento bajo diferentes características en condiciones de humedad II

Uso del suelo	Cobertura		Grupo de suelos			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Curva numérica			
Suelo en descanso	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivo de escarda	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	65	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curva a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curva a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curva a nivel	Buena	55	69	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curva a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curva a nivel	Buena	6	35	70	79
	Pasto de corte	Buena	30	58	71	78
Bosque	Mala	45	66	77	83	
	Regular	36	60	73	79	
	Buena	25	55	70	77	
Caminos de tierra	Buena	72	82	87	89	
Caminos pavimentados	Buena	74	84	90	92	

Fuente: Asensio, S. I., Ramón, H. M., & Blanquer, J. M. G. (2011). Valores del nº de curva (cálculo de la escorrentía).

Una vez establecido el valor de la curva en condición II de humedad del suelo, se determinó la precipitación media diaria de la estación meteorológica cercana (5 mm diarios), en este caso la de Francisco de Sigsipamba para obtener el valor de humedad antecedente, estableciendo a la reserva en la condición I (Condiciones de saturación en el suelo) por la siguiente Tabla 6.

Tabla 6.
Condición de humedad antecedente en función de la precipitación media diaria

Condición de humedad antecedente	Precipitación media diaria (mm)
I	0 – 12,7
II	12.7– 38,1
III	> 38,1

Fuente: Asensio, S. I., Ramón, H. M., & Blanquer, J. M. G. (2011). Valores del nº de curva (cálculo de la escorrentía).

Para lo cual se determinó un nuevo valor de CN de acuerdo a la Tabla 7:

Tabla 7.
Curvas numéricas (CN) para condiciones de humedad antecedentes I, II y III

CN para condición II	CN correspondientes a	
	Condición I	Condición II
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fuente: Asensio, S. I., Ramón, H. M., & Blanquer, J. M. G. (2011). Valores del nº de curva (cálculo de la escorrentía).

3.3.3 Valoración mediante costo de oportunidad entre la principal actividad económica y la disponibilidad hídrica de la reserva.

El valor de costo de oportunidad de la Reserva Sabia Esperanza se realizó de acuerdo a la metodología de Barrantes (2006) y para fines de cálculo se estableció la sub microcuenca del río Verde por ser el área de influencia directa de la reserva.

3.3.3.1 Costo de producción

Pezo, (1999) menciona que los sistemas extensivos, tradicionales o convencionales de producción animal se caracterizan esencialmente por formar parte de un ecosistema natural modificado por el ser humano, es decir, un agro ecosistema. Se determinó el costo de oportunidad del uso de la tierra, enfatizando la actividad productiva predominante en extensión establecida mediante la cartografía temática de cobertura y uso de la tierra y sistemas productivos levantada por SIGTIERRAS escala 1:25000.

Para el cálculo de los costos de producción de la ganadería extensiva presente en el área de influencia de la Reserva, se realizó unas fichas informativas de producción para determinar los diferentes aspectos de la principal actividad económica. Con la información levantada se realizó un análisis de costos, llegando a determinar el costo de producción de la actividad más importante de la zona La Floresta.

Frank, (1995), menciona que, para obtener el costo de litro de leche, se emplea la siguiente fórmula:

$$CLL = \frac{\frac{Ca}{Vu} + Cmsa}{365} \cdot nlpd$$

Dónde:

CLL= Costo litro leche

Ca= Costo animal

Vu= Vida útil animal

Cmsa= Costo manejo y sanidad

nlpd= Número de litros producción diaria

3.3.3.2 Costo de oportunidad

Una vez determinada la principal actividad productiva de la zona y el costo del producto principal de la actividad productiva del área, se establecieron los ingresos con lo que se determinó el costo de oportunidad de dicha actividad, mediante la siguiente ecuación:

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n (Yt_x - Ct_x) + \sum_{i=1}^n (Ya_x - Cp_x)}{A}$$

Donde:

B_i = Ingreso neto total por ganadería.

Yt_x = Ingreso total por la venta del producto i .

Ct_x = Costos efectivos de producción de i para la venta.

Yax = Ahorro por autoconsumo del producto i .

Cpx = Costos de producción de i para autoconsumo.

A = Superficie de la principal actividad

3.3.3.3 Valor de captación hídrica

Finalmente se calculará el valor de productividad hídrica mediante la siguiente ecuación.

$$VC = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i B_i A b_i}{O c_i}$$

Donde,

VC = Valor de captación hídrica del ecosistema (\$/m³)

B_i = Costo de oportunidad de cualquier actividad económica que compite con la cobertura vegetal natural por el uso del suelo en la cuenca i (\$/ha/año)

$A b_i$ = Área bajo bosque en la cuenca i (ha)

$O c_i$ = Volumen de agua captada en la cuenca i (m³/año)

α_i = Importancia del bosque en la cuenca i en función de la cantidad y calidad del recurso hídrico.

Para la ponderación de la importancia del servicio ecosistémico hídrico en comparación a los otros servicios que ofrece la Reserva Sabia Esperanza, se estableció por criterio de expertos y se consideraron estudios relacionados a valoraciones de ecosistemas parameros, con un valor entre 0 a 1.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los componentes hidro-meteorológicos de la Reserva Sabia Esperanza

4.1.1 Precipitación

Para el cálculo de la precipitación anual se utilizó un método de interpolación spline, obteniendo de esta manera, una precipitación media anual que varía entre los 1050 a 1400 mm y una precipitación media anual de toda la reserva de 1189,55 mm, como se puede apreciar en el Anexo 1.

De acuerdo con la cobertura que presenta el área protegida (Anexo 2), se estableció la precipitación media tanto para Arbustal siempreverde (1196,46 mm/año), encontrándose en mayor proporción con 875,57 ha que representa el 58,09 % con respecto a toda el área de la reserva seguido por el Bosque siempreverde montano alto con una precipitación media de 1126,13 mm/año en un área que ocupa el 23,40% (352,70 ha) y por último el Herbazal del Páramo (1248,96 mm/año) con 275,34 ha que representa el 18,27 % como se muestra en la Tabla 8. Con esta información se confirma lo que señala Luteyn (1992), que la precipitación en los páramos es moderada, variando desde los 700 mm hasta los 3000 mm. A continuación, en la figura 4 se presenta la distribución de la cobertura del área en estudio de acuerdo con la cartografía de Sistemas Productivos escala 1:25000 de SIGTIERRAS.

Tabla 8.
Precipitación media anual para diferentes coberturas vegetales en la Reserva Sabia Esperanza.

Cobertura	Precipitación media mm/año	Área ha	%
Agua	1175,00	2,71	0,18
Arbustal siempre verde	1196,43	875,57	58,09
Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	1126,13	352,70	23,40
Herbazal del Paramo	1248,96	275,34	18,27
No Aplica	1225,00	0,90	0,06
	Total	1507,22	100,00

La distribución anual de la precipitación en relación con la temperatura media mensual demuestra que la reserva Sabia Esperanza no presenta meses secos. Los meses de menor precipitación son agosto y septiembre, pero posteriormente vuelve a adquirir valores altos de precipitación. Gráfico 1.

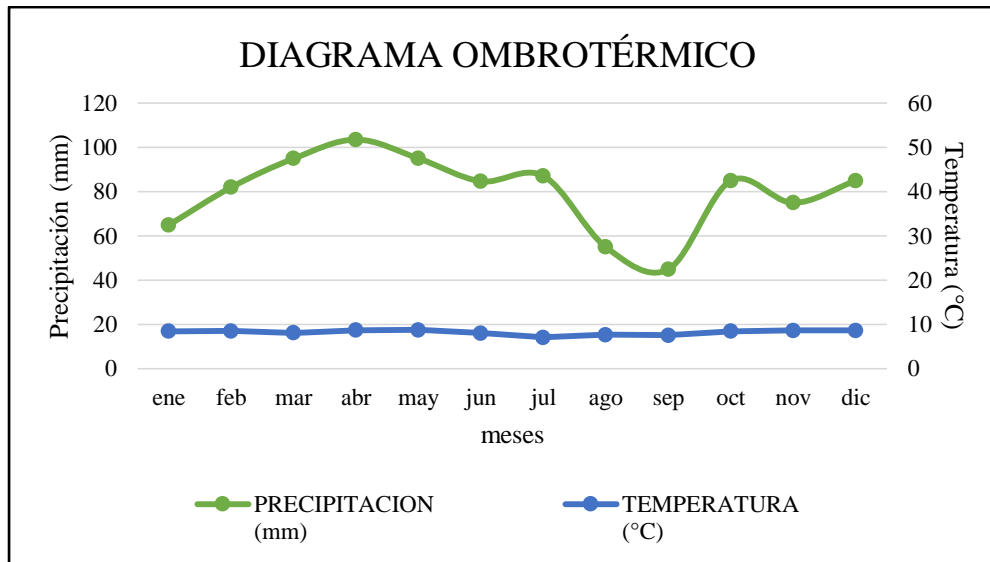


Gráfico 1. Distribución mensual de precipitación y temperatura

4.1.2 Geopedología

4.1.2.1 Geomorfología

- Unidad Ambiental: Las Cimas frías de las Cordilleras Occidental y Real, contexto morfológico: Paisajes Glaciares

Las Cimas frías de las Cordilleras Occidental y Real atraviesan el país como una importante fragmentación en la geografía, en dos fajas paralelas que coronan las dos cordilleras Andinas, Occidental y Oriental. La altitud es una de las características de estos paisajes, siendo el pico más alto a los 6310 msnm en el volcán Chimborazo, mientras que los valores inferiores son todavía muy elevados, oscilando entre los 3300 y 3400 msnm en la zona norte del país y entre 3100 y 3200 msnm hasta Amaluza, en el sur. Además de los típicos paisajes glaciares que caracterizan este dominio, también se incluyen en él, los relieves de sus márgenes, caracterizados por el marcado abrupto que da paso al medio interandino y que llega a descender hasta los 2.800 msnm. (SIGTIERRAS, 2015)

Dentro de esta unidad ambiental se encontraron los paisajes glaciares y los relieves de los márgenes de las cimas frías que se encuentran por encima de los 3100 msnm en el

norte del país. Las temperaturas medias anuales son inferiores a los 10 y 8°C; las precipitaciones se presentan parcialmente en forma de nieve, acompañadas de una fuerte nubosidad, con una cobertura uniforme de proyecciones de ceniza recientes, exceptuando en las pendientes más pronunciadas donde la ceniza ha perdido espesor (picos y agujas rocosas). Estas cenizas constituyen el material parental para el desarrollo de los suelos, a partir de capas de piroclastos de gran espesor, suavizando uniformemente las formas y atenuando las diferenciaciones topográficas originales. Las pendientes oscilan entre 5 a 150%. (Winckell, 1997)

Sus características son:

- Formas del relieve: Coluvión reciente, cono de derrubios, relieves colinados medios, vertiente de valle glaciar, vertientes heterogéneas, morrenas de fondo y agujas volcánicas.
- Geología: Unidad Agoyán, ocasionalmente cubierta por depósitos glaciares, fluvio glaciares y Volcánicos Angochagua.
- Suelos: Andisols, Inceptisols, Mollisols y Entisols
- Regímenes de temperatura y humedad y: Isofrígido-ácuico y údico.

Tabla 9.
Resumen de la unidad ambiental con sus características morfológicas. Reserva Sabia Esperanza.

Unidad ambiental	Contexto morfológico	Unidad morfológica	Pendiente %	ha	%		
Cimas Frías de las Cordilleras Occidental y Real	Paisajes glaciares	Coluvión reciente	> 40 - 70	228,08	15,13		
		Cono de derrubios	> 25 - 40	32,46	2,15		
		Esker	>12 - 25	329,28	21,85		
		Morrena de fondo	> 5 - 12	63,97	4,24		
		Pitones o agujas volcánicas	> 70 - 100	1,23	0,08		
		Relieve colinado medio	> 12 - 25	148,11	9,83		
		Vertiente de valle glaciar	> 70 - 100	238,79	15,84		
		Vertiente heterogénea	> 70 - 100	0,74	0,05		
		Relieves de los márgenes de las cimas frías		Pitones o agujas volcánicas	> 100 - 150	118,85	7,89
					> 40 - 70	2,20	0,15
Vertiente heterogénea	> 40 - 70			343,52	22,79		
Total				1507,22	100,00		

Fuente: Adaptación SIGTIERRAS 2015

4.1.2.2 *Geopedología*

Los suelos del páramo son bastante homogéneos a pesar de la compleja topografía y geología. El tipo de suelo, así como las propiedades son establecidas por el clima, y la presencia de cenizas homogénea resultantes de erupciones volcánicas en el cuaternario (Winckell et al., 1991; Colmet-Daage et al., 1967). La humedad, el clima frío y la baja presión atmosférica son condicionantes para favorecer el depósito de la materia orgánica en el suelo. Esta acumulación es además fortalecida por la formación de complejos organometálicos resistentes a la destrucción microbiana. Aluminio y Hierro para estos complejos es reemplazado por la destrucción de la ceniza volcánica y de la roca (Colmet-Daage et al., 1967; Nanzyo et al., 1993; Poulénard, 2000). Los suelos resultantes de estos procesos son oscuros y húmicos, estructura porosa y con alta cantidad de materia orgánica.

Se encontraron dos órdenes de suelo ubicadas en 10 unidades morfológicas descritas a continuación a nivel suborden.

4.1.2.3 *Andisols*

Se encuentran un suborden de los Andisols (Cryands). Los Andisols abarcan una superficie de 1042,66 ha, que representan el 69,18 % del área total de la reserva. Se encuentran espacialmente distribuidos en los paisajes glaciares, en unidades morfológicas como coluviones recientes, cono de derrubios, vertientes heterogéneas, pitones volcánicas y relieves colinados medios. Presentan texturas francas a franco arcillosas, porosidad el 70 al 80%, materia orgánica alta (> 3%) en rangos establecidos para la sierra, con un alto contenido de humedad del suelo superiores al 81 % (suelos saturados de agua) y una velocidad de infiltración de 0,80 mm/h.

4.1.2.4 *Inceptisols*

Se encuentran un suborden de los Inceptisols (Udepts). Abarcan una superficie de 464,56 ha, que representan el 30,82 % del área total de la reserva. Se encuentran espacialmente distribuidos en relieves de los márgenes de las cimas frías; en unidades morfológicas como pitones de agujas volcánicas, vertientes heterogéneas y vertientes de valle glacial, sus pendientes varían de 40 a 70 % (fuertes a escarpadas). Presentan texturas franco arcillosas, porosidad del 86,4%, materia orgánica alta (13,84%) en rangos

establecidos para la sierra, con un alto contenido de humedad del suelo superiores al 170 % (suelos saturados de agua) y una velocidad de infiltración constante de 1,44 mm/h.

Tabla 10.

Resumen de los órdenes de suelos a nivel de subgrupo taxonómico. Reserva Sabia Esperanza.

Unidad Morfológica	Pendiente %	Textura superficial	Orden (Soil Taxonomy) 2006	Subgrupo	Código subgrupo	Área ha	%
Pitones o agujas volcánicas	> 100 – 150					118,85	7,89
Vertiente heterogénea	> 40 – 70	Franco arcilloso	Inceptisols	Humic Eutrudepts	KGDT	2,20	0,15
Vertiente de valle glaciar	> 40 – 70					343,52	22,79
Morrena de fondo	> 70 – 100					239,53	15,89
Relieve colinado medio	> 5 – 12					63,97	4,24
Coluvión reciente	> 70 – 100	Franco				1,23	0,08
Esker	> 12 – 25		Andisols	Typic Haplocryands	DCFK	148,11	9,83
Cono de derrubios	> 40 – 70					228,08	15,13
Total	> 12 – 25	Franco arcilloso				329,28	21,85
	> 25 - 40					32,46	2,15
						1507,22	100,00

Fuente: Adaptación SIGTIERRAS 2015

4.1.3 Infiltración

4.1.3.1 Velocidad de Infiltración levantada en campo

Las velocidades de infiltración en los diferentes órdenes de suelos se correlacionan con sus respectivas características sobre todo texturales, por tanto, hacen que existan diferentes cambios de volumen en función del tiempo y puede ser difícil la medición, tal es el caso en suelos arenosos donde el agua infiltrará rápidamente y viceversa en suelos arcillosos (Anexo 3). Por esta razón se ajustó la velocidad de succión para una mejor adaptación en la medición de infiltración según la textura del suelo a encontrarse en la reserva. Tomando en consideración las recomendaciones del fabricante (Decagon, 2012), se procedió a calibrar el equipo con una tasa de succión de 2 cm, ya que las texturas del suelo predominantes dentro del área de estudio son francas a franco arcillosas.

Colocando verticalmente el equipo sobre la superficie del suelo se realizó la toma de registros de infiltración en rangos de 30 segundos, 1, 2, 3, 4, 5 minutos. El intervalo de

tiempo se eligió en base a la tasa de succión y a la textura superficial del suelo. Poniendo en consideración lo que menciona (Decagon, 2012), en suelos arenosos, las lecturas se realizaron cada 2 a 5 segundos, en un suelo franco limoso cada 30 segundos y en una arcilla pesada cada 30 a 60 minutos. La duración total de la prueba evidentemente estuvo en función de la textura del suelo, encontrándose suelo franco a franco arcillosos (Decagon, 2012).

4.1.3.2 Cálculo de la Velocidad de Infiltración

Para su análisis se utilizó la ecuación cuadrática, calculando automáticamente estos valores en una hoja de cálculo proporcionada por el fabricante del equipo; las columnas raíz cuadrada del tiempo (sqrt) y la infiltración acumulada de la tabla siguiente se utilizan para elaborar un gráfico, y así calcular el parámetro C1. El cálculo de las tres muestras realizadas en campo se encuentran en el Anexo10.

Tabla 11.

Registro digital del cálculo de Ks (velocidad de infiltración) por el método de infiltrómetro de minidisco. Reserva Sabia Esperanza.

Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)	Análisis	Valor
0	0,00	77	0,00	Select Infiltrometer Type	MiniDisk
30	5,48	76	0,06	Select Soil Type	sandy clay
60	7,75	76	0,06	Select Suction	2
90	9,49	75	0,13	Cobertura	Bosque
120	10,95	75	0,13	Radius	2,25 cm/s
150	12,25	75	0,13	alpha	0,027
180	13,42	74,5	0,16	n/h _o	1,23
210	14,49	74,5	0,16	Suction	-2 cm/s
240	15,49	74	0,19	A	4,089288008
270	16,43	74	0,19	C1	0,000163586 cm/s
300	17,32	73,5	0,22	K	4,00036E-05 cm/s
--	-	-	-	CH	1,440129684 mm/h

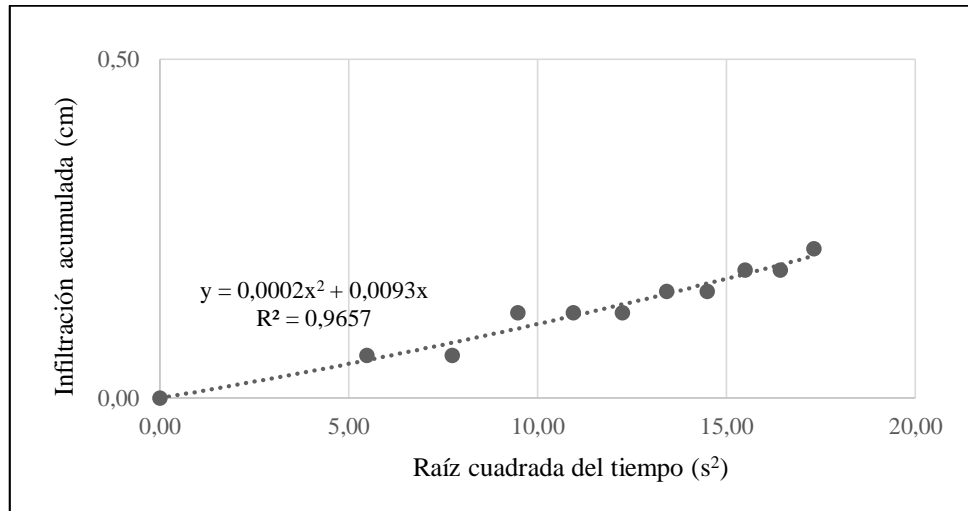


Grafico 2. Relación acumulación de infiltración con el tiempo. Reserva Sabia Esperanza.

De esta manera los valores de infiltración obtenidos fueron reclasificados según la metodología propuesta por USDA y ajustada por Cisneros (2003) para la interpretación de la velocidad de infiltración como se observa en la Tabla 12.

En las 1507,22 ha de la reserva presenta una velocidad de infiltración muy lenta, encontrándose presente en geformas de vertientes heterogéneas, coluviones, y relieves colinados medios, caracterizada en pendientes del 5 al 150 % y suelos de textura franco arcillosa, franco arcillo arenosa y franco arenosa (Tabla12). Estos datos confirman el comportamiento de la infiltración para este tipo de combinación de suelo-pendiente, que es descrito y aseverado por Cisneros (2003), que manifiesta que para esta combinación los valores esperados deben ser menores a 1.5 mm/h, con esta consideración se afirma que los valores calculados para la interpretación de la velocidad de infiltración fueron de 0,39 mm/h para el valor más bajo; en tanto que el valor más alto fue de 1,44 mm/h, ambos valores se ubicaron dentro de los rangos considerados para dicha denominación. Relacionando con Morgan, (2010), se afirma que la cobertura vegetal nativa de paramo tiene un aporte significativo en la capacidad de infiltración; puesto que el sistema radicular del pajonal junto con la textura, estructura y densidad aparente del suelo permiten una mayor retención de agua en el suelo. (Morgan, 1997)

Tabla 12.

Categorización de la información para las pruebas de infiltración. Reserva Sabia Esperanza.

Cobertura vegetal	Textura superficial	Materia orgánica	Conductividad hidráulica (mm/h)	Permeabilidad	Área ha	%
Bosque siempre verde	Franco arcilloso	13,84	1,44		464,56	30,82
Arbustal siempre verde	Franco arcilloso	6,85	0,40	Lenta	361,74	24,00
	Franco	12,7	0,82		680,92	45,18
Total general					1507,22	100,00

4.1.4 Evapotranspiración

Se determinó la evapotranspiración de la reserva Sabia Esperanza de acuerdo al método de Thornthwaite y de Hargreaves, estableciendo valores a lo largo del año distribuida de la siguiente manera: (Gráfico 3)

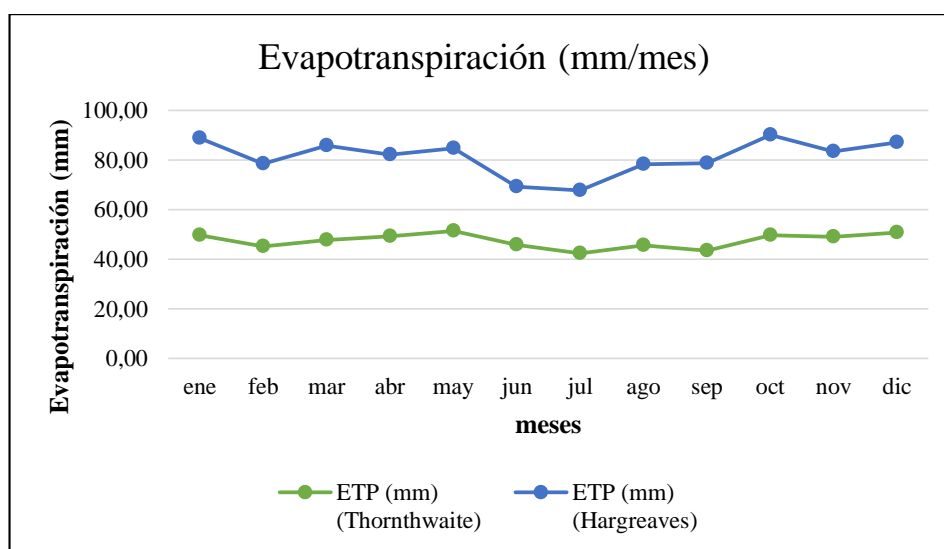


Gráfico 3. Evapotranspiración mensual por los métodos Thornthwaite y Hargreaves

Se puede establecer una diferencia entre los dos métodos, siendo por el método Hargreaves valores más altos de evapotranspiración potencial, tanto diario, mensual y anual, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13.
Valores diarios, mensuales y anuales de Evapotranspiración potencial por los métodos Thornthwaite y Hargreaves

MESES	ETP (mm) (Thornthwaite)		ETP (mm) (Hargreaves)	
	MENSUAL	DIARIO	MENSUAL	DIARIO
Enero	49.71	1.60	88.74	2.86
Febrero	45.14	1.61	78.45	2.80
Marzo	47.81	1.54	85.79	2.77
Abril	49.29	1.64	82.16	2.74
Mayo	51.35	1.66	84.73	2.73
Junio	45.85	1.53	69.23	2.31
Julio	42.35	1.37	67.81	2.19
Agosto	45.49	1.47	78.33	2.53
Septiembre	43.38	1.45	78.74	2.62
Octubre	49.61	1.60	90.05	2.90
Noviembre	48.96	1.63	83.43	2.78
Diciembre	50.83	1.64	87.05	2.81
ETP anual	569.77		974.54	

El cálculo de la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite estimó una evapotranspiración de 569, 77 mm/año, es decir un promedio de 1,56 mm/día, corroborando lo mencionado por Hofstede, (1995) y Buytaert, (2004) que las estimaciones de la evapotranspiración en las zonas parameras están entre 1 y 1,5 mm/día, como consecuencia un gran excedente de agua está disponible para ser evacuado por los ríos que descienden del páramo, por lo que se consideró al método de Thornthwaite para establecer la evapotranspiración de la reserva.

La distribución espacial de la evapotranspiración en la Reserva por el método de Thornthwaite, se presenta en el Anexo 4.

4.1.5 Discusión

Los ecosistemas de páramo son importantes para el servicio ambiental hídrico, haciendo referencia al volumen anual producido para la regulación de caudales, así como en la reserva presenta una precipitación estacional de marzo-mayo y octubre-noviembre de mayor cantidad de lluvia, pero no existe meses secos en todo el año (Gráfico 1), además de tener una baja evapotranspiración, y suelos permanentemente saturados, ricos en materia orgánica, características para obtener altos rendimientos hídricos que se convierten en suministro de agua. El agua proveniente de los páramos se le atribuye muy

buena ya que contiene una baja cantidad de sedimentos, lo cual facilita el tratamiento de potabilización para agua de consumo humano (Celleri, 2009).

En la reserva se determinó un valor de precipitación de 1189,55 mm/año, y valores de evapotranspiración de 569,77 mm/año, es decir un promedio de 1,56 mm/día que es característico de las zonas parameras, cantidad baja de salida dada por las condiciones climáticas y de la fisionomía vegetal presentes en el área, así también, las características de los suelos del área de estudio, son mayormente Andisols (1042,66 ha), se caracterizan por contener elevados contenidos de materia orgánica (> 3 %), que, ayudados por el clima húmedo, frío y la baja presión atmosférica forman complejos organometálicos resistentes a la destrucción microbiana, estos se acumulan en una capa de cenizas homogénea provenientes de erupciones volcánicas del cuaternario (Winckell et al., 1991). Por tanto, estas características hacen que los suelos almacenen cantidades considerables de agua permitiendo la regulación de variabilidad de caudales, dando un uso indirecto de provisión en la época seca (Stolk et al, 2006).

4.2 Disponibilidad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza

Para determinar la cantidad de agua disponible de la Reserva Sabia Esperanza se realizó el cálculo de la escorrentía que produce el área, estableciendo tres métodos: Ecuación simplificada del balance hídrico según UNESCO (1981), mediante el Coeficiente de Esorrentía y por el método número de curva de la Soil Conservation Service (SCS).

4.2.1 Ecuación simplificada del balance hídrico

Aplicando la ecuación simplificada del balance hídrico se obtuvo una producción de esorrentía de acuerdo a la cobertura equivalente a:

Tabla 14.

Valores obtenidos de disponibilidad hídrica, mediante la ecuación simplificada del balance hídrico

Cobertura vegetal	Precipitación media mm/año	Etp (mm/año)	Etr (mm/año)	Q (mm)
Arbustal siempreverde	1196,43	569,77	569,77	626,66
Bosque siempreverde montano alto	1126,13	569,77	569,77	556,36
Herbazal del Paramo	1248,96	569,77	569,77	679,19
Reserva Sabia Esperanza	1189,55	569,77	569,77	619,78

Se puede establecer que la cobertura que genera mayor escorrentía de agua disponible para su uso de acuerdo a este método es el arbustal, debido a que el área de dicha cobertura ocupa el 58% de la reserva. Para toda el área se estableció un valor de disponibilidad hídrica del área protegida de 619 mm/año. (Anexo 5).

4.2.2 Coeficiente de escorrentía

El cálculo de la escorrentía mediante el coeficiente de escurrimiento toma en cuenta ensayos anteriores en los que se determina valores de acuerdo a tipo de cobertura, textura y pendiente. Para el presente estudio los valores de coeficiente se determinaron mediante el método de Benítez, basadas en parcelas experimentales. A continuación, en la Tabla 15 se establece la escorrentía para la Reserva Sabia de acuerdo a la cobertura vegetal y también al área completa.

Tabla 15.

Escorrentía de acuerdo a la cobertura vegetal mediante el método de coeficiente de escorrentía

Cobertura	Textura	Pendiente (%)	*Coeficiente escurrimiento	Área (ha)	Precipitación media (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	
		> 5 – 12	0,30	24,603		10,09	
	Franco	> 12 – 25	0,35	124,731		59,65	
Arbustal siempre verde		> 40 – 70	0,45	278,220	875,57	1 196,43	171,08 488,06
	Franco	> 12 – 25	0,35	206,695			98,85
	arcilloso	>25 – 150	0,45	241,324			148,39
	Franco	> 5 - 25	0,35	48,637			54,35
Bosque siempreverde montano alto		> 70 – 100	0,45	71,875	352,70	1 126,13	103,27 466,84
	Franco	> 25 – 70	0,40	152,783			195,13
	arcilloso	> 100 – 150	0,45	79,403			114,09
		> 5 – 12	0,35	0,504			0,80
	Franco	> 12 – 25	0,40	10,890			19,76
Herbazal del Paramo		> 40 – 100	0,50	118,748	275,34	1 248,96	269,33 563,59
	Franco	> 12 – 25	0,40	122,582			222,42
	arcilloso	> 25 – 40	0,50	22,614			51,29
Reserva Sabia Esperanza			0,42	1 507,22		1 189,55	499,61

*Coeficiente de escorrentía de acuerdo a Benítez

El herbazal de páramo, presenta la mayor cantidad de agua disponible, especialmente en suelo franco con pendientes fuertes, seguido del arbustal siempreverde y el bosque montano alto (Anexo 6). De acuerdo a De Bièvre et al (2006) la capacidad de regulación del agua en estas zonas es casi legendaria entre agricultores y científicos (Hofstede, 1995; Medina y Vásquez, 2001; Poulénard et al., 2001; Harden, 2001; Sarmiento, 2000; Poulénard et al., 2003; Podwojewski et al., 2002; Luteyn, 1992), ya que el sistema de páramo provee de un flujo constante hacia aguas abajo, dándole importancia a la cobertura, pero en especial se atribuye al clima, topografía y en especial al tipo de suelos. Para el área de la reserva la cantidad de agua disponible media es de 499,61 mm/año.

4.2.3 Número de curva SCS

De acuerdo el número de curva del SCS los valores obtenidos como disponibilidad del recurso hídrico en forma de escorrentía se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16.
Escorrentía de acuerdo a la cobertura vegetal mediante el método de número de curva SCS

Cobertura	Textura	Número de curva	S	Q (mm)	Q Cobertura (mm)	Q Reserva (mm)
Arbustal siempre verde	Franco	22,00	900,55	538,85	627,38	
	Franco arcilloso	31,00	565,35	711,87		
Bosque siempreverde montano alto	Franco	30,00	592,67	634,43	723,92	706,37
	Franco arcilloso	40,00	381,00	770,38		
Herbazal del Paramo	Franco	40,00	381,00	885,19	944,33	
	Franco arcilloso	51,00	244,04	997,35		

Se determinó que nuevamente el valor más alto de agua disponible por escorrentía directa es el del herbazal de páramo, en especial en la clase textural franco arcilloso, obteniendo el número de curva más elevado, de acuerdo a los valores propios de la metodología de la SCS como se puede apreciar en el Anexo 7.

De acuerdo a Llambí, (2012), los suelos parameros son los responsables de almacenamiento de la cantidad de agua y regulación del ciclo hidrológico, así como en los bosques andino y vegetación arbustiva paramera, por lo que es mucho más influyente el tipo de suelo (textura, estructura, materia orgánica) que la cobertura en sí. Las cuencas de páramo pueden presentar altos rendimientos hídricos, pero más importante es la regulación hídrica que presentan en todo el año.

El rendimiento hídrico de zonas parameras está establecido entre 60 al 70% de la precipitación de acuerdo a Llambí, (2012) y Buytaert et al citado por Castro, (2011); por lo que, el método del Número de Curva de la SCS es el que más se adapta a esta referencia. Una vez establecido el valor de agua disponible de la Reserva, servirá para la estimación del servicio ecosistémico hídrico de la Reserva Sabia Esperanza, mediante el costo de oportunidad frente a la principal actividad económica. En la Tabla 17 se representan estos valores.

Tabla 17.
Valores de disponibilidad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza en (m³/año)

Cobertura	Q (mm) SCS	Q (m³/año)
Arbustal siempre verde	627,38	5 493 191,63
Bosque siempreverde montano alto	723,92	2 553 262,73
Herbazal del Paramo	944,33	2 600 108,90
Reserva Sabia Esperanza	706,37	10 646 563,27

4.2.4 Discusión

La presencia de ecosistemas de páramo (pajonal, bosque y el matorral siempre verde), en las zonas de estudio, posee una alta importancia en el ciclo hidrológico del páramo a través del abastecimiento y regulación hídrica. Para el abastecimiento de los caudales y el agua que se encuentra directamente disponible de la reserva es de 706,37mm/año o 10646549,91 m³/año, pero esta cantidad de agua podría encontrarse en riesgo, inclusive en su calidad sí se avanza con las actividades antrópicas dentro de la superficie; ya que según Buytaert et al, 2006; citado por Castro, 2010 estos ecosistemas tendrán un alto impacto tanto en la calidad y cantidad de agua sí se considera un cambio del uso del suelo. Por lo tanto, con la finalidad de adoptar mejores decisiones en relación con el uso y manejo de los servicios de los ecosistemas se evalúan su importancia para la sociedad humana (Barrantes, 2001).

Otra de las características principales de la Reserva y que cabe mencionar es que el suelo juega un papel muy importante para la regulación del ciclo hidrológico, ya que en el área de estudio se determinó que la velocidad de infiltración tiene un calificativo muy lenta (0,89 mm/h) categorizada por la USDA, (2006) y adoptada por Cisneros, (2003); puesto que el sistema radicular del pajonal junto con la textura (franco a franco arcilloso), estructura y densidad aparente del suelo permiten una mayor retención de agua en suelo, el cual llega al punto de saturación, disminuyendo la velocidad de la infiltración. (Morgan, 1997), permitiendo un almacenamiento de agua que será distribuido en el tiempo inclusive en períodos de escasa lluvia.

4.3 Valoración del servicio ecosistémico hídrico de la Reserva Sabia Esperanza, mediante el costo de oportunidad frente a la principal actividad económica

4.3.1 Cobertura y uso del suelo

El análisis de uso del suelo corresponde a la microcuenca del Río Verde, se tomó en consideración toda esta microcuenca debido a que presenta influencia directa al río que alimenta la reserva, identificándose usos actuales de páramo, pastizal, vegetación arbustiva, bosque siempre verde con mayores porcentajes. Esta información se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18.
Clasificación de uso de suelo en la Microcuenca del Río Verde, Reserva Sabia Esperanza.

USO DE SUELO	ha	%
Infraestructura antrópica	1,42	0,01
Plantación forestal	11,02	0,08
Área poblada	16,73	0,13
Cuerpo de agua	36,65	0,28
Erial	48,04	0,36
Cultivo	346,45	2,63
Vegetación herbácea	532,68	4,04
Páramo	1052,46	7,98
Pastizal (ganadería)	1628,97	12,35
Vegetación arbustiva	3684,20	27,92
Bosque siempre verde	5835,41	44,23
Total	13194,03	100,00

4.3.2 Producción Agropecuaria

Los principales cultivos en la zona son: papa, tomate de árbol, granadilla, maíz y arveja para autoconsumo y comercialización a pequeña escala. En cuanto a la parte pecuaria, predomina la ganadería extensiva a pequeña y mediana escala y es primordial para la subsistencia de las familias y algunas de las veces es el único ingreso que poseen.

4.3.3 Costo de producción de ganadería extensiva Zona La Floresta

Para el cálculo de los costos de producción de la ganadería extensiva presente en el área de influencia directa de la Reserva, se procedió a levantar fichas (anexo 1) para los

pobladores de la comunidad la Floresta, para determinar los rubros de la actividad, tal como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19.
Costos de producción UB/ha/año de la actividad ganadera en la Reserva Sabia Esperanza.

Costos	Costo/hectárea USD/ha/año
Mano de obra	391,07
Insumos Alimenticios	7,14
Medicamentos	8,57
Mantenimiento	7,14
Otros Gastos	2,86
Total	416,79

Contando con el costo de producción del hato ganadero y la información recabada en las fichas, se procedió a calcular la relación costo benéfico y el costo de producción de un litro de leche por unidad bovina, aplicando la formula citada por Frank (1995), en la cual, el valor del animal entra en un valor promedio de venta de 750,00 USD, para la zona se estableció una vida útil lechera de 5 años con un promedio de 6 litros/día y un costo de producción de 416,79 USD/ha/año, dándonos como resultado un costo de producción de leche diaria de 0,26 USD/l/día, acercándose a lo mencionado por Barragán, (2008), donde el costo de producción de leche para zonas altas de la Sierra Norte en páramos es de 0,29 USD.

4.3.4 Costo de oportunidad

En la Tabla 20, se muestra el análisis económico detallando que a los productores les cuesta 0,26 USD producir un litro de leche diario. El precio de venta estimado es de 0,31 USD el litro, de esta manera se obtiene una ganancia de 0,05 USD/l/día, sin embargo, cada vaca productora en el sitio tiene una producción promedio de 6 l/día por lo que el valor de ingresos es de 1,86 USD/ha/día, gastos de 1,55 USD/ha/día y una ganancia de 0,31 USD/ha/día. Estableciendo de esta manera un costo de oportunidad de 112,11 USD/ha/año, que analizando con los resultados de Castro (2011) obtenidos de cuatro zonas de páramo del Ecuador es de 126,15 USD/ha, el valor obtenido en la presente investigación es menor al valor definido en los caso citados, debido a que el valor de la venta de leche cruda en la comunidad es el mínimo, por la accesibilidad de la zona, poca

cantidad de leche para la venta y que parte de la producción se destina para el autoconsumo, que representa un gasto adicional.

Tabla 20.
Análisis del costo de oportunidad para la producción lechera en la zona la Floresta, Reserva la Esperanza

	Valor monetario USD/l	Producción l/UB/ha/día	Valor diario USD/ha/día	Valor anual USD/ha/año
Costo	*0,26		1,55	566,79
Ingreso	**0,31	6	1,86	678,90
Ganancia	0,05		0,31	121,11
* Costo UB/l/ha/año calculado mediante la fórmula de Frank				
** Ingreso por venta de leche o elaboración de queso				

4.3.5 Valor de productividad hídrica

Para el cálculo se tomó el valor referencial del índice de Protección Hidrológica de 0,79, que es el resultado de los índices promediados de los páramos herbáceos de cuatro microcuencas abastecedoras de agua caso de estudio Loja (NCI et al., 2007). El valor económico por productividad hídrica total de la Reserva Sabia Esperanza se determinó mediante el producto del índice de Protección Hidrológica, Costo de Oportunidad de la actividad ganadera y el área de la Reserva, para el volumen de agua captada en el área, dando un valor de 133494,78 USD/año, y el valor por hectárea es de 88,57 USD/ha/año. Esto equivale a un valor de 0,013USD/m³.

4.3.6 Discusión

Para la valoración del recurso hídrico es necesario el cálculo del costo de oportunidad definido por Barragan; debido a que el servicio de provisión de agua se expresa como un flujo anual (\$/ha/año), considerando los ingresos totales anuales de la actividad ganadera de la zona y los costos de producción necesarios. El valor de la productividad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza es de 88,57 USD/ha y representa el monto a pagar por hectárea en el año, para conservar y restaurar el bosque, páramo o matorral a cambio de no avanzar la frontera agropecuaria (Castro, 2011). De esta manera, asumimos que las 1507,22 ha representan un valor económico por productividad hídrica total de los diferentes ecosistemas de la Reserva, obteniendo un valor de 133494,78 USD por año.

Esto equivale a un valor de 0,013 dólares por cada metro cúbico que el área protegida genera.

Por lo anterior, el costo de oportunidad es una metodología legítima para valorar económicamente el componente de captación hídrica de los ecosistemas parameros y de otros servicios ambientales de importancia económica reconocida. Esta valoración reconoce la necesidad de tener un indicador económico de la productividad del ecosistema de páramo, considerando como una actividad económica tan rentable como la que se deja de ejecutar o se pretende extender y se transformen los dueños de las tierras como parte de la producción de servicios ambientales reconocidos y pagados por la sociedad (Castro y Barrantes, 1998).

De acuerdo a los valores determinados, se puede establecer que mayores ingresos puede generar la Reserva Sabia Esperanza en la protección y conservación de sus ecosistemas para la productividad hídrica, que para ser reemplazado por una actividad ganadera característica de la zona, así como manifiesta Barrantes (2006) en la economía de los recursos naturales, solo es justificable cambiar el uso del suelo que está ocupado por bosques u otros ecosistemas a otros usos de origen antrópico, sí la actividad productiva genera mayores ingresos anuales que los ingresos por servicios ambientales que ofrece.

Valorar la productividad hídrica de acuerdo al costo de oportunidad resulta más efectivo y menos subjetivo que la valoración del servicio hídrico basado en la disposición al pago (Muñoz-Piña et al, 2008 citado por Castro, 2010), y esta valoración permite tener sustento de juicio para la toma de decisiones en cuanto al manejo de la reserva protegida como principal área de abastecimiento de servicios y bienes ambientales aguas abajo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En la Reserva Sabia Esperanza se determinaron tres tipos de ecosistemas, característicos de las zonas alto andinas (Bosque montano alto, arbustal y herbazal de páramo), formaciones que resultan importantes en la regulación hídrica, pero además como elemento determinante en este proceso de regulación es el suelo, debido a sus propiedades físicas.

En el área de estudio se determinó una precipitación anual media de 1189,55 mm, la velocidad de infiltración en el suelo fue de 0,89 mm/h, correspondiente a muy lenta, de acuerdo a la USDA, y una evapotranspiración 569,77 mm/año, es decir un promedio de 1,56 mm/día

La disponibilidad hídrica total de la Reserva Sabia Esperanza es de 706,37 mm/año o 10 646 563,27 m³/año; tomando en cuenta que el rendimiento hídrico de zonas parameras se encuentran entre 60 al 70% de la precipitación de acuerdo a Llambí (2012) y Buytaert et al citado por Castro, (2011). El método que más se adoptó para determinar la disponibilidad hídrica fue la de Número de Curva de la SCS.

La cobertura con mayor cantidad de agua disponible fue para el herbazal de páramo con 944,33 mm/año; seguido por el bosque siempreverde montano alto con 723,92 mm/año y por último el arbustal siempre verde con 627,38 mm/año, coincidiendo con Izurieta, (2004), que los herbazales de páramos son almohadas que retienen el agua y proveen de un flujo constante hacia aguas abajo, dándole importancia a la cobertura, pero en especial se atribuye al clima, topografía y en especial al tipo de suelos.

El valor de productividad hídrica de los ecosistemas de la Reserva (pajonal, bosque y el matorral siempre verde) de acuerdo a una producción anual de 706,37 mm es de 133494,78 USD/año, es decir que por cada metro cúbico producido en el área de estudio que no es reemplazada por la actividad económica aledaña, debe de haber una retribución de 0,013 USD, en cambio el costo de oportunidad asociado con la ganadería extensiva

que predomina aguas abajo y que compite con el uso del suelo natural del ecosistema de páramo, es de 112,11 USD/ha/año.

Con los valores obtenidos, se puede obtener mayores ingresos por el servicio de productividad hídrica de la Reserva Sabia Esperanza, que para ser reemplazado por una actividad ganadera extensiva característica de la zona.

5.2 RECOMENDACIONES

Utilizar la propuesta planteada en la investigación como un mecanismo de gestión para el manejo sostenible de los ecosistemas reguladores del agua y de sus funciones relacionadas con la generación de servicios ecosistémicos o también como un rubro para establecer valores para el cobro de servicio de agua.

Para establecer un incentivo económico a manera de Pago por el Servicio Ecosistémico Hídrico, es primordial y obligatorio tener en consideración algunos aspectos como por ejemplo, la aplicación y cumplimiento de leyes, tales como el decreto de legislación creados por MAE; la investigación y valoración de los ecosistemas de la Reserva; y la búsqueda de recursos financieros para la implementación de un esquema de PSE en la subcuenca para que la población pueda cambiar de pensamiento y adopte estas estrategias económicas.

Se debe ahondar en la comprensión sobre cómo los diferentes tipos y niveles de intervención (agricultura y ganadería) afectan a los ecosistemas y su funcionamiento en escalas mayores de cuencas hídricas sobre todo en la consecuencia que lleva el aumento de la frontera agrícola. También se debería conocer si existen prácticas alternativas que permiten mantener actividades económicas y opciones que beneficien a los pobladores locales, al mismo tiempo que no se genera una mayor afectación en éstas, adoptando medidas de conservación para generar beneficios directos a los agricultores y también puede traer beneficios hidrológicos a las zonas bajas.

Realizar un estudio de demanda y de disponibilidad de pago que contemple la posibilidad de cubrir los costos relacionados con la oferta del servicio ecosistémico de provisión y regulación del recurso hídrico, a través de la participación directa de los beneficiarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., & Martínez, E. (2010). *Agua, Un derecho humano fundamental*, Quito, Ecuador: Ediciones Abya-Yala.
- Álvarez, J. (2011). *Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geostatísticos*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid
- Alvear, R., De Bièvre, B., & Iñiguez, V. (2004). *Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo*, Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Allen, R. (2001). *Manual de Ref-ET, Reference evapotranspiration calculation for FAO and ASCE standardize equations*, Version 2,00 for Windows, University of Idaho, Kimberly.
- Allen, R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). Food & Agriculture Org.
- Amancha, E. (2015). *Determinación de la permeabilidad de los suelos basados en la metodología del infiltrómetro de mini disco en la zona de Yanahurco, Napo* (Tesis de pregrado) Universidad Central del Ecuador.
- Asensio, S. I., Ramón, H. M., & Blanquer, J. M. G. (2011). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía*.
- Barragán, C. (2008). *Base de Datos de las Encuestas Socioeconómicas del Proyecto Páramo Andino PPA. Eco-Ciencia. Documento Interno*.
- Barrantes, G. (2006). Valoración económica de la oferta de agua como un servicio ambiental estratégico. *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests, Springer*.
- Bastidas, C. (2012). *Manual para el uso del modelo hidrológico HEC-HMS*: Departamento Ingeniería Hidrometeorológica, Facultad de Ingeniería, p 20.

- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos, *Earth-Science Reviews* , 53-72.
- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., De Bievre, B., & Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of hydrology* , 329(3), 413-421.
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2010). *Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad*. Descargado de ftp://ftp. ciat. cgiar. org/.../HIDROLOGIA_DEL_PARAMO en octubre.
- Camacho, M. (2014). *Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible*, In ANALES (Vol, 372, No, 1, pp, 77-92).
- Camargo, E, S., Carreño, J, A., & Barón, E, M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano/Regulating ecosystem services: trends and impact on human welfare. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* , 3 (1)-77.
- Castro, E., Barrantes G. (1998). *Valoración económico ecológico del recurso hídrico en la cuenca Arenal: El agua un flujo permanente de ingreso*. Heredia, Costa Rica.
- Castro, M. (2009). *Valoración Económica del Agua de los Bofedales Secundarios de las Lagunas Negras de Jimbura, Nudo de Sabanilla*: EcoCiencia, MAE, Quito, Ecuador.
- Castro, M. (2010). *Valoración Económica del Almacenamiento de Agua y Carbono en Bofedales Paramunos Ecuatorianos*, Quito, Ecuador: EcoCiencia, MAE.
- Castro, M. (2011). *Proyecto Creación de capacidades para la valoración socioeconómica de los Humedales Altoandinos Experiencia en dos sitios piloto: Oña-Nabón-Saraguro- Yacuambi y Frente Sur Occidental de Tungurahua*. Eco-Ciencia. 54 p.
- Castro, M. (2011). *Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los páramos ecuatorianos-la experiencia en Oña-Nabón-*

Saraguro-Yacuambi y el Frente Suroccidental de Tungurahua.
EcoCiencia. *Wetlands International/UTPL/MAE. Quito: Integraf.*

Celleri R. (2009). *Estado del conocimiento técnico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos: lecciones desde los Andes.* Síntesis Regional CONDESAN.

Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje.* Potosí, Bolivia: Universidad Autónoma San Luis de Potosí.

Clemente, M., Rodrigo, C., Sosa Ramírez, J., Maass Moreno, M., Ruíz, L., de Jesús, J & Flores Ancira, E. (2015). Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 17-26.

Colmet-Daage, F., Cucalon, F., Delaune, M., Gautheyrou, J., Gautheyrou, M. and Moreau, B. (1967). *Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. II. Conditions de formation et d'évolution.* Cahiers ORSTOM, série Pédologie, 5: 353–392.

Constituyente, E, A. (2008). *Constitución de la República del Ecuador.*

De Bièvre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2006). *Hidrología del páramo. Importancia, propiedades y vulnerabilidad.* *Investigaciones Biofísicas en el Páramo.* (21).

De Recursos Hídricos, L, O. (2014). *Usos y aprovechamiento del Agua.* Derechos de la Naturaleza, Conservación del Agua, Quito.

De Viébre, B., & Acosta, L. (2012). *Ecosistemas altoandinos, cuencas y regulación hídrica,* High Andean Ecosystems, River Basins and Water Regulation, Área de Cuencas Andinas/Área of the Andean Basins, CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión Andina).

De, L, F, Y. (2005). *Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.*

Decagon Devices. (2012). *Infiltrometer Mini disc, User's Manual Version 10.* 2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163.

- Díaz, G., Sánchez, I., Quiroz, R., Garatuza, J., Watts, C., & Cruz, I. R. (2008). Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 279-287.
- Duarte, G., & Mónica, C. (1998). *Impacto hidrológico económico de la destrucción de bosques nublados latifoliados maduros*.
- ECOLAP & MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador, Parque Nacional Cajas*, ECOFUND, FAN, IGM.
- Estrela, T. (1992). *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos*, Centro de Estudios Hidrográficos,- Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España, 52 p.
- FAO. (2016). Proteger los servicios ecosistémicos y la biodiversidad: la misión y las soluciones de la FAO. *Artículo divulgativo*, p, 10.
- Fernández García, F. (1995). *Manual de Climatología Aplicada*, Clima, Medio Ambiente y Planificación, Editorial Síntesis.
- Forero Carreño, D. L. (2015). *Aplicación de la herramienta Modelbuilder de Arcgis, para calcular el valor ponderado del número de curva en una Cuenca*.
- Franek, A., Koncagul, E., Connor, R., & Hunziker, D. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015, Agua para un mundo sostenible, Datos y cifras*, Perusa, Italia: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, División de Ciencias del Agua, UNESCO.
- Frank, R. (1995). *Introducción al cálculo de costos agropecuarios*. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. Argentina.
- Frank, R. (1995). *Introducción al cálculo de costos agropecuarios*. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. Argentina.
- Hämmerly, R. D. C. (2011). *Modelación de la evapotranspiración con métodos de balance de agua*. Universidad del Litoral.

- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los Paramos Andinos, ¿Que sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climatico en el ecosistema paramo*, UICN, Quito, Ecuador.
- Hufty, A. (1984). *Introducción a la Climatología*, Ed, Ariel, S, A, Barcelona, 292 p.
- IEE, Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). *Cartografía temática escala 1:25000 de la Cuenca del Río Mira*. Quito – Ecuador.
- IEE, Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). *Memoria técnica de Sistemas Productivos del cantón Espejo*. Quito – Ecuador.
- INM, Instituto Nacional de Meteorología. (1982). *Guía resumida del clima en España*, INM, Madrid, 52 p.
- Ixmatá, G., & Manuel, Z. (2003). *Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras*.
- Labbate, G. (1997). *Valuación Económica del Recurso Suelo Bajo Condiciones de Cambio Tecnológico, El Caso de Pergamino, Argentina, Buenos Aires. Argentina Granero del Mundo Hasta Cuándo?* p, 29.
- Llambí, L. D. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino*. Proyecto Páramo Andino.
- Llambí, L. D. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino*. Proyecto Páramo Andino.
- Mendoza, M., Bocco, G., López Granados, E., & Bravo, M. (2002). *Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. Investigaciones geográficas*. (49), 92-117.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental, Subsecretaría de Patrimonio Natural*, Quito.
- Moreno Izquierdo, V, J. (2012). *Fertilidad de los Suelos a través de la Regionalización de Variables Edafológicas mediante Herramientas Geoestadísticas, en Seis*

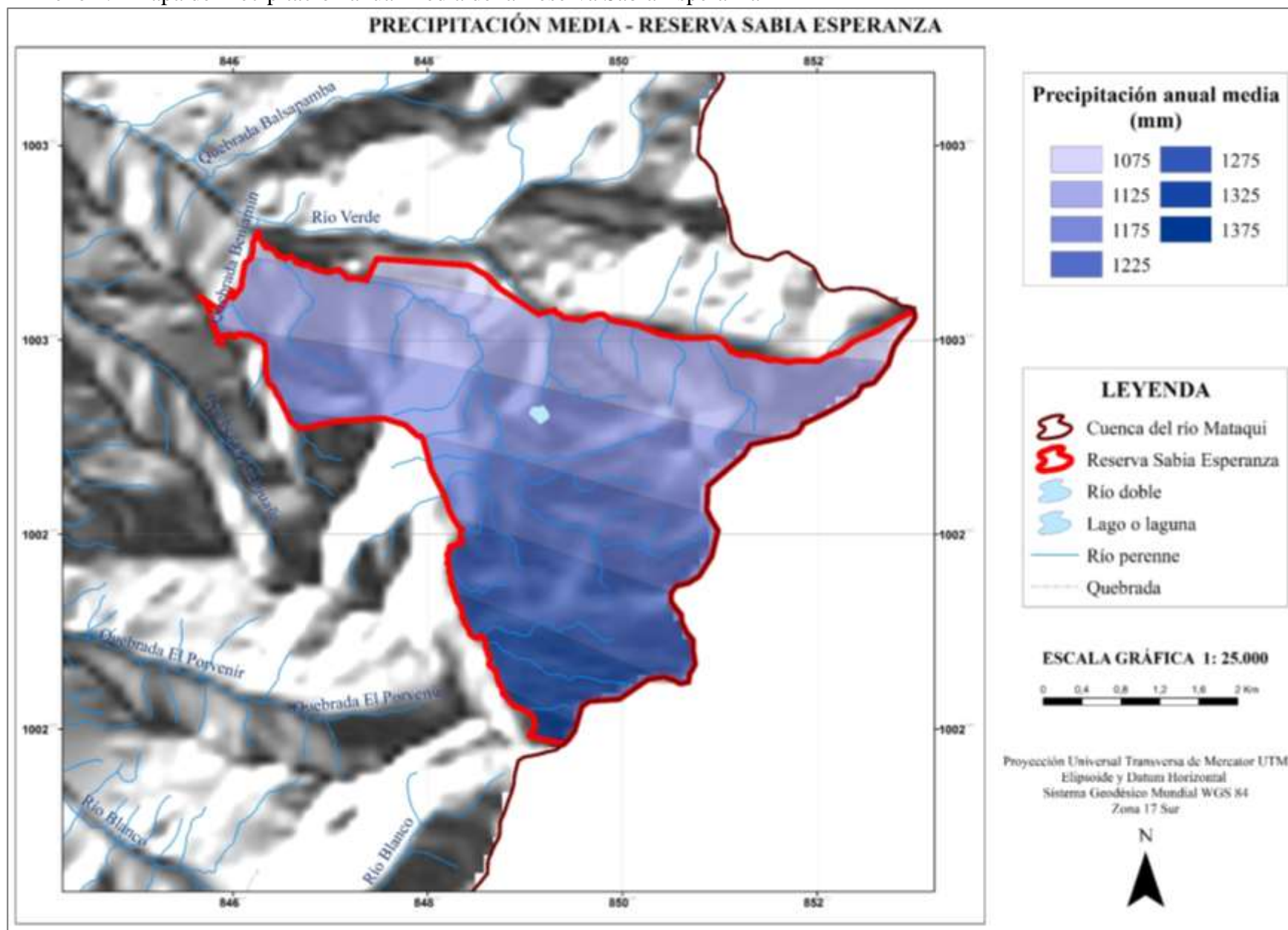
- Cantones del Ecuador* (Tesis de maestría). Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- Morgan, C. (1997). *Erosión y conservación del suelo*. Madrid, España: Mundi-Press.
- Nanzyo, M., Shoji, S. and Dahlgren, R. (1993). Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilisation. *Developments in Soil Science* N_21 . Elsevier, Amsterdam, 288 pp.
- NCI, CEDERENA y EcoDecisión. (2007). *Creación de un Sistema Financiero y Económico para la conservación del Agua en Loja y Zamora Chinchipe*. Loja.
- Nieto, S, P., Castillo, L, A, I., Monterrosas, J, L, L, A., Reynoso, D, S, F., & Morales, J, C. (2016). Curvas de escurrimiento para tres microcuencas de la cuenca Huixtla, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1729-1742.
- Paspuel Malte, V. (2009). *Valoración económica del servicio ambiental hídrico: estudio de caso del abastecimiento de agua de la ciudad de Tulcán*. (Tesis de maestría). FLACSO sede Ecuador. Ecuador.
- Penna, J, A., & Cristeche, E. (2008). *Métodos de valoración económica de los servicios ambientales*, Argentina : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Perez-Verdin, G., Sanjurjo-Rivera, E., Galicia, L., Hernandez-Diaz, J, C., Hernandez-Trejo, V., & Marquez-Linares, M, A. (2016). Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. *Ecosystem Services*, Volume 21, p, 6-19.
- Pezo, D; Ibrahim M; Beer, J; Camero, L. (1999). *Oportunidades para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en América Central*. CATIE (serie técnica. Informe técnico/CATIE No. 311). Turrialba, Costa Rica. 46 pp.
- Pladeyra. (2003). *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala*, México.
- Porras, I. (2003). Valorando los Servicios Ambientales de Protección de Cuencas: consideraciones metodológicas. *International Institute for Environment and Development (IIED)*, Presentado en el III Congreso Latinoamericano de Protección de Cuencas Arequipa, p, 15.

- Portalés, C., Boronat-Zarceño, N., Pardo-Pascual, J, E., & Balaguer-Beser, A. (2006). *Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y topográficas del territorio*, Valencia, España.
- Poulenard, J., Podwojewski, P. and Herbillon, A. J. (2003). Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117: 267–281.
- Pule, E. (2016). *Estudio de balance hídrico en plantaciones forestales y pasturas, sector Preñadillas, cantón Espejo, Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ecuador
- Sánchez García, M, A. (2017). *Propuesta de plan de manejo para el área de conservación privada “estudio de caso reserva sabia esperanza” parroquia San Francisco de Sigsipamba, cantón Pimampiro, provincia de Imbabura*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.
- Sánchez, F. (2001). *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves*.
- Schirpke U., Kohler M., Leitinger G., Fontana V., Tasser E, & Tappeiner U. (2017). Future impacts of changing land-use and climate on ecosystem services of mountain grassland and their resilience. *Ecosystem Services*, Volume 26, 2017, Pages 79-94.
- Secretaría General de la Comunidad Andina, Lecaros, G., & Estremadoyro, A. V. (2008). *Manual de estadísticas ambientales Andinas*. Relaidades SA.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*.
- SIGTIERRAS. (2015). *Memoria técnica de Geopedología del cantón Pimampiro*. Quito – Ecuador.
- SIGTIERRAS. (2015). *Cartografía temática escala 1:25000 del cantón Pimampiro*. Quito – Ecuador.

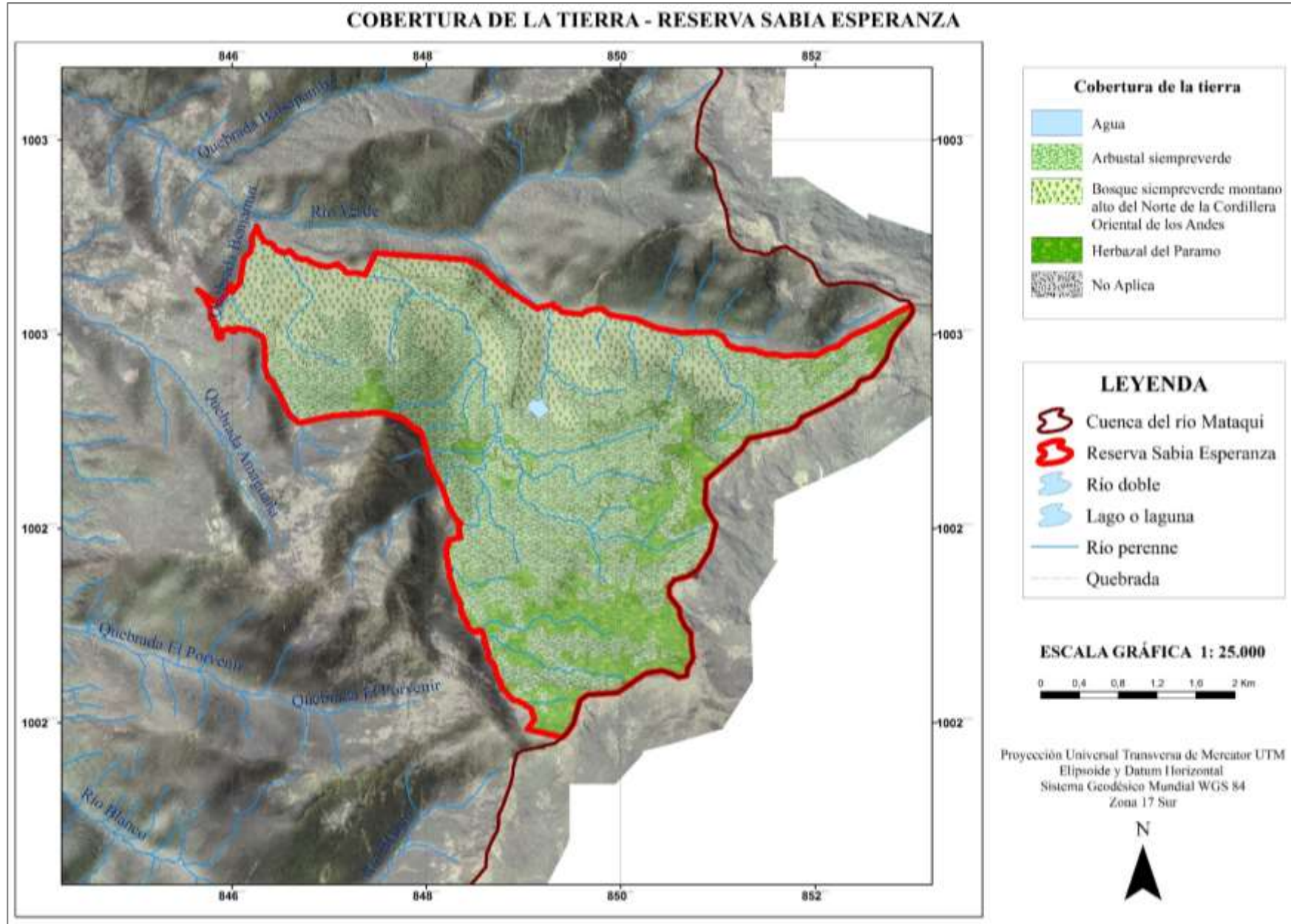
- Silva-Hidalgo, H., Aldama, A., Martín-Domínguez, I., & Alarcón-Herrera, M. (2013). Metodología para la determinación de disponibilidad y déficit de agua superficial en cuencas hidrológicas: aplicación al caso de la normativa mexicana. *Tecnología y ciencias del agua*, 4 (1), 27-50.
- Sokolov, A., & Chapman, T. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico: guía internacional de investigación y método*. UNESCO.
- Stolk M., Verweij P.A., Stuij M., Baker C.J. y W. Oosterberg. (2006). *Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe*. Wetlands International. Los Países Bajos.
- Taboada Castro, M, M., Lado Liñares, M., Diéguez Villar, A., & Paz González, A. (1999). *Evolución temporal de la infiltración superficial a escala de parcela*.
- Thornthwaite, C, W, & Mather, J, R. (1955) *The Water Balance, Climatology*, 8(1), Lab, of Climate Center, N, Y.
- Tomasini, D. (2014). Bases económicas para el manejo de los recursos naturales, México. *Memorias para el IV Curso sobre Desertificación y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe, Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo*, p, 35.
- Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). *Evapotranspiracion. Et. Potencial y Et de referencia*.
- Winckell, A. (1997). *Los paisajes naturales del Ecuador: las regiones y paisajes del Ecuador*. CEDIG, IPGH, ORSTOM, IGM. Quito, 416-p.mapa esc. 1:1.000.000.)
- Winckell, A., Zebrowski, C. and Delaune, M., 1991. évolution de modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'équateur. *Géodynamique*, 6: 97–117.
- Zapata, X. (s.f.). *3, Intercambio de agua y energía*, Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Zehetner, F., Miller, W. P. and West, L. T. (2003). *Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador*. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1797–1809.

ANEXOS

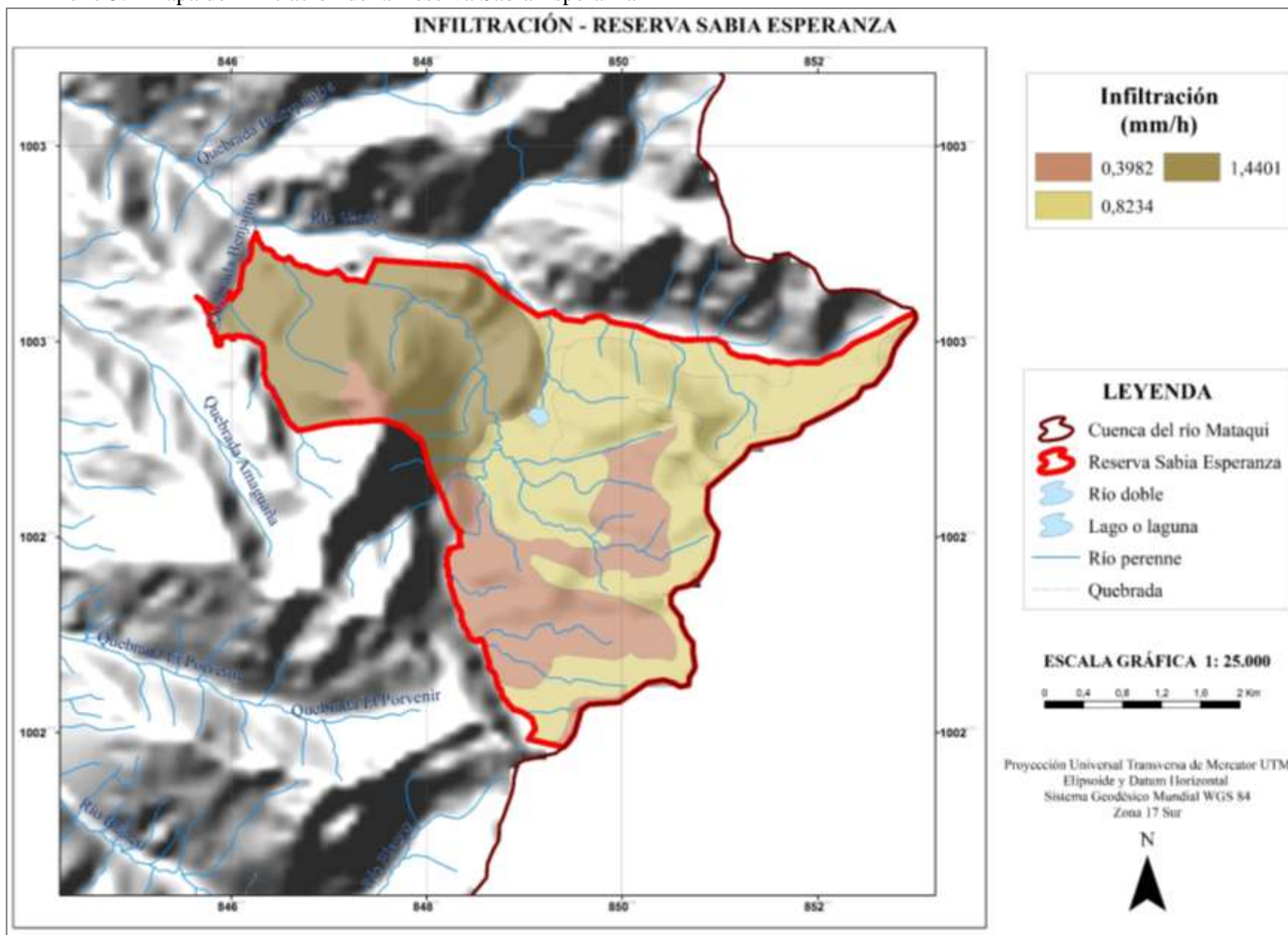
Anexo 1. Mapa de Precipitación anual media de la Reserva Sabia Esperanza



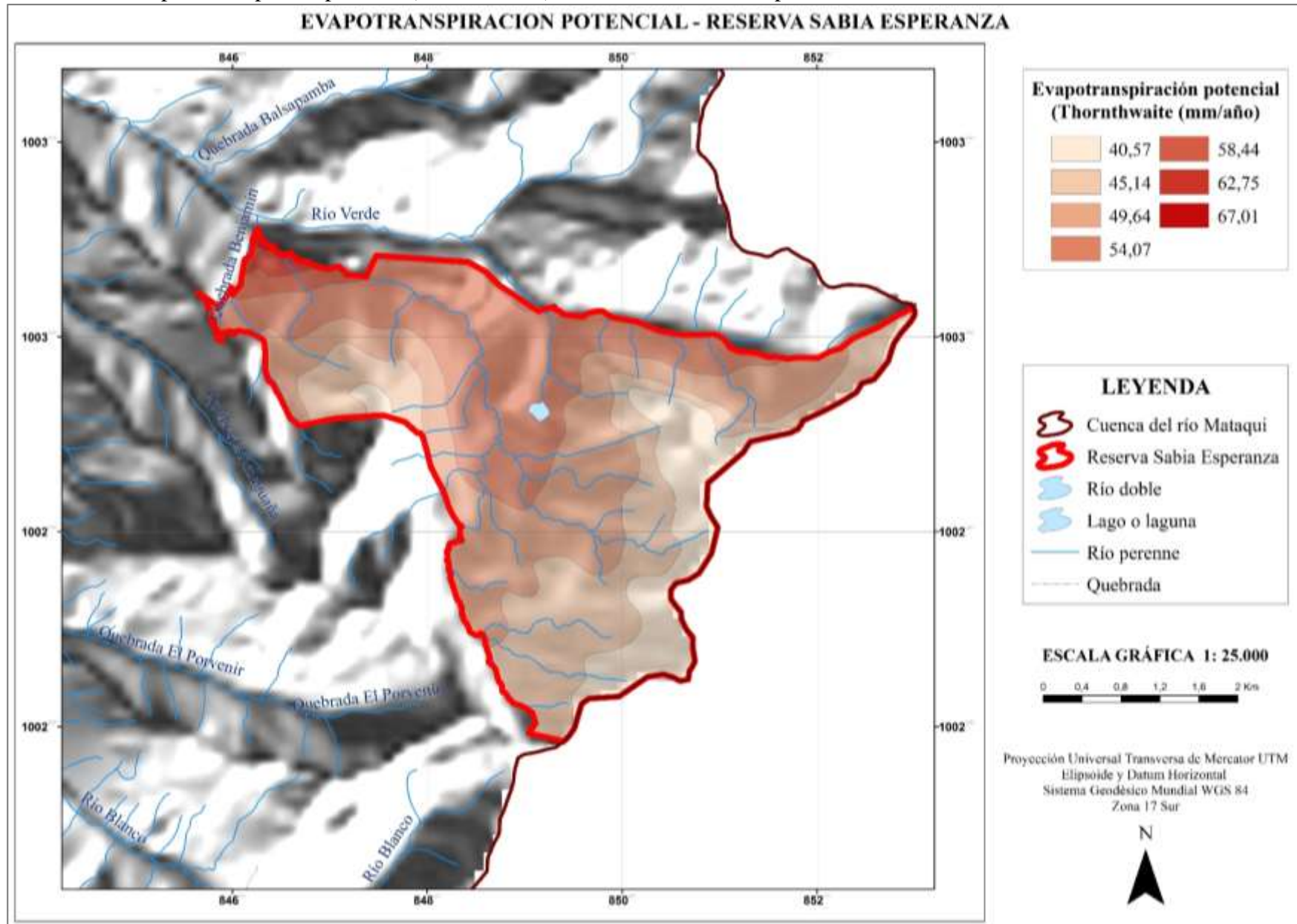
Anexo 2. Mapa de Cobertura de la tierra de la Reserva Sabia Esperanza



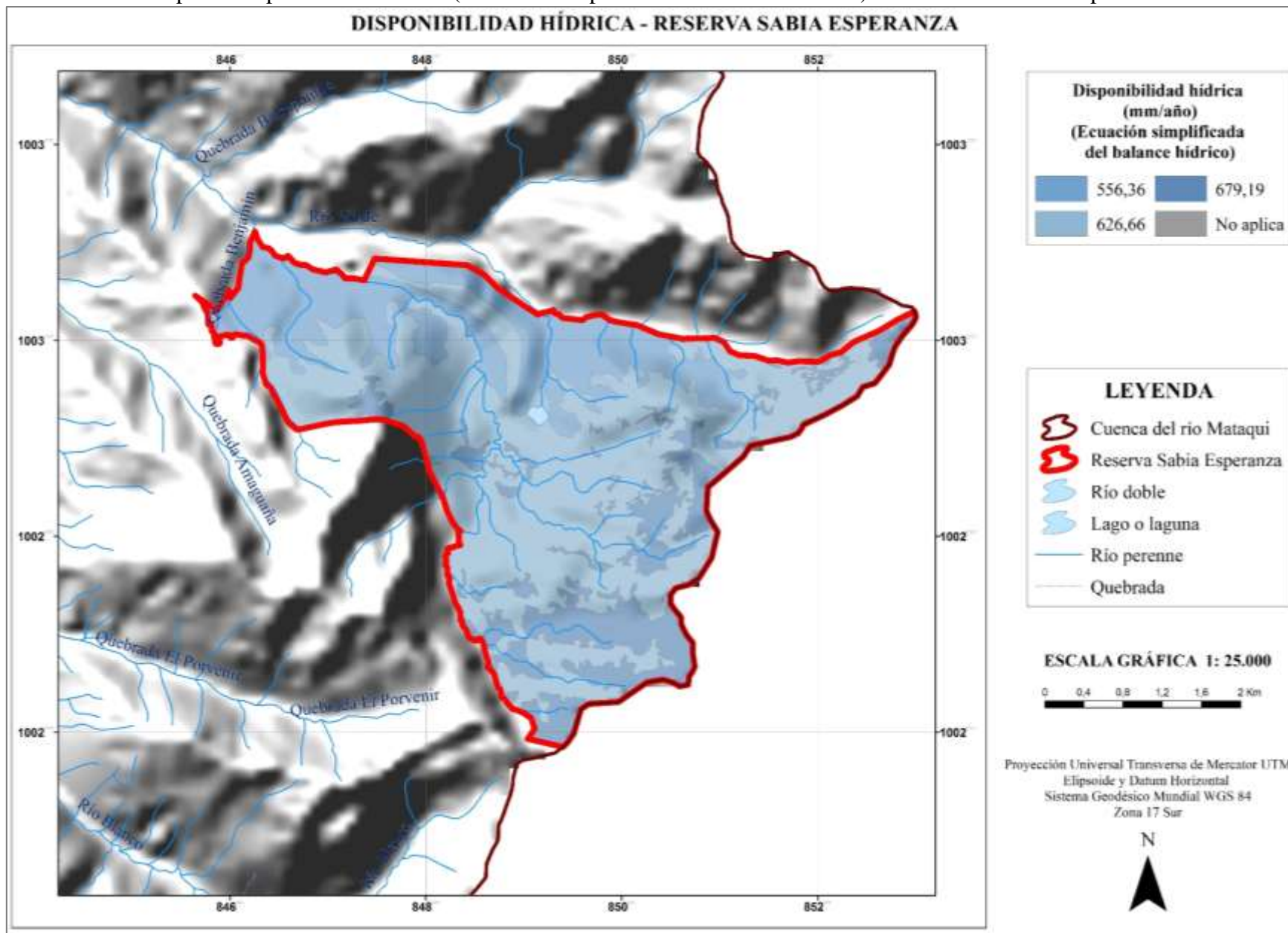
Anexo 3. Mapa de Infiltración de la Reserva Sabia Esperanza



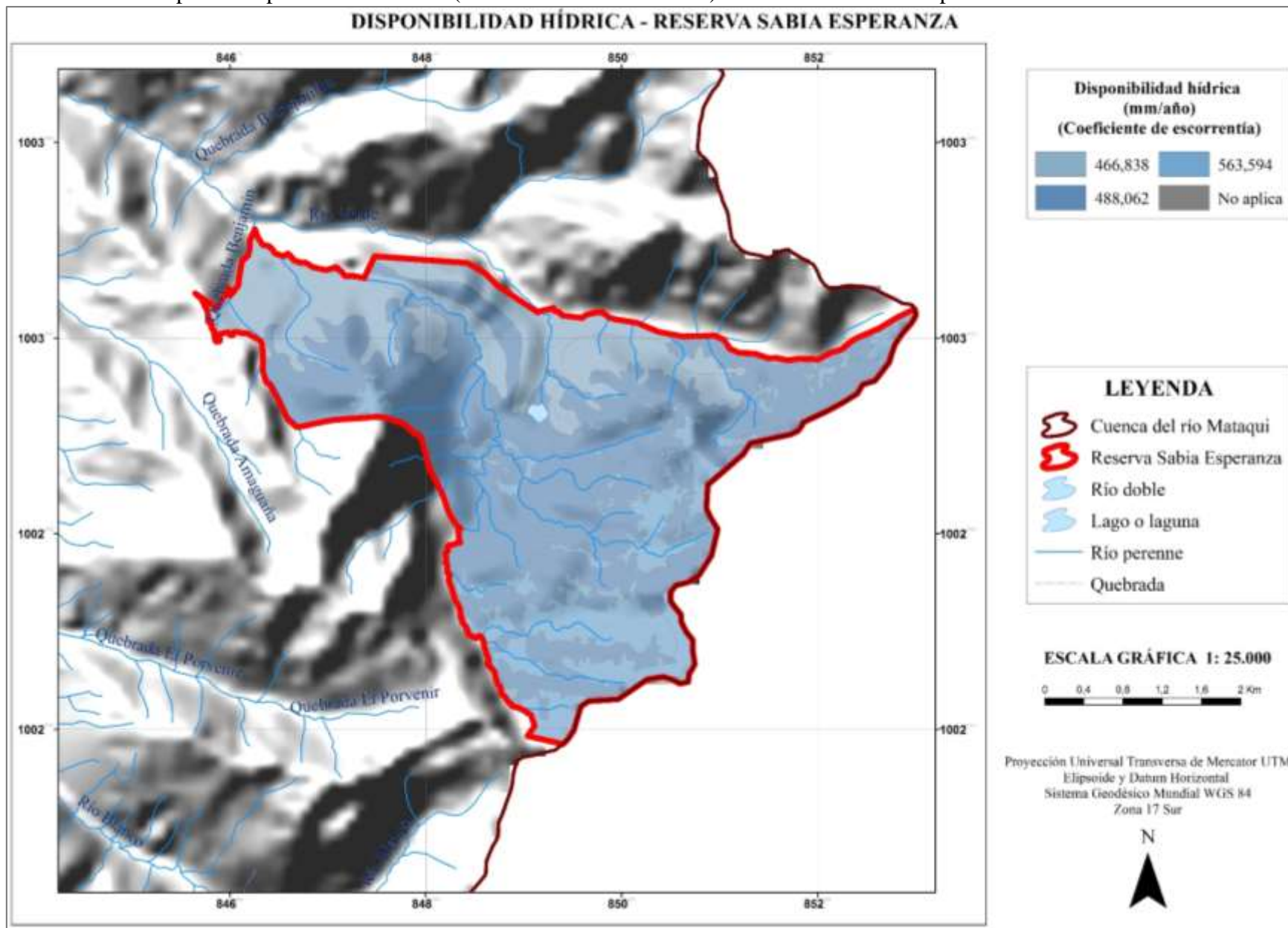
Anexo 4. Mapa de Evapotranspiración (Thornthwaite) de la Reserva Sabia Esperanza



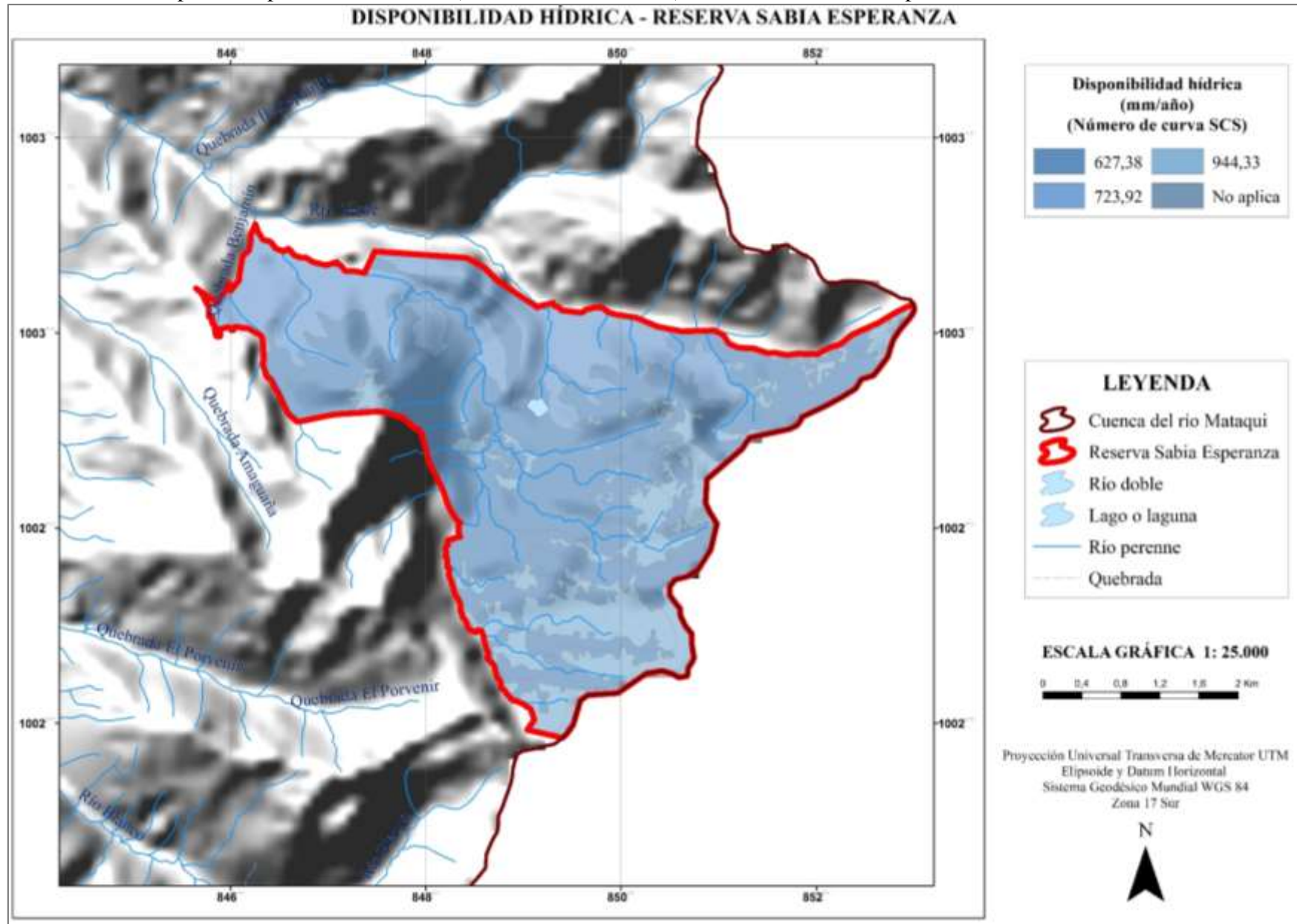
Anexo 5. Mapa de Disponibilidad hídrica (Ecuación simplificada del balance hídrico) de la Reserva Sabia Esperanza



Anexo 6. Mapa de Disponibilidad hídrica (Coeficiente de escorrentía) de la Reserva Sabia Esperanza



Anexo 7. Mapa de Disponibilidad hídrica (Número de curva SCS) de la Reserva Sabia Esperanza



Anexo 8. Ficha de levantamiento de información agro-productiva



“VALORACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA RESERVA SABIA ESPERANZA, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ”




FICHA DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO ADAPTADA DE IEE											
I INFORMACIÓN GENERAL											
Cod. Ficha:							Fecha:				
Ubicación Geográfica					Identificación						
Jurisdicción		Nombre			Nombre del Predio		Superf. Total				
Provincia											
Cantón					Nombre del Propietario						
Parroquia					Nombre del Arrendatario						
Sector o Caserío, Recinto.					Nombre del Administrador						
Coordenadas (UTM)		X			Encuestado						
		Y									
		Altitud									
II PRODUCCIÓN AGRÍCOLA											
A1. Uso de la Tierra											
Tipo de uso		Principales Productos			VALOR DE VENTA \$/UNIDAD/AÑO		Superficie (m2 o ha)				
Agrícola		a) <input type="checkbox"/>									
		b) <input type="checkbox"/>									
		c) <input type="checkbox"/>									
Pastos		<input type="checkbox"/>									
Bosques		<input type="checkbox"/>									
Otros		<input type="checkbox"/>									
Cuál es su principal actividad económica?											
A2. Tipo de semilla					B3. Registro Contable						
Qué tipo de semilla utiliza?		Certificada y Registrada <input type="checkbox"/>	Certificada <input type="checkbox"/>	Seleccionada <input type="checkbox"/>		Tiene un registro contable?					
						SI <input type="checkbox"/>	Permanente <input type="checkbox"/>	Ocasional <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
A3. Manejo del Cultivo					C1. Rotación de cultivos						
Qué tipos de productos utiliza para el manejo del cultivo?		Químicos y Orgánicos <input type="checkbox"/>	Químicos <input type="checkbox"/>	Orgánicos <input type="checkbox"/>		Realiza rotación de cultivos?					
						SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	LAS DOS <input type="checkbox"/>			
						(Extensiva)	(Intensiva)	(Extensiva e Intensiva)			
A4. Tipo de Maquinaria/Régimen de Tenencia					C2. Transporte						
Qué tipo de herramientas utiliza?		Propio <input type="checkbox"/>	Alquilado <input type="checkbox"/>	Propio y Alquilado <input type="checkbox"/>		Que tipo de transporte utiliza para comercializar sus productos?					
Maquinaria (Tractor)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Ninguno <input type="checkbox"/>	Propio <input type="checkbox"/>	Alquilado <input type="checkbox"/>	Ambos <input type="checkbox"/>		
Yunta		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Manual		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Otros		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
A5. Riego					C3. Destino de la Producción						
Goteo <input type="checkbox"/>	Aspersión <input type="checkbox"/>	Bombeo <input type="checkbox"/>	Gravedad <input type="checkbox"/>	No dispone <input type="checkbox"/>	A qué mercados destina su producción?						
Otros <input type="checkbox"/>					Mercados	Producto					
					Internacional						
					Nacional						
					Provincial						
					Local						
					Autoconsumo						
B1. Tipo de mano de obra					B2. Asistencia y Capacitación Técnica						
Tipo		Permanente <input type="checkbox"/>	Ocasional <input type="checkbox"/>	Los dos <input type="checkbox"/>		Recibe asistencia y capacitación técnica?					
Asalariada		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Institución			
Familiar y prestamano		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
					Cuántas asistencias técnicas recibió el año anterior?						
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	>3 <input type="checkbox"/>								

III. PRODUCCIÓN PECUARIA											
A. TIPO DE PASTURA											
A1. Tipo de forraje		A2. Tipo de semilla		A3. Manejo de fertilización		A4. Riego		A5. Manejo pastura			
Qué tipo de forraje posee?		Qué tipo de semilla utiliza <input type="checkbox"/>		Cuántas veces fertiliza al año?		Dispone de agua de riego SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Realiza rotación de pastura			
Pastura sola <input type="checkbox"/>		Certificada y registrada <input type="checkbox"/>		1 ó 2 vacas <input type="checkbox"/>		Fuente: pública <input type="checkbox"/> privada <input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/>			
Mezcla forrajera <input type="checkbox"/>		Seleccionada <input type="checkbox"/>		más de 2 vacas <input type="checkbox"/>		Tipo: <input type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>			
Pasto natural mejorado <input type="checkbox"/>						Aspersión <input type="checkbox"/> Gravedad <input type="checkbox"/>		Conque frecuencia?			
						Combinada <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>					
A6. Tipo de obra				A7. Manejo sanitario			A8. Uso de registros				
Permanente		Ocasional		Las dos		Cuenta con servicio de un		Vacunación		Maneja registros?	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Prof privado <input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Asalariado						Pública <input type="checkbox"/> Privada <input type="checkbox"/>		Prof estatal <input type="checkbox"/>		Qué tipo?	
Familiar						Fija <input type="checkbox"/> Ocasional <input type="checkbox"/>		Qué tipo de vacun aplica?			
Prestamano											
B. PRODUCCIÓN											
B1. Rendimiento				B2. Número y tipo de animales		B3. Tipo de comercialización		B4. Destino			
Leche		Came		Carga Animal (UB/ha)		En donde vende su producción?					
Precio USD/l		Precio USD/kg				En el sitio <input type="checkbox"/>		Industria <input type="checkbox"/>			
Producción (l/v/d): cuantos?		Promedio de edad		Toros <input type="checkbox"/> Fierro <input type="checkbox"/>		Fuera del sitio <input type="checkbox"/>		Comerciang <input type="checkbox"/>			
1 hasta 5 <input type="checkbox"/>		Edad: hasta 18 meses <input type="checkbox"/>		Vacas <input type="checkbox"/> Medias <input type="checkbox"/>		V. vientres <input type="checkbox"/> Femeros <input type="checkbox"/>		Feria de ganado <input type="checkbox"/>			
6 hasta 15 <input type="checkbox"/>		Más de 18 <input type="checkbox"/>				Productor		Industria propia <input type="checkbox"/>			
más de 16 <input type="checkbox"/>		Para la venta en kg: <input type="checkbox"/>									
IV. INFORMACIÓN SOCIAL											
D. Crédito.				E. Tenencia de la Tierra		F. Tamaño de la propiedad					
Tiene crédito		1. Si <input type="checkbox"/>		2. NO <input type="checkbox"/>				Ha		Cuadras	
1. BNF						1. Propia		1. Pequeñas			
2. Banco Privado						2. Herencia		2. Medianas			
3. Casas comerciales						3. Arrendada		3. Grandes			
4. Comisiones						4. Al partir		4. Al partir			
5. Otros						5. Otros		5. Otros			
G. Observaciones:											

Nota. Ficha adaptada del Instituto Espacial Ecuatoriano, para el levantamiento de Sistemas productivos (2010)

Anexo 9. Análisis de suelo de las muestras colectadas en la Reserva Sabia Esperanza.



AGROBIOLAB

Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.

LABORATORIO DE ENSAYO, BAJO LA NORMA INTERNACIONAL ISO 17025

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y Luisa Calisto Urb. Dammer 2 (El Inca) Telfs: (593-2) 241-2383 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador

Página Web: www.grupoclinicagrícola.com E-mail: info@grupoclinicagrícola.com

SUELOS

Datos del Cliente				Referencia		Interpretación			
Cliente : DIAZ DARIO Prop / Dir : RESERVA PARAMO Cultivo : FORESTALES Ingreso : 06/09/2017 No. Lab. : Desde :153307		**Ensayo : 11/09/2017 Hasta : 153309		No. Doc.: 50761 Emisión: 13/09/2017 Impreso: 13/09/2017 Página: 1 de 2	Textura <small>Boil. S.W. 1973</small> Fco = Franco Arc = Arcilloso As = Arenoso Li = Limoso Are = Arena Fca = Franca	Elementos <small>INIAP, Inf. Tec. 1978</small> B = Bajo M = Medio S = Suficiente A = Alto E = Exceso	pH <small>Knott, J.E. 1962</small> Ac = Acido LAc = Lig. Acido Pn = Prac. Neutro LAI = Lig. Alcalino AI = Alcalino		

Nombre : CAMPO 1, MATORRAL
 No. Lab. : 153307 Profund (cm): 0-20 Arena % : 54.000 Arcilla % : 20.000 Limo % : 26.000 Clase Textural: FCO.ARC.AS.-FCO.AS.

		*M. O. %			Humedad %				
		12.70A			53.84				


Nombre : CAMPO 2, MATORRAL
 No. Lab. : 153308 Profund (cm): 0-20 Arena % : 60.000 Arcilla % : 24.000 Limo % : 16.000 Clase Textural: FCO.ARC.AS.

		*M. O. %			Humedad %				
		6.85A			40.00				

Nombre : CAMPO 3, BOSQUE
 No. Lab. : 153309 Profund (cm): 0-20 Arena % : 40.000 Arcilla % : 34.000 Limo % : 26.000 Clase Textural: FCO.ARC.

		*M. O. %			Humedad %				
		13.84A			61.83				

Simbolo decimal = (.)
 Los valores con incertidumbre (+/-) están calculados con un nivel de confianza del 95% (k=2)
 <-L.C. = Valor menor al Limite de Cuantificación
 Métodos: pH 1:2,5 H2O; C.E., Na: Pasta saturada; M.O.: Walkley and Black; Al-H: Olsen Modificado B: Fosfato Monocálcico; NH4,NO3, SO4:Colorimetr
 Métodos Valorados: Ca: PEE/ABL/01; Mg: PEE/ABL/02; P: PEE/ABL/03. K: PEE/ABL/04; Zn, Cu, Fe, Mn: PEE/ABL/05
 Nota: Los ensayos marcados con (*), no tienen aun valores de incertidumbre.
 **Fecha Inicial de Ensayo; La Fecha Final de Ensayo es cuatro días laborables a partir de la Fecha Inicial de Ensayo.
 Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.


 Dr. Washington A. Pacilla G. Ph.D
 Director del Laboratorio

¡SU EXITO ES NUESTRO!

AGROBIOLAB

Informe de Análisis de Suelos, Plantas y E.C.P.

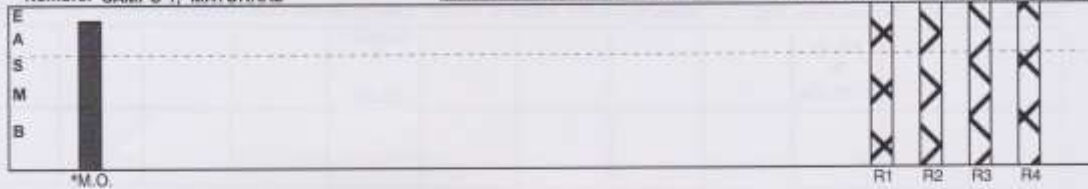
LABORATORIO DE ENSAYO, BAJO LA NORMA INTERNACIONAL ISO 17025

Gonzalo Zaldumbide N49-204 y Luis Calisto Urb. Dammer 2 (El Inca) Telf: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador
 Página Web: www.clinica-agricola.com E-mail: agrobiolab@clinica-agricola.com

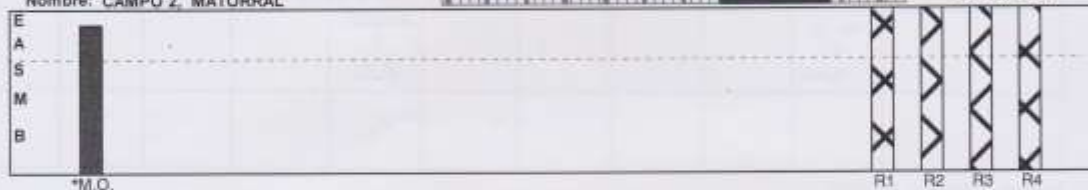
SUELOS

Datos del Cliente	Referencia	Interpretación		
Cliente : DIAZ DARIO Prop / Dir : RESERVA PARAMO Cultivo : FORESTALES Ingreso : 06/09/2017 Ensayo: 11/09/2017 No. Lab. : Desde : 153307 Hasta : 153309	No. Doc.: 50761 Emisión: 13/09/2017 Impreso: 13/09/2017 Página: 2 de 2	Textura Fco = Franco Arc = Arcilloso As = Arenoso Li = Limoso Are = Arena Fca = Franca	Elementos B = Bajo M = Medio S = Suficiente A = Alto E = Exceso	pH Ac = Acido LAc = Lig. Acido Pn = Prac. Neutro LAI = Lig. Alcalino Al = Alcalino

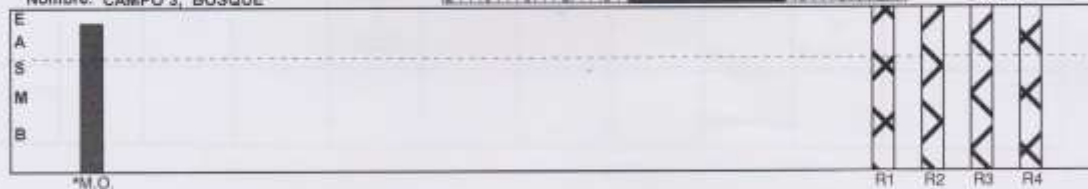
No.Lab.: 153,307 Prof. (cm): 0-20 Arena: 54.000 Arcilla: 20.000 Limo: 26.000 Clase Textural FCO, ARC, AS, - FCO, AS



No.Lab.: 153,308 Prof. (cm): 0-20 Arena: 60.000 Arcilla: 24.000 Limo: 16.000 Clase Textural FCO, ARC, AS



No.Lab.: 153,309 Prof. (cm): 0-20 Arena: 40.000 Arcilla: 34.000 Limo: 26.000 Clase Textural FCO, ARC



Métodos: pH 1:2,5 H2O; C.E., Na: Pasta saturada; M.O.: Walkley and Black; Al+H: Olsen Modificado B: Fosfato Monocálcico; NH4,NO3,SO4:Colorimetrí
 Métodos Valorados: Ca:PEE/ABL/D; Mg:PEE/ABL/02; P:PEE/ABL/03; K:PEE/ABL/04; Zn,Cu,Fe,Mn:PEE/ABL/05
 Nota: Los ensayos marcados con (*), no tienen aun valores de incertidumbre.

**Fecha Inicial de Ensayo: La Fecha Final de Ensayo es cuatro días laborables a partir de la Fecha Inicial de Ensayo.

¡SU EXITO ES NUESTRO!

AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA

QUITO - ECUADOR

CALCULO DE PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Cliente: **Dario Diaz** PROPIEDAD: **Dario Diaz**
Cultivo: **Matorrales y bosque** Fecha: **12 de Septiembre del 2017**

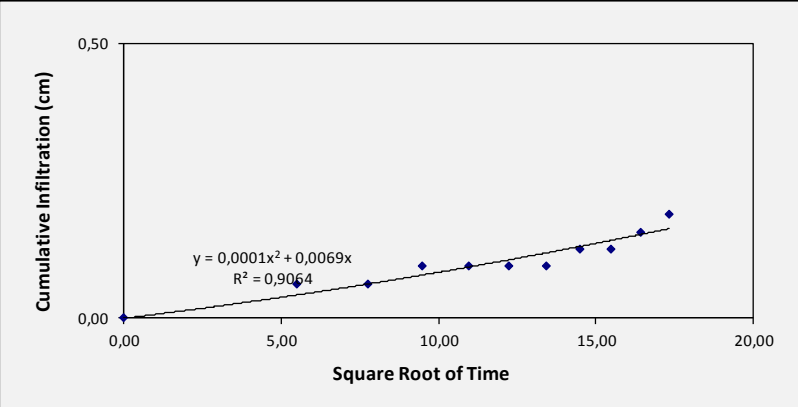
Identificación	Profundidad	Cont. Agua	Dens. Apar.	Porosidad
#	cm	%	g/cm ³	%
Campo 1	0-20	176,72	0,45	82,96
Campo 2	0-20	81,11	0,72	72,80
Campo 3	0-20	171,11	0,36	86,40

Anexo 10. Cálculo de la conductividad hidráulica del suelo

Muestra 1.

Instructions			
Step 1:	Enter measurement times beginning with zero		
Step 2:	Enter corresponding volume measurements		
Step 3:	Adjust selection field on graph to fit data		

Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infilt (cm)
0	0,00	65	0,00
30	5,48	64	0,06
60	7,75	64	0,06
90	9,49	63,5	0,09
120	10,95	63,5	0,09
150	12,25	63,5	0,09
180	13,42	63,5	0,09
210	14,49	63	0,13
240	15,49	63	0,13
270	16,43	62,5	0,16
300	17,32	62	0,19



Graph showing Cumulative Infiltration (cm) on the y-axis (0,00 to 0,50) versus Square Root of Time on the x-axis (0,00 to 20,00). The data points follow a curve fitted by the equation $y = 0,0001x^2 + 0,0069x$ with $R^2 = 0,9064$.

Step 4:	Select Infiltrometer Type	⇒	MiniDisk
Step 5:	Select Soil Type	⇒	loam
Step 6:	Select Suction	⇒	2

Radius	2,25 cm/s
alpha	0,036
n/h ₀	1,56
Suction	-2 cm/s

A	6,267384221
C1	0,000143344 cm/s
K	2,2871E-05 cm/s

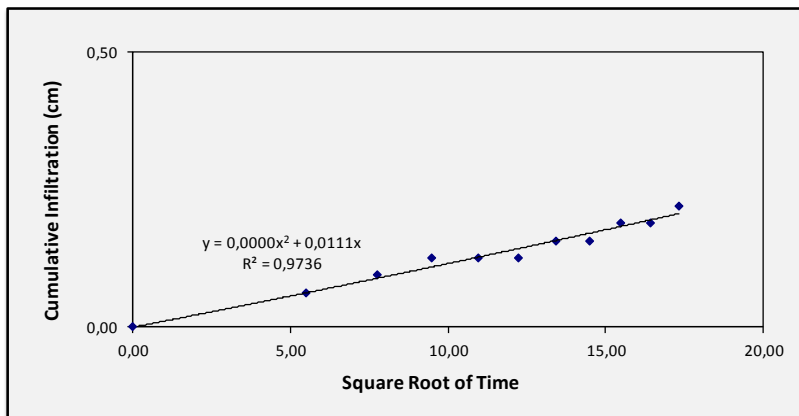
0,823370844 cm/s

CAMPO 1
 TEXTURA APRE FRANCO - FRANCO LIMOSO
 MATORRAL

Muestra 2

Instructions	
Step 1:	Enter measurement times beginning with zero
Step 2:	Enter corresponding volume measurements
Step 3:	Adjust selection field on graph to fit data

Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infil (cm)
0	0,00	82	0,00
30	5,48	81	0,06
60	7,75	80,5	0,09
90	9,49	80	0,13
120	10,95	80	0,13
150	12,25	80	0,13
180	13,42	79,5	0,16
210	14,49	79,5	0,16
240	15,49	79	0,19
270	16,43	79	0,19
300	17,32	78,5	0,22



Step 4:	Select Infiltrometer Type	⇒	MiniDisk
Step 5:	Select Soil Type	⇒	sandy clay loam
Step 6:	Select Suction	⇒	2

Radius	2,25 cm/s
alpha	0,059
n/h ₀	1,48
Suction	-2 cm/s

A	4,242924983
C1	4,62209E-05 cm/s
K	1,0894E-05 cm/s

0,39217086 cm/s mm/h

CAMPO 2
 TEXTURA APRE FRANCO ARCILLOSO
 MATORRAL

Muestra 3

Instructions
 Step 1: Enter measurement times beginning with zero
 Step 2: Enter corresponding volume measurements
 Step 3: Adjust selection field on graph to fit data

Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infil (cm)
0	0,00	77	0,00
30	5,48	76	0,06
60	7,75	76	0,06
90	9,49	75	0,13
120	10,95	75	0,13
150	12,25	75	0,13
180	13,42	74,5	0,16
210	14,49	74,5	0,16
240	15,49	74	0,19
270	16,43	74	0,19
300	17,32	73,5	0,22



Step 4: Select Infiltrometer Type → MiniDisk
 Step 5: Select Soil Type → sandy clay
 Step 6: Select Suction → 2

Radius 2,25 cm/s
 alpha 0,027
 n/h₀ 1,23
 Suction -2 cm/s

A 4,089288008
 C1 0,000163586 cm/s
K 4,0004E-05 cm/s

1,440129684 cm/s mm/h

CAMPO 3
 TEXTURA APRE FRANCO
 BOSQUE

Anexo 11. Fotografías

11.1 Reserva Sabia Esperanza



Herbazal de páramo



Arbustal siempreverde



Interior del Bosque siempreverde montano alto



Río naciente de la Reserva Sabia Esperanza

11.2 Medición de la variable de infiltración, mediante el infiltrómetro de mini disco



Medición con el infiltrómetro Punto No. 1
(Herbazal de páramo con Arbustal)



Medición con el infiltrómetro Punto No. 2
(Arbustal siempreverde)



Medición con el infiltrómetro Punto No. 3
Interior del Bosque siempreverde montano alto



Recolección de las muestras de suelo para laboratorio

11.3 Fichas de campo levantadas en la comunidad La Floresta



Comunidad La Floresta



Ganadería, principal actividad económica

