



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL MACRO DESLIZAMIENTO
GUARUMALES”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

DIRECTOR:

Ing. Pablo Ismael Guzmán Cárdenas PhD.
C.I.010226010-6

AUTORES:

Andrea Estefanía Cordero Mera
C.I.010461665-1
Natalia Cumandá Peñafiel Martínez
C.I.030212106-6

CUENCA – ECUADOR

MARZO, 2017



RESUMEN

Los movimientos de tierra desencadenan impactos ambientales, sociales y económicos. Un ejemplo de este tipo de desastres es el macro deslizamiento de “La Josefina” que provocó el represamiento del río Paute, cuyo desfogue causó innumerables afecciones al pueblo de Paute y sus alrededores, y la reactivación de deslizamientos a lo largo del río Paute. Entre los deslizamientos reactivados se encuentra el macro deslizamiento Guarumales, que es el tema central del presente estudio. Su importancia radica en que la zona más vulnerable está localizada en el campamento de operación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino, la cual abastece actualmente alrededor del 27% de energía al país. El factor natural más importantes que ha desencadenado el constante movimiento del talud es la acumulación de agua relacionada a la alta pluviosidad de la zona (alrededor de 3000 mm/año). El objetivo de este trabajo es obtener una caracterización hidrológica, mediante un balance hídrico con el cálculo de entradas y salidas de agua (caudales). Como resultado se obtuvo un “desbalance”, causado por una pérdida de agua significativa. El mayor déficit se presentó en las faldas del macro deslizamiento. Esto confirma la hipótesis inicial, que el aumento del movimiento del macro deslizamiento está relacionado a la infiltración y acumulación de agua, por fisuras presentes en el sitio y vertientes no encausadas correctamente o cunetas y drenes desviados, provocando un lavado del material fino, la reducción de la resistencia y el aumento de la presión de poros de suelo. Se recomienda la construcción de vertederos, que servirán como puntos de control y monitoreo de la escorrentía. Así como, la continuación de este trabajo realizando aforos durante un año hidrológico, y la investigación de aguas subterráneas y actividad sísmica en el sitio; lo que proporcionará un modelo integral de la situación, riesgos y amenazas en el macro deslizamiento Guarumales.

Palabras claves: macro deslizamiento, Guarumales, caracterización hidrológica, balance hídrico, vertederos.



ABSTRACT

Earth movements trigger environmental, social and economic impacts. An example of this type of disaster is the macro slide "La Josefina" that caused the damming of the Paute river, whose discharge caused innumerable problems to the town of Paute and its surroundings, and the reactivation of landslides along the Paute river. Among the reactivated landslides is the Guarumales macro sliding, which is the central theme of the present study. Its importance lies in the fact that the most vulnerable zone is located in the operation camp of the Paute Molino Hydroelectric Power Plant, which currently supplies around 27% of energy to the country. The most important natural factor that has triggered the constant movement of the slope is the accumulation of water related to the high rainfall of the area (about 3000 mm / year). The objective of this work is to obtain a hydrological characterization, by a water balance with the calculation of inflows and outflows. As a result an "imbalance" was obtained, caused by a significant loss of water. The largest deficit occurred in the foot of the macro slide. This confirms the initial hypothesis that the increase of the movement of the macro sliding is related to the infiltration and accumulation of water, by cracks present in the site and slopes not properly oriented or ditches and drains deviated, causing a fine material wash, reduction of the resistance and the increase of the pore pressure of soil. It is recommended the construction of weirs, which will serve as points of control and monitoring of the runoff. As well as, the continuation of this work realizing gauging during a hydrological year, and the investigation of groundwater and seismic activity in the site. Which will provide an integral model of the situation, risks and threats in the Guarumales macro sliding.

Key words: macro sliding, Guarumales, hydrological characterization, water balance, weirs.



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO	12
1.1 ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	14
1.5 CLIMA, VEGETACIÓN Y SUELOS	15
1.5.1 CLIMA.....	15
1.5.2 VEGETACIÓN Y SUELO.....	15
1.6 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
MATERIALES.....	17
2.1 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	17
2.2 IMÁGENES SATELITALES Y CARTOGRAFÍA	18
2.3 EQUIPOS.....	18
MÉTODO.....	20
1. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN CLIMÁTICO	20
2. DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PUNTOS DE ACUMULACIÓN DE AGUA Y FUENTES HÍDRICAS.....	23
3. DETERMINACIÓN DE SITIOS DE AFORO	24
4. ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN	28
5. BALANCE HÍDRICO ESPECÍFICO EN LAS VERTIENTES PRINCIPALES	36
DISEÑO DE VERTEDEROS.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
2.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	40
2.1.1 CAUDALES OBTENIDOS EN LOS AFOROS.....	40
MÉTODO DE AFORO VOLUMÉTRICO	42
MÉTODO DE AFORO DEL FLOTADOR.....	43
2.1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN	46
2.1.3 BALANCE HÍDRICO	48
2.2 DISEÑO DE VERTEDEROS	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
CONCLUSIONES.....	55



RECOMENDACIONES.....	56
LIMITACIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	57
LIMITACIONES	57
TRABAJO A FUTURO.....	57
REFERENCIAS	58
ANEXOS	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ubicación previa del área de estudio: macro deslizamiento Guarumales.....	15
FIGURA 2: Régimen mensual de precipitación, período septiembre 2013-septiembre 2016	17
FIGURA 3: Delimitación del macro deslizamiento Guarumales mediante puntos tomados con GPS.....	18
FIGURA 4: Precipitación diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.	20
FIGURA 5: Velocidad de viento diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.	21
FIGURA 6: Humedad relativa diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.	22
FIGURA 7: Humedad relativa diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016	22
FIGURA 8: Principales puntos de acumulación de agua levantados en campo visualmente	23
FIGURA 9: Principales fuentes hídricas, levantadas en campo visualmente	24
FIGURA 10: Sitios de aforo en el macro deslizamiento Guarumales.....	25
FIGURA 11: Esquema de discretización de áreas rectangulares	26
FIGURA 12: Vertedero triangular (Lmnoeng.com, 2017)	38
FIGURA 13: Evapotranspiración obtenida por los diferentes métodos	46
FIGURA 14: Promedio mensual de evapotranspiración: Método Penman Moteith.....	48
FIGURA 15: Áreas de aporte de las cinco fuentes hídricas principales	49
FIGURA 16: Zonas de infiltración	51
FIGURA 17: Ubicación de vertederos	52



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Factor de corrección del caudal, de acuerdo al tipo de arroyo.	28
Tabla 2: VARIABLES climáticas que utiliza cada uno de los métodos para estimar la evapotranspiración. ...	29
Tabla 3: Número máximo de horas de sol mensual (Monsalve, 1995).	31
Tabla 4: Porcentaje de horas mensuales (Monsalve, 1995).	33
Tabla 5: Coeficiente de cultivo Kc de acuerdo a la zona de estudio (Allen et al., 2006).	34
Tabla 6: Coeficiente de cultivo Kc para determinar la curva de crecimiento de cultivos perennes	35
Tabla 7: Coeficiente global de cultivo KG (Monsalve, 1995).	36
Tabla 8: Caudales obtenidos con el método de aforo del molinete	40
Tabla 9: Caudales obtenidos con el método de aforo volumétrico	42
Tabla 10: Caudales obtenidos con el método de aforo volumétrico	43
Tabla 11: Cinco zonas con los puntos y la pérdida que presenta cada una	50
Tabla 12: Cinco zonas con los puntos y la pérdida que presenta cada una	51
Tabla 13: Caudales de diseño en cada vertedero.....	53
Tabla 14: Dimensiones de cada vertedero	53
Tabla 15: Caudales bajos para puntos de control.....	54

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Caudal: método del molinete.....	26
Ecuación 2: Caudal: método volumétrico.....	26
Ecuación 3: Caudal: método del flotador	27
Ecuación 4: Velocidad: método volumétrico.....	27
Ecuación 5: Evapotranspiración: Penman – Monteith	29
Ecuación 6: Evapotranspiración haciendo uso de la temperatura media: método de Hargreaves	30
Ecuación 7: Evapotranspiración haciendo uso de la temperatura mínima y máxima: método de Hargreaves	30
Ecuación 8: Radiación solar: método de Hargreaves	30
Ecuación 9: evapotranspiración, método de Thornthwaite y Wilm.....	31
Ecuación 10: factor de corrección mensual, método de Thornthwaite y Wilm.....	31
Ecuación 11: exponente “a”, método de Thornthwaite y Wilm.	32
Ecuación 12: evapotranspiración, método de Blaney Criddle.....	32
Ecuación 13: evapotranspiración, método de Blaney Criddle.....	32
Ecuación 14: Coeficiente por temperatura, método de Blaney Criddle.....	33
Ecuación 15: Evapotranspiración de referencia, método de Blaney Criddle	34
Ecuación 16: Evapotranspiración potencial, método de Blaney Criddle.....	34
Ecuación 17: coeficiente de ajuste, método de Blaney Criddle.	35



Ecuación 18: evapotranspiración modificada, método de Blaney Criddle - Phelan.....	35
Ecuación 19: Continuidad, balance hídrico	37
Ecuación 20: Continuidad, balance hídrico simplificado	37
Ecuación 21: Caudal de diseño (Marbello, 2017)	39
Ecuación 22: Coeficiente de Gasto (Barr, 1909)	39
Ecuación 23: Altura (h) del vertedero.....	39



CLAÚSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo Andrea Estefanía Cordero Mera autora de la Tesis "Caracterización Hidrológica del Macro Deslizamiento Guarumales", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, 2 de marzo del 2017

A handwritten signature in blue ink that reads "Andrea Estefanía Cordero Mera".

ANDREA ESTEFANÍA CORDERO MERA

C.I: 010461665-1



CLAÚSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo Natalia Cumandá Peñafiel Martínez autora de la Tesis "Caracterización Hidrológica del Macro Deslizamiento Guarumales", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, 2 de marzo del 2017

Peñafiel m

NATALIA CUMANDÁ PEÑAFIEL MARTINEZ

C.I: 030212106-6



CLAÚSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Andrea Estefanía Cordero Mera autora de la Tesis "Caracterización Hidrológica del Macro Deslizamiento Guarumales", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 2 de marzo de 2017

ANDREA ESTEFANÍA CORDERO MERA

C.I: 010461665-1



CLAÚSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Natalia Cumandá Peñafiel Martínez autora de la Tesis "Caracterización Hidrológica del Macro Deslizamiento Guarumales", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 2 de marzo del 2017

Peñafiel M

NATALIA CUMANDÁ PEÑAFIEL MARTINEZ

C.I: 030212106-6



DEDICATORIA

Con cariño para nuestras familias, quienes han sido nuestro soporte en todo momento y nos han enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento, al Director de esta tesis Pablo Guzmán Cárdenas PhD., quien, con su vasto conocimiento y paciencia, nos motivó a culminar el presente trabajo de manera exitosa.

A CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute, especialmente a los integrantes de la Jefatura de Gestión Social y Ambiental, quienes con su experiencia, disponibilidad y amabilidad colaboraron en la realización de esta tesis.

A los profesores que conforman la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, quienes supieron guiarnos generosa y eficientemente a culminar nuestra carrera.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

1.1 ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

Un deslizamiento se define como el movimiento de materiales no consolidados, que se produce debido a la inestabilidad del talud, provocando un desastre natural. Es un proceso muy destructivo, causando daños irreversibles como la pérdida de vidas humanas, impactos ambientales y sociales, y la pérdida económica representada por infraestructura y bienes materiales. Por lo antes mencionado, es importante tener un conocimiento profundo de las causas de los deslizamientos y el estado en el que se encuentra determinado talud o zona inestable, a fin de que pueda ser eludida o manejada. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si se toman medidas de prevención o control. Los costos de manejo y prevención adecuados representan menos de un 10% de los costos de remediación, una vez que se ha desencadenado el movimiento (Díaz, 1998).

El Ecuador, país andino y ubicado en una región geodinámica activa, ha sido escenario de continuos deslizamientos que han impactado seriamente a la sociedad y la economía ecuatoriana (Basabe et al., 1996). Por el carácter morfológico de alta montaña, muchas de las laderas de Ecuador son inestables y susceptibles a deslizarse. Las grandes áreas de deslizamientos se concentran principalmente en las regiones andinas y sub-andinas (Cevallos Andrade, 2010). Entre las principales causas de deslizamientos en el país se pueden mencionar: altas precipitaciones pluviométricas, conformación litológica y geológica, geomorfología, sismología, actividad volcánica y causas antrópicas (Cevallos Andrade, 2010).

Un ejemplo de este tipo de desastres es el macro deslizamiento de “La Josefina” ubicado a 22 km de la ciudad de Cuenca, ocurrido en la margen izquierda del río Paute, el 29 de marzo de 1993. Cerca de 20 millones de m³ de tierra (Plaza & Egüez, 1993) se deslizaron del cerro Tamuga, matando a más de 100 personas, provocando el embalsamiento de los ríos Paute y Jadán e inundando un área aproximada de 1000 ha (Abril & Knight, 2004). A fin de evitar una inundación mayor se abrió un canal de 18m de profundidad en la cresta del dique, lo que causó el desagüe del embalse. El desfogue produjo una onda de creciente con un pico calculado en 8300 m³/s (Abril & Knight, 2004), el cual arrastró alrededor de 10 millones de m³ de material provocando inundaciones aguas abajo e innumerables afecciones al pueblo de Paute y sus alrededores. Producto de este tránsito de la creciente por el cauce del río Paute se aceleraron y reactivaron deslizamientos a lo largo del trayecto, entre los cuales se cuenta “Guarumales”, ubicado en la estribación oriental de la cordillera real entre los 1300 y 1890 metros sobre el nivel del mar, llegando los picos del talud a 2400 m.s.n.m. (Vásconez, 2000).



Paute Integral es el complejo hidroeléctrico formado por la infraestructura del aprovechamiento en cascada de las aguas del Río Paute, en las centrales Mazar (176 MW), Molino (1076 MW) y Sopladora (487 MW). Con una capacidad instalada de 1738 MW actualmente abastece alrededor del 27% de la energía al Ecuador. El campamento Guarumales, ubicado a 110 km de la Ciudad de Cuenca, hacia el noreste de la Provincia del Azuay, es el centro de operación, mantenimiento y manejo administrativo de la Central Hidroeléctrica Paute Molino y se asienta sobre el macro deslizamiento Guarumales.

Los factores que han desencadenado el constante movimiento del talud que conforma el macro deslizamiento Guarumales, son tanto de origen natural como humano. Los naturales están relacionados con: la composición de las rocas de la microcuenca que lo forman, compuesta por depósitos coluviales con bloques métricos en una matriz limosa; escombros de un paleo deslizamiento afectado por el trabajo de erosión del río Paute; la acumulación de agua que viene desde el área de recarga ubicada sobre el campamento de Guarumales (Cevallos Andrade, 2010) y que está fuertemente relacionada a la alta pluviosidad de la zona (mayor a 2000 mm/año); y, la presencia de una brecha de falla conformada por limo y arcilla con parámetros geo-mecánicos débiles. Las actividades humanas por su parte son: la construcción de infraestructura como la carretera “Guarumales-Méndez”, que han provocado debilitamiento en los taludes y la desestabilización de los flancos de quebradas y cauces de agua; pero tal vez el de mayor impacto es el cambio de uso de suelo de bosque nativo a pastizales, cambio que acelera la degradación de los suelos y los procesos vinculados al movimiento de masas (Guns & Vanacker 2013, Guns et al. 2013).

Diferentes medidas se han tomado para intentar controlar el macro deslizamiento. Por ejemplo, la construcción de sub-drenes para controlar la acumulación de agua en la masa del suelo, o la colocación de enrocados y muros de gaviones en el pie del macro deslizamiento junto al río. Se cuenta con una estación hidrometeorológica ubicada en el campamento Guarumales a una 1879 m.s.n.m. para monitoreo de lluvia, temperatura, dirección del viento y evaporación. Se tiene un registro mensual del movimiento de las zonas críticas, inscribiendo un movimiento máximo de 129.80 mm/año en la zona de la antigua vía a casa de máquinas, el sitio más inestable del macro deslizamiento (Jefatura de Gestión Social y Ambiental, 2016). Pese a las medidas tomadas, tales como captación superficial y encauzamiento de agua a través de perforaciones para colocación de sub-drenes horizontales, limpieza de quebradas, etc., que se adoptaron para estabilizar al talud en general, continúan presentándose movimientos independientes de masas (Cevallos Andrade, 2010), por lo que es necesaria la evaluación del estado actual de este macro deslizamiento.

Es fundamental entender la hidrogeología del macro deslizamiento, a fin de optimizar las acciones de manejo a corto, mediano y largo plazo. Un paso ineludible es determinar la influencia de la lluvia en la recarga, el almacenamiento y el flujo subterráneo. Para ello el estudio de la hidrología y de los aspectos geofísicos en el área del macro deslizamiento



son primordiales para la obtención de un balance hídrico a partir de las características hidrológicas del macro deslizamiento Guarumales.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar hidrológicamente, mediante un balance hídrico específico a partir de las entradas y salidas de agua de las principales vertientes del macro deslizamiento Guarumales.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar entradas y salidas de agua al sistema a partir de mediciones hidrometeorológicas;
2. Diseñar vertederos en los cauces principales que afectan al macro deslizamiento, para el control y medición de caudales;

1.4 LOCALIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD

Guarumales está ubicado al suroriente del Ecuador, en el límite de las provincias de Cañar, Azuay y Morona Santiago. Se encuentra localizado en la cordillera Real en el flanco oriental (estribación amazónica). Situado en la cuenca del río Paute a 70 kilómetros de la ciudad de Cuenca (Urguilez Vinueza, 2016). Ver figura 1.

La dinámica de los deslizamientos provoca la dilatación y el posterior aumento del volumen del material que conforma el talud o ladera y por ende, el aumento del área del macro deslizamiento (Suárez, 1998). Debido al constante movimiento que presenta el macro deslizamiento Guarumales, la delimitación actual del área es primordial para su estudio, siendo esta una de las primeras actividades realizadas en el presente trabajo.

En primera instancia, para la ubicación específica del área de estudio, se tomó como referencia la delimitación del macro deslizamiento Guarumales realizada en la tesis doctoral “Análisis de la Peligrosidad de Grandes Deslizamientos en la República del Ecuador con el caso-ejemplo Guarumales” (Vasconez, 2000). Asumiendo como rango de coordenadas geográficas 9714.000-9715.500 y 777.000-779.000 (UTM) (Vasconez, 2000).



FIGURA 1: Ubicación previa del área de estudio: macro deslizamiento Guarumales

1.5 CLIMA, VEGETACIÓN Y SUELOS

1.5.1 CLIMA

La zona de estudio está descrita como la transición entre un clima Subtropical Andino y un clima Amazónico Húmedo. (Jefatura de Gestión Social y Ambiental, 2016) Está comprendida entre los 1300 y 2400 m.s.n.m. Presenta una temperatura de aproximadamente 17°C y un valor promedio de humedad relativa media de 97% (López, 1995). El periodo húmedo puede durar de 7 a 12 meses (Dercon et al. 1998). La precipitación total anual es de alrededor de 3000 mm/a, los valores más altos se dan entre los meses de abril y julio; y los más bajos al inicio y al final del año. Todo el año se observa la presencia de lluvias, esto se puede apreciar de mejor manera a continuación, en el análisis de la figura 2.

1.5.2 VEGETACIÓN Y SUELO

La agricultura y los asentamientos humanos son incipientes, existiendo solo pequeñas áreas cultivadas. La vegetación en la zona es mayormente bosque húmedo tropical que se desarrolla en pendientes fuertes (López, 1995). Es una vegetación estratificada y puede ser descrita como bosques tropicales húmedos con una transición a selva tropical húmeda, constituida por: árboles, lianas, helechos, variedad de arbustos espinosos y pasto (Vásconez, 2000).

En las laderas presentan suelos con contenido de arcilla montmorillonita, con alta meteorización química debido al clima cálido de la zona y la condiciones húmedo-tropicales (Dercon et al. 1998). Factores como: alta pluviosidad que afecta sobre el grado de humedad en los depósitos coluviales de los paleodeslizamientos, múltiples intrusivos



hipoabisales que intruyen a las rocas metamórficas debido a un intenso diaclasamiento y su composición química; hacen que la zona presente variados grados de meteorización desde muy altas a muy bajas. Los esquistos, son las rocas presentes más susceptibles a la meteorización (López, 1995).

1.6 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO

Debido a su ubicación, mencionada anteriormente, el macro deslizamiento Guarumales tiene las características geomorfológicas generales de la Cordillera Real, un terreno montañoso con pendientes pronunciadas con crestas afiladas y un sistema de drenaje dentrítico (López, 1995). Presenta rocas típicas de la Cordillera Real, principalmente metamórficas como: esquistos verdes; grafiticos; esquistos; arcillosos y filitas. Estas rocas se encuentran meteorizadas, diaclasadas y sueltas; exponiendo las condiciones “más favorables” para el desarrollo de un proceso morfodinámico (Urgilez Vinueza, 2016).

La cuenca del Paute, profunda y en forma de V sobre la cual se asienta, presenta un suelo estrecho por el cual circula el río que lleva el mismo nombre. El río Paute es alimentado por ríos secundarios, lluvia propia de la cuenca y aguas subterráneas. La velocidad que tiene el río, así como la dirección de un gran eje sinclinal que sigue, son las causantes de la erosión en el mismo y con esto los deslizamientos permanentes (Cevallos Andrade, 2010). El perfil longitudinal del río es irregular y en algunas áreas decrece debido a la fuerza fluvial poco erosiva y al terraplén del sistema de drenaje que se tiene de acuerdo a los eventos tectónicos y la presencia de granodioritas (rocas resistentes y de difícil ruptura) (Urgilez Vinueza, 2016).

El macro deslizamiento Guarumales se encuentra formando una microcuenca de depósitos coluviales, escombros de un paleodeslizamiento afectado por la erosión del río Paute y la acumulación de agua que viene desde el área de recarga ubicada sobre el campamento Guarumales INECEL (López, 1995). Las condiciones climáticas húmedo-tropicales favorecen en el desarrollo del desgaste de suelos arcillosos, lo que produce una deformación plástica permanente del depósito coluvial (Urgilez Vinueza, 2016).



CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

2.1 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La información hidrometeorológica utilizada fue obtenida de la estación Guarumales ubicada en las coordenadas geográficas 9714.039 y 777.978 (UTM).

El estudio inició en el mes de septiembre, debido a que los datos desde el mes de enero hasta agosto de 2013 presentan incongruencia con las características de la zona. El periodo que se escogió para realizar el estudio fue de septiembre 2013 a septiembre 2016.

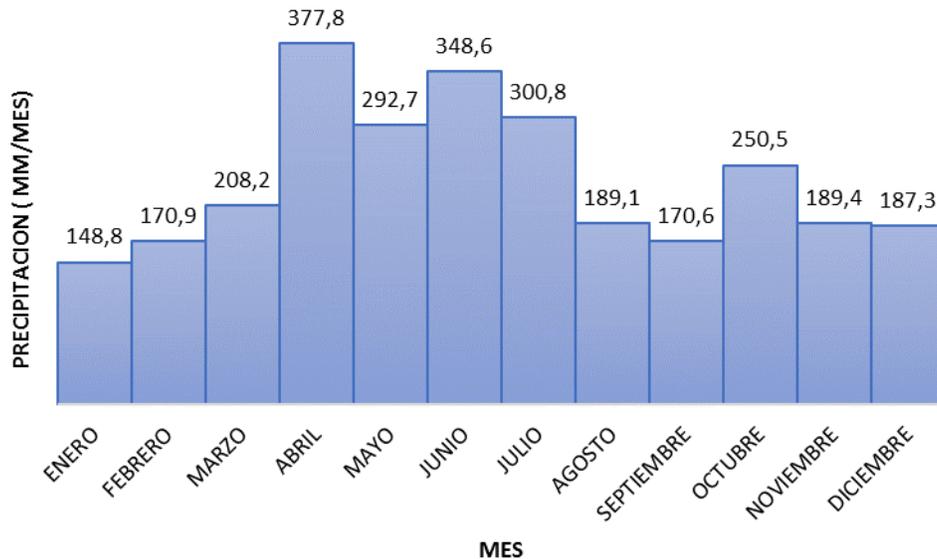


FIGURA 2: Régimen mensual de precipitación, período septiembre 2013-septiembre 2016

De estos datos se determinó que el promedio de precipitación anual es de 2835 mm/año. Se puede observar claramente el régimen de lluvias oriental, ya que las precipitaciones más altas se dan en el mes de abril y las más bajas en enero (Ver Anexo 1).

2.2 IMÁGENES SATELITALES Y CARTOGRAFÍA

Como se mencionó en el capítulo anterior, la delimitación inicial del macro deslizamiento Guarumales fue tomada de la tesis doctoral “Análisis de la Peligrosidad de Grandes Deslizamientos en la República del Ecuador con el caso-ejemplo Guarumales” (Vasconez, 2011). La delimitación fue complementada con la toma de datos en campo, mediante el uso de un GPS y el recorrido de toda el área de estudio. Estos datos fueron digitalizados e interpretados con la ayuda de fotos aéreas obteniendo la delimitación descrita en la figura 3. Se usó específicamente ortofotografías del SIG-TIERRAS tomadas en 2009, en el programa “Qgis” (Quantum GIS, un sistema de Información Geográfica).

La delimitación del macro deslizamiento fue influenciada también por el cambio de vegetación y las curvas de nivel del lugar, en donde se pudo apreciar la forma de cuenca que presenta el mismo. La forma de cuenca, se debe a la geología descrita anteriormente y los procesos morfo dinámicos por los cuales ha pasado la zona.

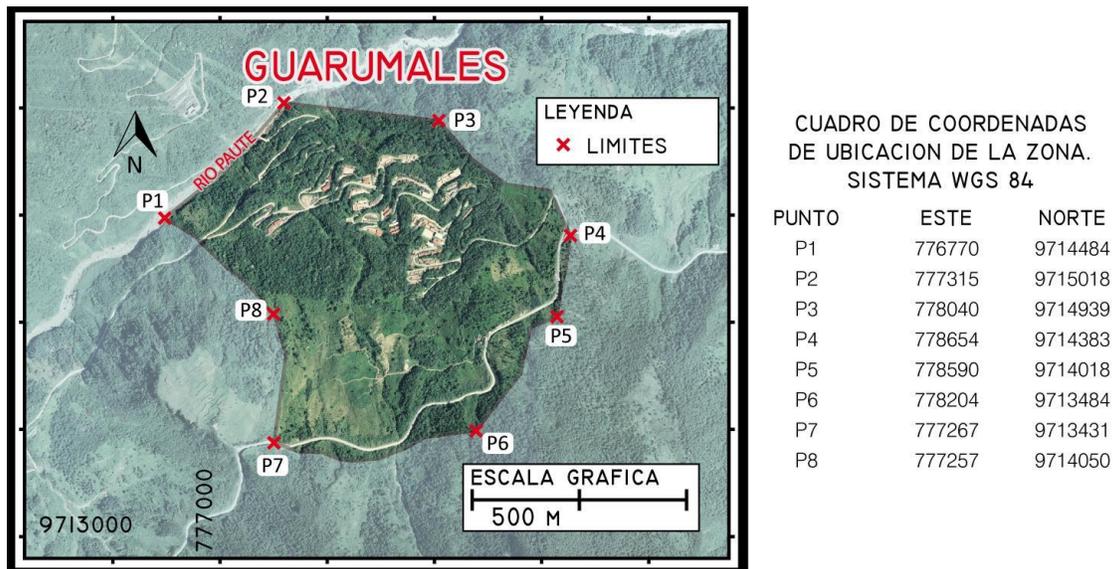


FIGURA 3: Delimitación del macro deslizamiento Guarumales mediante puntos tomados con GPS.

2.3 EQUIPOS

2.3.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA: SENSOR Y PLUVIÓMETRO

Sensor CR800

El CR800 es un registrador de datos pequeño, está diseñado para funcionar en ambientes hostiles y remotos. Puede configurarse como una red (data loggers) o de forma individual. La información se transmite mediante periféricos de comunicaciones. Sus aplicaciones incluyen: perfiles de viento, estaciones meteorológicas, evapotranspiración, calidad



del aire, humedad del suelo y nivel del agua. La velocidad máxima de lectura es de 100 Hz y el rango de temperatura estándar con el que trabaja es de -25°C a 50°C (Climatik.mx, 2017).

Pluviómetro TR-525M

El sensor de lluvia TR-525M Texas Electronics, Inc. es un pluviómetro tipo balancín que mide la cantidad de precipitación líquida con una medida por pulso de 0.1mm. El agua recogida por el colector se canaliza a un dispositivo mecánico (balancín), el cual mide la acumulación de agua de lluvia en forma incremental y provoca un cierre momentáneo de un interruptor. Cuando el agua se recolecta, se llena la cubeta basculante hasta el punto donde éste se vuelca. Esta acción vacía el cubo en preparación para la medición adicional (Anon, 2017).

El error es del $\pm 1\%$ hasta mediciones de 10 mm/hr, $+0.3\%$ con mediciones de 10 a 20 mm/hr y $+0.5\%$ para mediciones de 20 a 30 mm/hr (Ver Anexo 2).

2.3.2 GPS

GPS (Global Positioning System), es un sistema que permite determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre. Utiliza trilateración para calcular coordenadas (latitud y longitud), el receptor GPS calcula la distancia desde 3 o más satélites, cuya posición y tiempo en el espacio son conocidas, en función de la cantidad de tiempo que la señal necesita para llegar a la tierra. Su precisión promedio varía en metros, de 10m horizontal y 15 m en vertical (Olaya, 2011).

El GPS utilizado para la toma de puntos y posterior delimitación del macro deslizamiento Guarumales fue el Garmin Etrex 35, el cual funciona como un navegador por satélite. Es compatible con GPS y GLONASS, lo que le proporciona la potencia de dos sistemas por satélite, para una posición más rápida y una mejor precisión en entornos difíciles (Garmin, 2017).

La precisión con la que se trabajó en campo fue de $\pm 2\text{m}$, horizontal y vertical.

2.3.3 EQUIPO PARA AFOROS: MOLINETE

El molinete es un instrumento formado por una hélice (rueda hecha de seis tazas cónicas), las cuales rotan libremente con la corriente alrededor de un eje vertical. Para el aforo de corrientes superficiales el medidor es suspendido por un vástago y asegurado por un perno que le permite un cierto movimiento en el plano vertical. El molinete está provisto de un set de dos veletas de cola en ángulo recto, una en el plano horizontal y la otra en el plano vertical. El equipo realiza la medición de la velocidad a partir del número de revoluciones que la hélice gira alrededor de su propio eje en



un tiempo dado. La sección elegida para la medida debe estar situada en un tramo lo más recto y homogéneo posible (Coello, 2016).

MÉTODO

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos debido principalmente a las lluvias intensas. Es por esto que el método se enfocó en la caracterización hidrológica del macro deslizamiento, determinando el desbalance y posible infiltración de agua en el sitio. Este método es el más idóneo, porque trabaja con toda la información proporcionada y permite tener un resultado bastante cercano a la realidad.

1. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN CLIMÁTICO, A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DE VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS.

Hydraccess es un software útil para el procesamiento de datos, desde microcuencas hasta grandes ríos. Su principal función es la obtención de gráficas, de cada una de las variables hidrometeorológicas como: la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, radiación solar, el viento y las precipitaciones (Manual del uso de Hydraccess, 2015).

Precipitación

Es la principal fuente de alimentación del ciclo hidrológico, incluye lluvia, llovizna, nieve y granizo (Ven te Chow et al. 1993).



FIGURA 4: Precipitación diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.



La figura 4 muestra que el tipo del régimen es oriental, debido a que las máximas lluvias se presentan en el mes de abril. Se tiene una lluvia máxima de 65.3mm en abril del 2016. En estos meses se tendrán mayores caudales, lo que provoca una mayor escorrentía y por ende, mayor posibilidad de acumulación de agua y posterior infiltración. El peso y la inestabilidad del talud incrementarán, aumentando también el movimiento en el macro deslizamiento.

Velocidad del viento

El viento es la circulación del aire de un lugar a otro. Se produce cuando una masa de aire se vuelve menos densa, al aumentar su temperatura, asciende y entonces, otra masa de aire más densa y fría se mueve para ocupar el espacio que la primera ha dejado (Astromia.com, 2017).

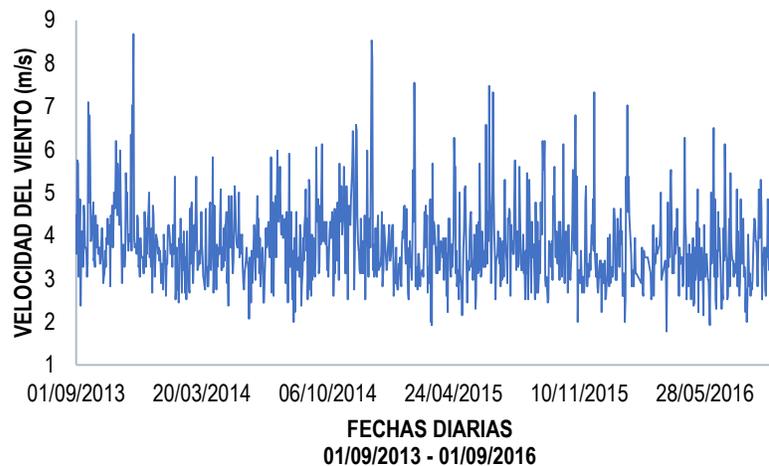


FIGURA 5: Velocidad de viento diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.

En la figura 5 las velocidades más altas se tienen en los meses de diciembre y las mínimas en los meses de marzo. La velocidad más alta es de 8.68 m/s y la más baja de 1.775 m/s.

Humedad relativa

Es la relación entre la masa real de vapor de agua en el aire comparada con la masa máxima posible de vapor de agua en el aire. La humedad máxima depende de la temperatura; y es por esta razón la temperatura cambia con la humedad relativa, aun cuando la humedad absoluta permanezca constante. La humedad relativa aumenta al 100 % cuando se enfría hasta el punto de rocío (Academiatesto.com.ar, 2017).

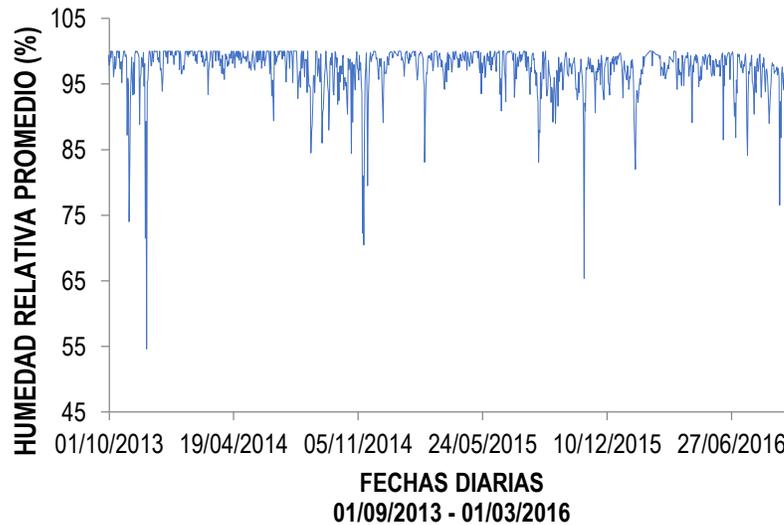


FIGURA 6: Humedad relativa diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016.

La humedad relativa mensual en la zona oriental es bastante alta y varía entre 76% y 99%. En la figura 6 se puede apreciar un valor atípico diario de 54.61% en el mes de noviembre del 2013, lo que se considera un valor que no coincide con las características de la zona.

Temperatura

Es la variable atmosférica que indica la cantidad de energía solar retenida por el aire en un momento dado. La temperatura depende de la radiación solar (Historiaybiografias.com, 2017). La temperatura en la zona de estudio varía entre 15°C y 21°C.

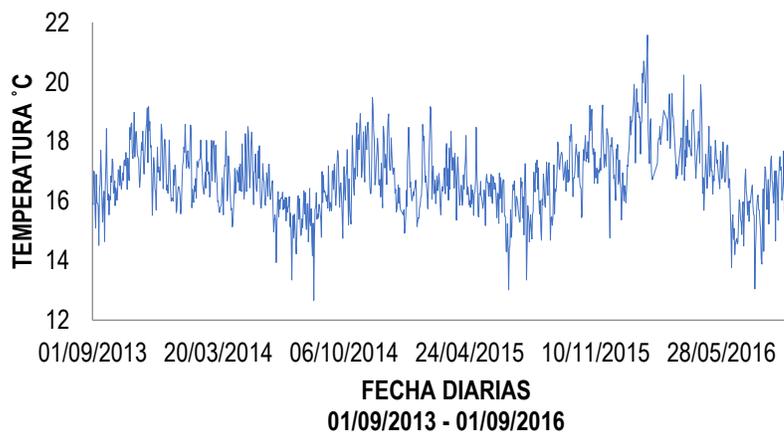


FIGURA 7: Humedad relativa diaria, periodo septiembre 2013- septiembre 2016

Se puede observar en la figura 7 que las temperaturas medias altas se tienen en los meses de noviembre y febrero, teniendo la más alta de 22 °C en el mes de febrero del 2016. Las temperaturas más bajas se tienen en los meses de julio y agosto llegando a la más baja de 13 °C en agosto del 2014. Se debe tener en cuenta que, a mayor temperatura se espera una mayor evapotranspiración. Por lo que en los meses de noviembre y febrero se tendrán evapotranspiraciones más altas y una mayor disminución de caudal.

2. DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES PUNTOS DE ACUMULACIÓN DE AGUA Y FUENTES HÍDRICAS

El agua es el factor más asociado con las fallas de los taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos. El efecto del agua más frecuente es la infiltración, haciendo que el talud se sature y la presión de poros aumente. Mayormente, el talud se ve afectado por las acumulaciones de agua, ya que estas no circulan y se infiltran rápidamente. El comportamiento de las acumulaciones de agua induce a una disminución de la resistencia al cortante (propiedad del suelo para soportar cargas y mantener su estabilidad), la cual, a su vez, puede activar un deslizamiento (Suarez, 2009). En la figura 8 se puede observar los puntos en los que existe una mayor acumulación de agua y en la figura 9 las principales quebradas de la zona, esto se determinó visualmente en campo.

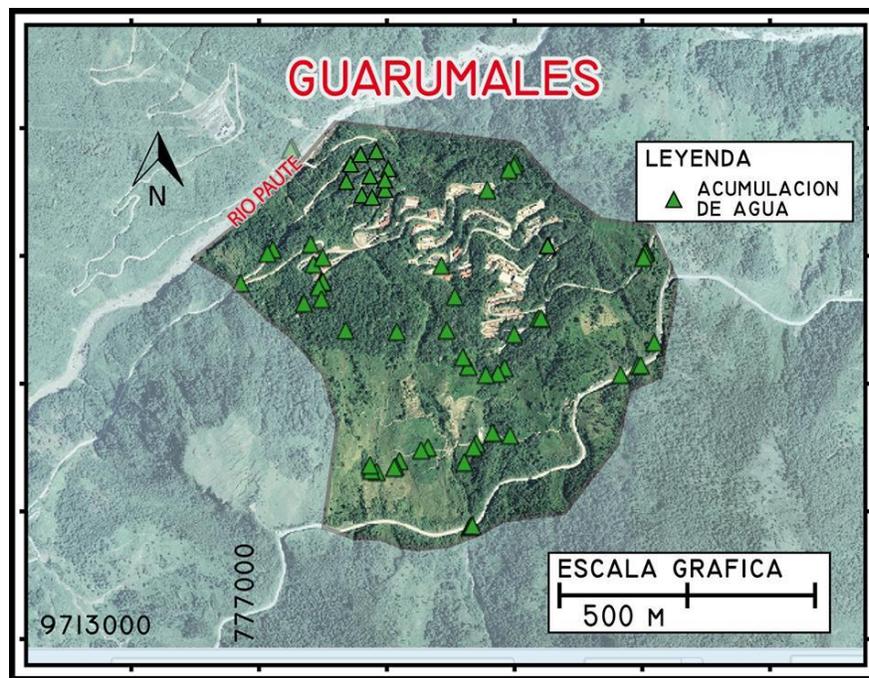


FIGURA 8: Principales puntos de acumulación de agua levantados en campo visualmente

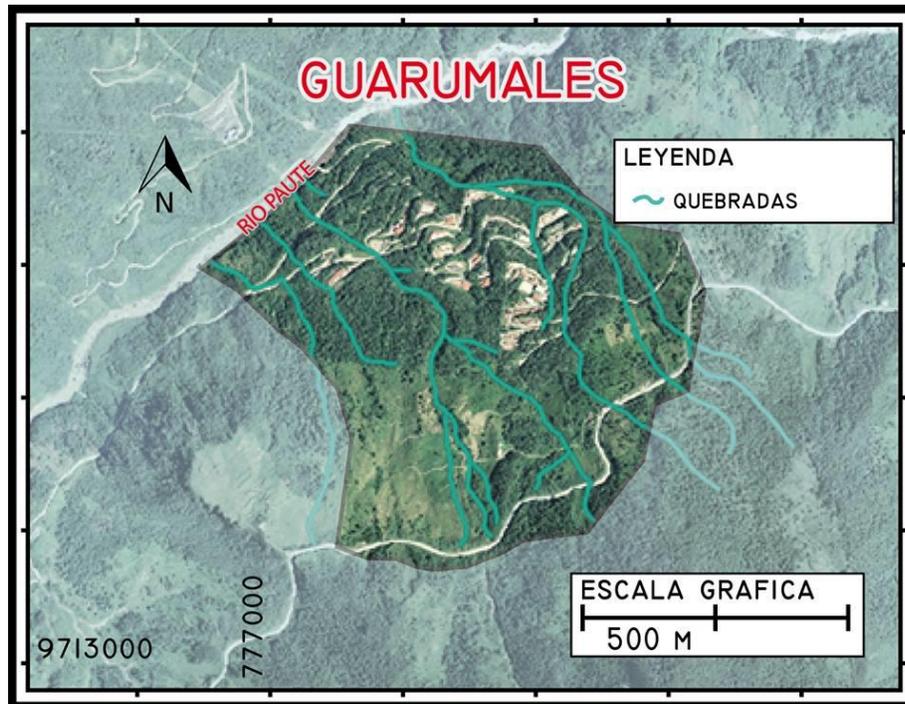


FIGURA 9: Principales fuentes hídricas, levantadas en campo visualmente

3. DETERMINACIÓN DE SITIOS DE AFORO PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES Y CONTROL DE NIVELES EN CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES (CAUCES PRINCIPALES)

En los estudios hidrológicos, es de suma importancia el conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce. Las mediciones de los caudales se pueden hacer de manera continua o puntual, dependiendo de la calidad y la cantidad de los registros necesarios (Fluidos.eia.edu.co, 2017).

Los deslizamientos son una de las amenazas priorizadas como se mencionó anteriormente, y se encuentran asociadas a las lluvias excesivas y la falta de supervisión sobre las fuentes hídricas que alimentan a la zona (Suarez, 2009). Siendo esta última una de las razones para la ubicación de los sitios de aforo, que posteriormente serán los lugares propuestos para la construcción de vertederos.

El control del agua es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de los deslizamientos (Suarez, 2009), es por ello que se diseñarán vertederos como puntos de control fijos en las fuentes hídricas más importantes en la zona de estudio. El caudal en una fuente hídrica puede ser medido mediante un vertedor, que es una obstrucción hecha en el canal para que el agua fluya sobre o a través de este (Fluidos.eia.edu.co, 2017). Los vertederos permiten observar la variación diaria del caudal que pasa por el mismo, midiendo la

altura de la lámina de agua que pasa por sus paredes. En la figura 10 se encuentran ubicados en el campamento cada uno de los puntos en los que se realizó los aforos.

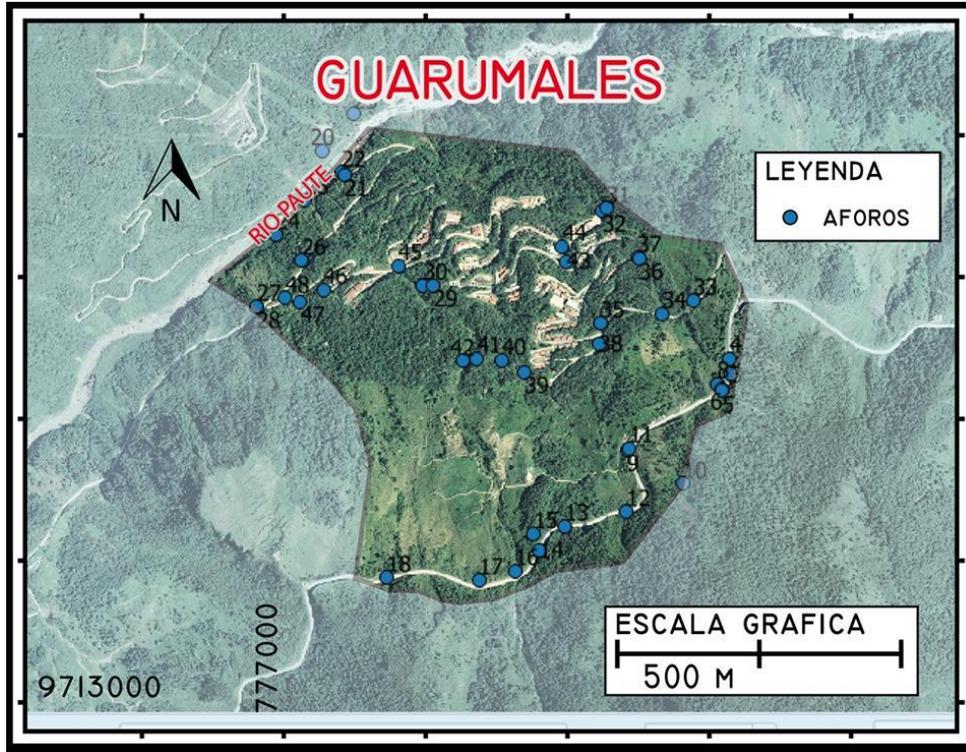


FIGURA 10: Sitios de aforo en el macro deslizamiento Guarumales

MÉTODO DE AFORO CON EL MOLINETE

El método del molinete determina la velocidad de la corriente de agua en un punto, en relación a la velocidad con la que gira la hélice en el lugar. La altura de la lámina de agua es muy importante para poder calcular las velocidades. Se debe tener en cuenta que, si la profundidad del agua es menor a 75 cm, se asumirá que la velocidad obtenida en el 60% de la profundidad es la velocidad promedio en un área considerada como rectangular parcial. En cambio, si la profundidad es mayor a 75 cm y menor a 3m, la velocidad promedio del área rectangular parcial corresponde al promedio de las velocidades obtenidas al 20% y al 80%; para posteriormente promediarla con la profundidad del 60% (3 puntos) (Coello, 2016).

Debido a que las vertientes aforadas presentan áreas irregulares se optó por una discretización rectangular. Ejemplificada en la figura 11.

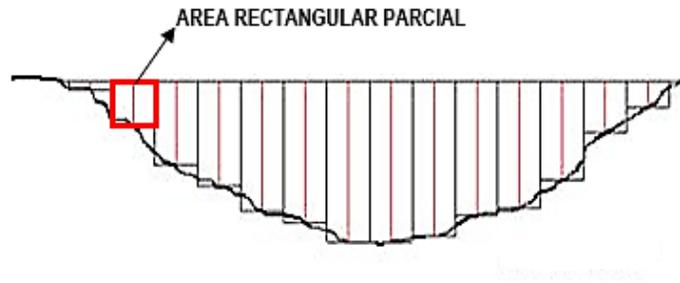


FIGURA 11: Esquema de discretización de áreas rectangulares

En los aforos realizados las velocidades fueron obtenidas en el 60% de la profundidad, el caudal se calculó en base de la velocidad y del área promedio de la sección, utilizando la ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{A}$$

Ecuación 1: Caudal: método del molinete

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Área (m²)

MÉTODO VOLUMÉTRICO

Este método se emplea, por lo general, para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente para recolectar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en recolectar dicho volumen, como se tiene en la ecuación 2 (Coello, 2016).

$$Q = \frac{Vol}{T}$$

Ecuación 2: Caudal: método volumétrico

Donde:

Q = Caudal (lt/s)

Vol. = Volumen (lt)

T = Tiempo (s)



MÉTODO DEL FLOTADOR

Este método se utiliza cuando no se dispone de equipos de medición o cuando la sección de aforo no cumple con las condiciones necesarias para hacer uso del Molinete. Para medir la velocidad superficial del agua se usa un flotador, este flotador se desliza por una sección previamente medida, lo más homogénea posible. Determinando el tiempo que tomará en recorrer una distancia determinada, aplicando la ecuación 3 y 4. Se puede utilizar como flotador, un pequeño pedazo de madera, corcho, una pequeña botella lastrada; en este caso se utilizó una pelota de caucho pequeña (Coello, 2016).

Los valores de caudal obtenidos por medio de este método son aproximados (debido a la rugosidad de la sección aforada), por lo tanto, requieren ser reajustados por medio de factores empíricos de corrección (C). En la tabla 1 se observa el factor de corrección de acuerdo al tipo de arroyo.

$$Q = C . A . V$$

Ecuación 3: Caudal: método del flotador

$$V = e / t$$

Ecuación 4: Velocidad: método volumétrico

Donde:

C: Factor de corrección

V : Velocidad (m / s)

e : Espacio recorrido por el flotador (m)

t : Tiempo de recorrido del espacio «e» por el flotador (s)

A : Área de la sección transversal (m²)

Q : Caudal (lt/s)



Tabla 1:Factor de corrección del caudal, de acuerdo al tipo de arroyo.

Tipos de Arroyo	Factor de Corrección de Velocidad (C)	Precisión
Canal rectangular con lados y lechos lisos	0.85	Buena
Rio profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy Mala
Arroyo muy poco profundo De lecho rocoso	0.25	Muy Mala

Para las cunetas se utilizó un factor de corrección de 0.80, debido a que los lechos y las paredes se encuentran desgastados por el tiempo y cubiertos con vegetación. Para los arroyos muy poco profundos y lechos rocosos, se determinó un factor de corrección con el punto 16. El punto 16 fue aforado con el método del molinete y con el método del flotador, con los cuales se determinó un factor de corrección igual a 0.30. Para los arroyos de lecho parejo se utilizó 0.75, debido a la turbulencia y a la cantidad mínima de rocas en el lecho. El punto 45 fue aforado en una tubería de PVC con bastante turbulencia, el flotador realizó el recorrido de manera no uniforme; por lo que se optó por un factor de corrección de 0.45 para este punto.

4. ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL.

La evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los factores que se deben tener en cuenta para determinar la evapotranspiración son los siguientes: el suministro de energía, transporte de vapor y el suministro de humedad (Ven te Chow et al. 1993)

La estimación de la evapotranspiración se realizó mediante cuatro métodos, uno físico y tres empíricos diferentes: Penman – Monteith (físico), Hargreaves, Thornwaite-Wilm y Blanney-Criddle. Cada uno de los



métodos requiere de diferentes variables climáticas, en la tabla 2 se presentan las variables que utilizan los distintos métodos para determinar la evapotranspiración.

Tabla 2: Variables climáticas que utiliza cada uno de los métodos para estimar la evapotranspiración.

Método	Variables Climáticas				
	Temperatura	Radiación Solar	Velocidad del viento	Humedad Relativa	Altitud
Penman-Monteith	x	x	x	x	x
Hargreaves	x		x	x	x
Thornwaite-Wilm	x				
Blaney-Criddle	x		x	x	

PENMAN- MONTEITH

La ecuación de Penman fue desarrollada en 1948 y combinó el método del balance energético con el de transferencia de masa. Para el cálculo de la evapotranspiración de una superficie abierta, se consideraron las horas de sol, la temperatura, humedad atmosférica y la velocidad del viento (Marín Valencia, 2010).

$$ET = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad [mm/día]$$

Ecuación 5: Evapotranspiración: Penman – Monteith

Donde: R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2 \cdot día$)

G es el flujo del calor en el suelo ($MJ/m^2 \cdot día$)

e_s es la presión de vapor de saturación en kPa

e_a es la presión real de vapor en kPa,

$(e_s - e_a)$ es el déficit de presión de vapor en kPa

u_2 es la velocidad del viento a 2 metros sobre la superficie (m/s)

Δ representa la pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa/°C$)

y es la constante psicométrica ($kPa/°C$).



HARGREAVES

La fórmula empírica para la estimación de la evaporación de Hargreaves fue establecida mediante pruebas realizadas en un tanque clase A en latitudes medias del hemisferio norte. La ecuación requiere de las variables climáticas: temperatura, humedad relativa y el coeficiente mensual de luz solar. Basándose en esta fórmula, se propuso un método para calcular la evapotranspiración (Marín Valencia, 2010).

$$E_{to} = 0.0135 (t_{med} + 17.78) \times R_s \quad [mm/día]$$

Ecuación 6: Evapotranspiración haciendo uso de la temperatura media: método de Hargreaves

$$E_{to} = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_o * (t_{dmax} - t_{dmin})^{0.5} \quad [mm/día]$$

Ecuación 7: Evapotranspiración haciendo uso de la temperatura mínima y máxima: método de Hargreaves

Donde:

- E_{to} = evapotranspiración potencial diaria, mm/día
- t_{med} = temperatura media, °C
- R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día
- R_o = Radiación solar extraterrestre, en mm/día
- t_{dmax} = Temperatura diaria máxima, °C
- t_{dmin} = Temperatura diaria mínima, °C

$$R_s = R_o * K_T * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Ecuación 8: Radiación solar: método de Hargreaves

Donde:

K_T es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica. Hargreaves recomienda K_T = 0,162 para regiones del interior y K_T = 0,19 para regiones costeras. (Coello, 2016). Se ocupó un valor de K_T = 0.162, ya que el lugar de estudio se encuentra en la región amazónica.

MÉTODO DE THORNTHWAITE Y WILM

La ecuación empírica para el cálculo de la evapotranspiración del método de Thornthwaite y Wilm se desarrolló para una superficie cubierta de césped, con base en la temperatura media mensual. El método fue



desarrollado utilizando lecturas de lisímetros y balances hídricos realizados en cuencas pequeñas de diferentes zonas de Estados Unidos (Marín Valencia, 2010).

La ecuación es la siguiente:

$$ETP_i = K_i 16 \left(\frac{10 T_i}{J} \right)^a \quad [mm/día]$$

Ecuación 9: evapotranspiración, método de Thornthwaite y Wilm.

Donde:

T_i es la temperatura media mensual del aire para el mes i ($^{\circ}C$).

K_i es un factor de corrección mensual que depende de la latitud. Se aplica debido a que el método fue desarrollado suponiendo un mes de 30 días con 12 horas de luz solar diarias.

$$K_i = \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

Ecuación 10: factor de corrección mensual, método de Thornthwaite y Wilm.

Donde:

N es el número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud. La zona de estudio se encuentra en el Sur con una latitud de 2.5° , por lo que se interpoló para obtener el valor. Este valor es muy cercano a 12. Ver tabla 3.

d es el número de días del mes

Tabla 3: Número máximo de horas de sol mensual (Monsalve, 1995).

LATITUD ($^{\circ}$)	MES												
	NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC
10	11,7	11,6	11,9	12,4	12,5	12,5	12,5	12,5	12,2	11,8	11,8	11,4	
5	11,9	11,9	11,9	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8	
0	12,1	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,1	12,0	
SUR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	
10	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	
5	12,4	12,1	12,0	12,0	11,8	11,9	11,8	12,0	12,0	12,2	12,4	12,2	
0	12,1	12,0	12,0	12,1	12,0	12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,1	12,0	

J es el índice de calor anual y se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses

$$J = \sum_{i=1}^{12} (J_i) \quad \text{donde } J_i \text{ es un valor mensual definido así: } J_i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$



El exponente “a” es función del índice de calor anual y está definido por la siguiente expresión:

$$a = 0.49239 + 0.01792 \cdot J - 7.71 \times 10^{-5} \cdot J^2 + 6.75 \times 10^{-7} J^3$$

Ecuación 11: exponente “a”, método de Thornthwaite y Wilm.

BLANEY CRIDDLE

Se basó en estudios realizados en el oeste de Estados Unidos y otros países, en los que se buscaba la correlación entre el agua consumida por las plantas, la temperatura y las horas de luz al día. Permite calcular la evapotranspiración potencial diaria con base en mediciones de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar (Marín Valencia, 2010). La ecuación se presenta a continuación:

$$ET = K \times F \quad [mm/día]$$

Ecuación 12: evapotranspiración, método de Blaney Criddle.

Donde:

Et es la evapotranspiración real total del cultivo (mm/día)

K es el coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

F es la suma de los valores de “f” de todos los meses (desde el mes 1 hasta el mes n del ciclo vegetativo del cultivo)

$$F = \sum_1^n f$$

Donde:

$$f = \left[\frac{T + 17.8}{21.8} \right] \times P \times (duración \ de \ mes)$$

Ecuación 13: evapotranspiración, método de Blaney Criddle.

T es la temperatura promedio mensual (°C)

Duración de mes, es la división del número de días considerados en un mes para el ciclo vegetativo del cultivo, dividido entre el número total de días que tiene el mes.

P es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual (%). Ver tabla 4.



Tabla 4: Porcentaje de horas mensuales (Monsalve, 1995).

LATITUD (°)	MES											
	NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV
60	4,67	5,65	8,08	9,65	11,74	12,39	12,31	10,7	8,57	6,98	5,04	4,22
50	5,98	6,3	8,24	9,24	10,68	10,91	10,99	10	8,46	7,45	6,1	5,65
40	6,76	6,72	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,39	7,75	6,72	6,52
35	7,05	6,88	8,35	8,83	9,76	9,77	9,93	9,37	8,36	7,87	6,97	9,86
30	7,3	7,03	8,38	8,72	9,53	9,49	9,67	9,22	8,33	7,99	7,19	7,15
25	7,53	7,14	8,39	8,61	9,33	9,23	9,45	9,09	8,32	8,09	7,4	7,42
20	7,74	7,25	8,41	8,52	9,15	9	9,25	8,96	8,3	8,18	7,58	7,66
15	7,94	7,36	8,43	8,44	8,98	8,8	9,05	8,83	8,28	8,26	7,75	7,88
10	8,13	7,47	8,45	8,37	8,81	8,6	8,86	8,71	8,25	8,34	7,91	8,1
0	8,5	7,66	8,49	8,21	8,5	8,22	8,5	8,49	8,21	8,5	8,22	8,5
SUR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC
40	10,22	9,54	8,39	7,75	6,72	6,52	6,76	6,72	8,33	8,95	10,02	10,08
35	9,93	9,37	8,36	7,87	6,91	6,86	7,05	6,88	8,35	8,83	9,76	9,77
30	9,67	9,22	8,33	7,99	7,19	7,75	7,3	7,03	8,38	8,72	9,53	9,49
25	9,45	9,09	8,32	8,09	7,4	7,42	7,53	7,14	8,39	8,61	9,33	9,23
20	9,25	8,96	8,3	8,18	7,58	7,66	7,74	7,25	8,41	8,52	9,15	9
15	9,05	8,83	8,28	8,26	7,76	7	7,04	7,36	8,43	8,44	8,98	8,8
10	8,86	8,71	8,25	8,34	7,91	8,1	8,13	7,47	8,45	8,37	8,81	8,6
0	8,5	8,49	8,21	8,5	8,22	8,5	8,5	7,66	8,49	8,21	8,5	6,22

Los valores tomados para esta variable se determinaron a través de una Interpolación, debido a que la latitud de la zona de estudio es de 2.5°

Una modificación a la ecuación de Blaney – Criddle la realizó Phelan que introdujo el uso de un coeficiente por temperatura:

$$Kt = 0.031144 \times T + 0.2396$$

Ecuación 14: Coeficiente por temperatura, método de Blaney Criddle.

Donde:

T es la temperatura media mensual en °C

Una vez determinado el valor de f y Kt se procede a calcular el valor de la evapotranspiración de referencia (ET_o)



$$ET_o = f \times K_t$$

Ecuación 15: Evapotranspiración de referencia, método de Blaney Criddle

$$ET_p' = ET_o \times K_c$$

Ecuación 16: Evapotranspiración potencial, método de Blaney Criddle.

Donde:

Kc es el coeficiente de cultivo. Ver tabla 5 y 6 para cada tipo de vegetación.

Tabla 5: Coeficiente de cultivo Kc de acuerdo a la zona de estudio (Allen et al., 2006).

CULTIVO	kc inf	Kc med	Kc fin	Altura máxima cultivo (h) (m)
HUMEDALES - CLIMA TEMPLADO				
Anea, Junco, muerte por heladas	0,3	1,2	0,3	2
Vegetación pequeña, sin heladas	1,05	1	1,1	0,3
Anea, Junco, sin heladas	0,6	1,2	0,3	2
Carrizo, con agua libre el suelo	1	1,2	1	1-3,
Carrizo, suelo húmedo	0,9	1,2	0,7	1-3,
ESPECIAL				
Agua libre, < 2m de profundidad, o en climas sub-húmedos o trópicos		1,05	1,05	
Agua libre, > 5m de profundidad, sin turbidez, clima templado		0,65 ²⁵	1,25 ²⁵	

Para el tipo de cultivo en zonas tropicales y húmedas se tomó un valor especial de 1.05, teniendo en cuenta que el agua libre es menor a los 2m de profundidad y el clima es sub-húmedo.



Tabla 6: Coeficiente de cultivo Kc para determinar la curva de crecimiento de cultivos perennes. (López, 1995)

COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA CULTIVOS PERENNES							
MES	CAÑA	ALFALFA	PASTO	VID	CITRICOS	FRUTALES DE HOJA CADUCA	FRUTALES DE HOJA PERENNE
1	0,3	65	0,48	0,2	0,65	0,2	0,6
2	0,35	0,75	0,6	0,23	67	0,25	0,75
3	0,5	0,85	0,75	0,3	0,69	0,35	0,85
4	0,6	1	0,85	0,5	0,7	0,65	1
5	0,77	1,1	0,87	0,7	0,71	0,85	1,1
6	0,9	1,13	0,9	0,8	0,72	0,95	1,12
7	0,98	1,12	0,9	0,8	0,72	0,98	1,12
8	1,02	1,08	0,87	0,75	0,71	0,85	1,05
9	1,02	1	0,85	0,67	0,7	0,5	1
10	0,98	0,9	0,8	0,5	0,68	0,3	0,85
11	0,9	0,8	0,65	0,35	0,67	0,2	0,75
12	0,78	0,65	0,6	0,25	0,65	0,2	0,6

Para el otro tipo de cultivo se tomó los valores de pasto de cada uno de los meses.

Para finalizar con el cálculo se determina el coeficiente de ajuste:

$$K' = \frac{ETp'}{\sum_1^n f}$$

Ecuación 17: coeficiente de ajuste, método de Blaney Criddle.

$$ETp = ETp' \times \frac{K_G}{K'}$$

Ecuación 18: evapotranspiración modificada, método de Blaney Criddle - Phelan.

Donde:

K_G es el coeficiente global de cultivo. Ver tabla 7.



Tabla 7: Coeficiente global de cultivo KG (Monsalve, 1995).

COEFICIENTES GLOBALES DE USOS CONSUNTIVOS (Kg) PARA DIFERENTES CULTIVOS			
CULTIVO	PERIODO DE CRECIMIENTO VEGETATIVO	COEFICIENTES GLOBALES KG	
		REGION HUMEDA	REGION ARIDA
AGUACATE	Todo el año	0,5	0,55
AJONJOLI	3 a 4 meses	0,8	
ALFALFA	Entre heladas	0,8	0,85
	Entre invierno	0,6	
ALGODÓN	6 a 7 meses	0,6	0,65
ARROZ	3 a 5 meses	1	1,2
CACAO	Todo el año	0,75	0,8
CAFÉ	Todo el año	0,75	0,75
CAÑA DE AZUCAR	Todo el año	0,75	0,65
CITRICOS	7 a 8 meses	0,5	
ESPÁRRAGO	6 a 7 meses	0,6	
FRESA	Todo el año	0,45	0,6
FRIJOL	3 a 4 meses	0,6	0,7
GARBANZO	4 a 5 meses	0,6	0,7
HABA	4 a 5 meses	0,6	0,7
HORTALIZAS	2 a 4 meses	0,6	
LENTEJA	4 meses	0,6	0,7
MAIZ	4 a 7 meses	0,75	0,85
MANGO	Todo el año	0,75	0,8
PASTOS DE GRAMINEAS PASTOS DE TREBOL	Todo el año	0,75	
SANDIA	3 a 4 meses	0,6	
TABACO	4 a 5 meses	0,7	0,8
ZANAHORIA	2 a 4 meses	0,6	

Para el coeficiente global de cultivo, se tomó un valor de 0.75 para todo el año (pasto de gramíneas y trébol)

5. BALANCE HÍDRICO ESPECÍFICO EN LAS VERTIENTES PRINCIPALES

El estudio del balance hídrico enfocado en el área hidrológica, se basa en la aplicación del principio de conservación de masas. Para determinar la existencia de una conservación de masas es necesario recurrir



a la ecuación de la continuidad (ecuación 19), la cual permite conocer la diferencia entre las entradas y las salidas, condicionadas por la variación del volumen de agua almacenada (Heras, 1981).

Las entradas están conformadas principalmente por la precipitación (P), en forma de lluvia o nieve. Las entradas abarcan la precipitación recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (Q_{SI} y Q_{UI}). Las salidas por su parte, incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua (E) y la salida de las corrientes de agua superficial y agua subterránea (Q_{SO} y Q_{uo}). Cuando las entradas superan a las salidas, el volumen de agua almacenada (Δs) aumenta y cuando ocurre lo contrario, disminuye (Heras, 1981).

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{uo} - \Delta s = 0$$

Ecuación 19: Continuidad, balance hídrico

Para la aplicación de la ecuación del balance hídrico en la zona de estudio, el macro deslizamiento Guarumales, se realizó algunas simplificaciones. Los datos antes mencionados, con los que se contó para el análisis como: precipitación, evapotranspiración y la salida de las corrientes de agua superficial permitieron que se desprecie la variación de volumen de agua almacenada en la cuenca antes del estudio (el año hidrológico propuesto en el trabajo comienza en una época menos lluviosa. La ecuación simplificada que se utilizó fue la siguiente:

$$P - ET_o = Q_{so}$$

Ecuación 20: Continuidad, balance hídrico simplificado

Donde:

P , precipitación (mm/mes)

ET_o , evapotranspiración (mm/mes)

Q_{so} , caudal de agua superficial (mm/mes)

Un factor muy importante a tener en cuenta en la exactitud del balance hídrico que se va a obtener es la precipitación. Ya que, la precipitación es la fuente principal de humedad que tiene la masa de suelo, es por ello que conviene que su medida sea con una gran precisión (Heras, 1981).

Para realizar un balance hídrico en cada una de las vertientes principales que se encuentran dentro de la zona de estudio, se usó los resultados obtenidos en los puntos anteriores a fin de contar con los términos que componen la ecuación a aplicarse; y así determinar el caudal en cada punto. Para obtener un caudal

específico teórico (lt/s/ha) se multiplicó el caudal obtenido en la ecuación 20 por el área de aporte de cada punto. Se debe resaltar que cada una de los términos (P y ETo) fueron obtenidos en un régimen mensual. Posteriormente, este caudal se comparó con el caudal obtenido en campo en cada uno de los puntos (mediante los aforos); así se determinó el agua que se supone como infiltrada en el macro deslizamiento. Esta comparación se basó en que el 100% de agua que se considera como entrada (precipitación) deberá salir como lámina escurrida o evapotranspiración. Al comparar los valores iniciales con los finales, se determina un déficit de agua en el camino al no obtenerse la misma cantidad de agua entrante. Obteniendo una pérdida de agua por hectárea en la zona, considerando la infiltración solamente en las quebradas, mas no en el suelo.

Esta infiltración esperada, es el motivo principal para la propuesta de un diseño de vertederos, los cuales servirán como puntos de control del agua que circula (escorrentía) en el macro deslizamiento.

DISEÑO DE VERTEDEROS

Un vertedero es un muro que se interpone al flujo, causando sobre-elevación del nivel de la lámina aguas arriba y disminución aguas abajo. Entre las principales funciones de los vertederos consta el aforo o medición de caudales y la derivación de un determinado caudal (Universidad del Cauca, 2017). Su construcción en corrientes naturales presenta como desventaja la acumulación de sedimentos y su posible obstrucción, por lo que requerirán mantenimiento y limpieza frecuente.

Se diseñaron vertederos en forma de V o triangulares. Este tipo de vertederos trabajan de mejor manera cuando se requiere aforar caudales pequeños, ya que las variaciones en la lectura de la carga hidráulica (H) son más representativas (Universidad del Cauca, 2017). Los vertederos triangulares se recomiendan para aforar caudales pequeños $0.05 < h \leq 0.60\text{m}$ (Fluidos.eia.edu.co, 2017).

Determinación de las dimensiones de los vertederos

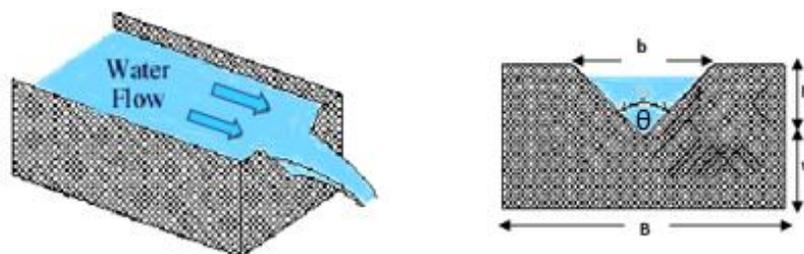


FIGURA 12:Vertedero triangular (Lmnoeng.com, 2017)



$$Q = C_d * \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * h^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación 21: Caudal de diseño (Marbello, 2017)

Donde:

C_d es el coeficiente de gasto

g es la gravedad (m^2/s)

θ es el ángulo que tendrá el vertedero (grados)

h es la altura de agua (m)

Para determinar el coeficiente de gasto se utilizó la ecuación de James Barr, ecuación 22 debido a que resulta más precisa para caudales pequeños.

$$C_d = 0.565 + \frac{0.0087}{h^{0.5}}$$

Ecuación 22: Coeficiente de Gasto (Barr, 1909)

Reemplazando en la ecuación 18 la ecuación 17, se obtiene todo en función de la altura (h) del vertedero:

$$Q = \left(0.565 + \frac{0.0087}{h^{0.5}} * \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * h^{\frac{5}{2}}\right)$$

Ecuación 23: Altura (h) del vertedero

Iterando se encuentra la altura (h), para las otras dimensiones como la base del vertedero (b), la base del canal (B) y el desnivel entre el vértice del vertedero y el fondo del canal (w) se usó las siguientes relaciones (Fluidos.eia.edu.co, 2017):

$$\tan 30^\circ = \frac{b}{2h}$$

$$B \geq 8h$$

$$w \geq 3h$$



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

2.1.1 CAUDALES OBTENIDOS EN LOS AFOROS CON LOS MÉTODOS: MOLINETE, VOLUMÉTRICO, FLOTADOR

En el Anexo 4 se muestran las fotografías de cada uno de los puntos de aforos, los caudales obtenidos en cada uno de los puntos son los siguientes:

MÉTODO DE AFORO DEL MOLINETE

Tabla 8: Caudales obtenidos con el método de aforo del molinete

PUNTO	ÁREA (M ²)	VELOCIDAD (M/S)	CAUDAL (LT/S)	ESQUEMA DE PERFILES TRANSVERSALES
5	0,02	0,524	10,49	
8	0,07475	0,333	24,92	

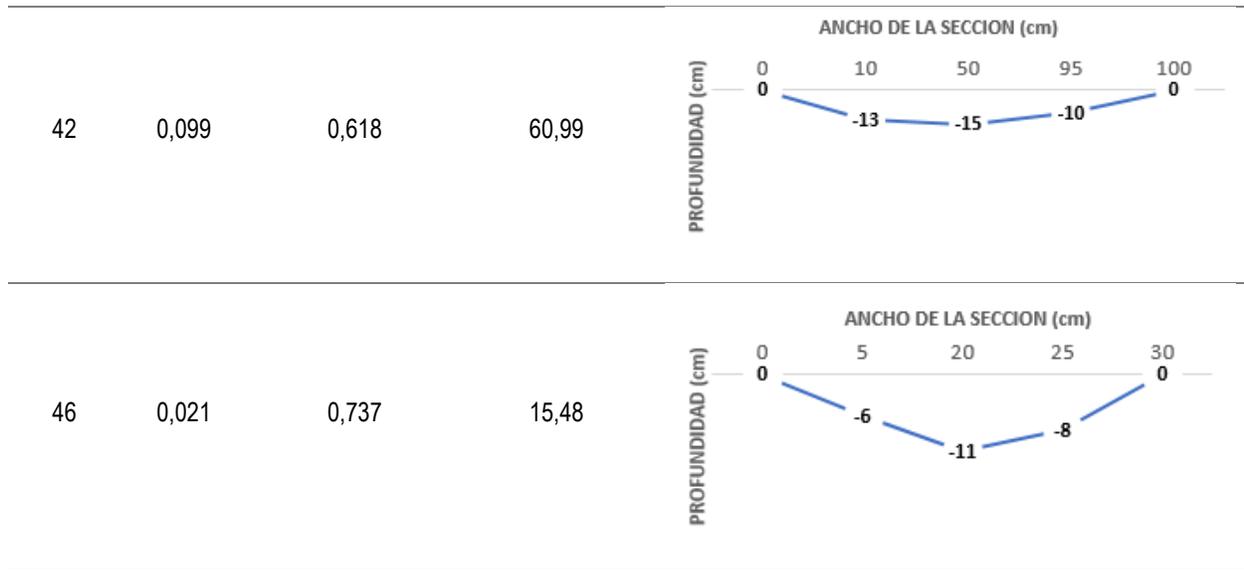


Tabla 8: Caudales obtenidos con el método de aforo del molinete

16	0,0635	0,901	57,21	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p>
23	0,2555	0,470	120,17	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p>
31	0,06375	0,439	27,99	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p>
32	0,20825	0,525	109,33	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p>
41	0,118	0,258	30,48	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p>



Tabla 8: Caudales obtenidos con el método de aforo del molinete



Como se puede apreciar los caudales obtenidos en cada uno de los puntos son grandes, debido a que el método requería de un flujo de agua considerable y un calado relativamente profundo. El mayor caudal se obtuvo en el punto 32 y el menor en el punto 5.

MÉTODO DE AFORO VOLUMÉTRICO

Tabla 9: Caudales obtenidos con el método de aforo volumétrico

PUNTO	CAUDAL (lt/s)
3	0,421
4	0,145
6	0,989
12	1,058
13	0,787
14	1,468
18	0,108
20	0,922
22	0,873



Tabla 9: Caudales obtenidos con el método de aforo volumétrico

25	1,412
30	0,058
36	0,307
40	1,383
47	3,349

Los caudales obtenidos en cada uno de los puntos son bajos. El mayor caudal se obtuvo en el punto 47 y el menor en el punto 30.

MÉTODO DE AFORO DEL FLOTADOR

Tabla 10: Caudales obtenidos con el método de aforo flotador

PUNTO	CAUDAL (lt/s)	CONSIDERACIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN	PERFILES TRANSVERSALES
11	32,30	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	
10	14,68	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	



Tabla 10: Caudales obtenidos con el método de aforo flotador

ID	Caudal (m³/s)	Descripción	Profundidad (cm)	Diagrama de Sección	
				ANCHO DE LA SECCION (cm)	PROFUNDIDAD (cm)
15	4,05	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80		
16	58,34	Arroyo muy poco profundo, de lecho rocoso	0,30		
17	3,94	Arroyo muy poco profundo, de lecho rocoso	0,30		
26	11,22	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80		
27	6,65	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80		



Tabla 10: Caudales obtenidos con el método de aforo flotador

ID	Caudal (m³/s)	Descripción	Profundidad (cm)	Diagrama de Sección
33	4,07	Arroyo pequeño, de lecho parejo	0,75	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>0 10 22 40 44</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p> <p>0 -2 -4 -2 0</p>
37	101,87	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>0 5 25 55 57</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p> <p>-10 -10 -10 -10 -10</p>
39	37,02	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>0 5 20 38 40</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p> <p>-2 -2 -2 -2 -2</p>
44	2,94	Arroyo muy poco profundo, de lecho rocoso	0,30	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>0 10 22 40 47</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p> <p>0 -4 -5 -5 0</p>
45	106,22	Arroyo rápido y turbulento	0,45	<p>ANCHO DE LA SECCION (cm)</p> <p>0 4 40 76 80</p> <p>PROFUNDIDAD (cm)</p> <p>0 -12 -17 -12 0</p>



Tabla 10: Caudales obtenidos con el método de aforo flotador

47	7,22	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	
48	8,65	Canal rectangular, con lados y lechos desgastados	0,80	

Los caudales obtenidos en cada uno de los puntos son variados, debido a que se aforó desde cunetas hasta canales con caudales considerables con este método. El mayor caudal se obtuvo en el punto 45 y el menor en el punto 44.

2.1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN OBTENIDA CON LOS MÉTODOS: PENMANN-MONTEITH, HARGREAVES, THORNTHWAITE Y BLANNEY CRIDDLE

Estos fueron los resultados que se obtuvo del cálculo de la evapotranspiración con cada uno de los métodos

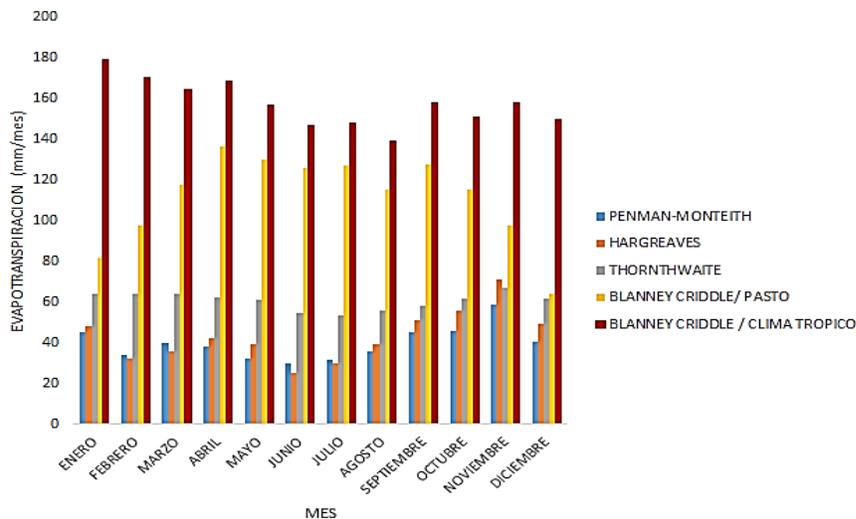


FIGURA 13: Evapotranspiración obtenida por los diferentes métodos



Penman-Monteith, es el método más seguro debido a que hace uso de variables como: distintas temperaturas, humedades relativas, velocidad de viento, temperatura de rocío y presión atmosférica; dando una visión general y real de la evapotranspiración en la zona. Con este método se obtuvieron valores de 30 mm/mes a 58 mm/mes, con un valor medio de 40 mm/mes. La evapotranspiración anual es de 475,80 mm/año.

El método de Blaney y Criddle, se basa en el tipo de vegetación. En la zona de estudio la vegetación no es homogénea (pasto en un 30% y vegetación de clima trópico 70%) Ver Anexo 5, por lo que sus resultados no son idóneos para el estudio. Se obtuvieron valores de evapotranspiración entre 54mm/mes y 137mm/mes, con un valor medio de 111mm/mes y un valor anual de 1334 mm/año, para el pasto. Y valores de evapotranspiración entre 139mm/mes y 179mm/mes, con un valor medio de 157mm/mes y un valor anual de 1887 mm/año para la vegetación de clima trópico).

El método de Thornthwaite por su parte, se basa en el promedio de la temperatura máxima y mínima. El uso de una sola variable hidrológica no resulta certero, ya que la temperatura por sí sola no puede representar la realidad del entorno. Con este método se obtuvieron valores de 53 mm/mes a 67 mm/mes, con un valor medio de 60,6 mm/mes. La evapotranspiración anual es de 726,66 mm/año.

El método de Hargreaves por otro lado, se basa en la temperatura máxima, mínima y media y radiación solar; por lo que es más confiable y certero que los anteriores, al incluir una variable adicional. La evapotranspiración corregida con las ecuaciones de Hargreaves, se acercan bastante a la realidad. Con este método se obtuvieron valores de 25 mm/mes a 71 mm/mes, con un valor medio de 43 mm/mes. La evapotranspiración anual es de 517,19 mm/año.

Se consideró también que el método de Blaney y Criddle y el método de Thornthwaite no deben ser aplicados en zonas con condiciones climáticas extremas, porque pueden generar subestimaciones en climas áridos y sobreestimaciones en climas húmedos (Marín Valencia, 2010). Su uso se recomienda cuando sólo se dispone de datos de temperatura y cuando los períodos analizados son superiores a un mes (Allen & Pruitt 1986, Marín Valencia 2010).

Con los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves, la evapotranspiración mínima se da en el mes de junio y la máxima en el mes de noviembre. Con el método de Thornthwaite la evapotranspiración mínima se da en el mes de julio y la máxima en el mes de noviembre. Con el método de Blaney y Criddle la evapotranspiración mínima se da en el mes de diciembre (pasto) y agosto (vegetación de clima tropical); y la máxima en el mes de abril (pasto) y enero (vegetación de clima tropical).



Para la caracterización hidrológica del macro deslizamiento Guarumales, se seleccionó el método de Penman- Monteith en el cálculo de evapotranspiración.

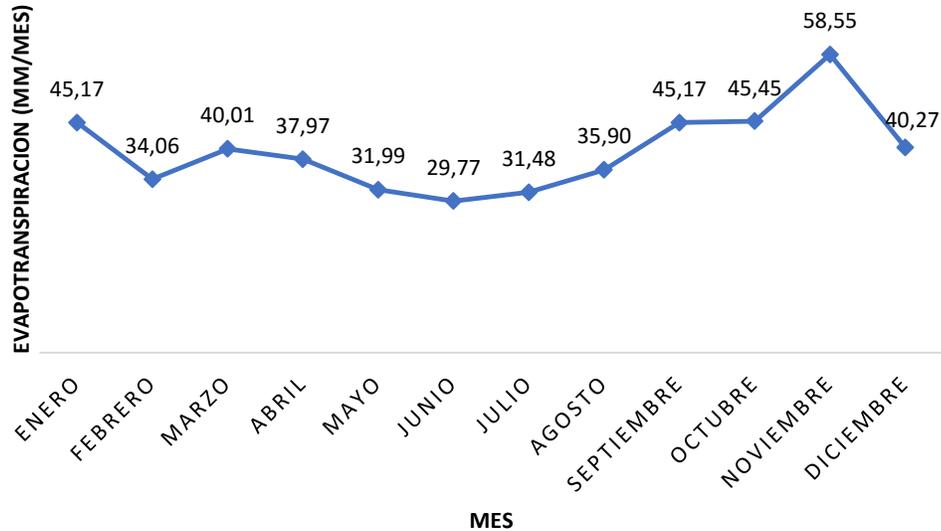


FIGURA 14: Promedio mensual de evapotranspiración: Método Penman Moteith.

Las evapotranspiraciones más altas se tienen en los últimos meses del año, presentando como más alta una de 58.55 mm/ mes en noviembre. Esto tiene relación con la temperatura, ya que en estos mismos meses se tienen las temperaturas más altas (figura 13). Por otro lado, las evapotranspiraciones más bajas se tienen en los meses de junio y julio, presentando en este rango la más baja de 29.77 mm/mes. En estos meses se presentan temperaturas bajas en comparación con los demás meses.

2.1.3 BALANCE HÍDRICO

La caracterización hidrológica realizada está enfocada en la determinación de las pérdidas de caudales a partir del balance hídrico.

Observando la figura 9 del capítulo anterior, en la que se presentan 5 fuentes hídricas principales que se encuentran en el macro deslizamiento Guarumales, se determinó las áreas de aporte de cada una de estas fuentes.

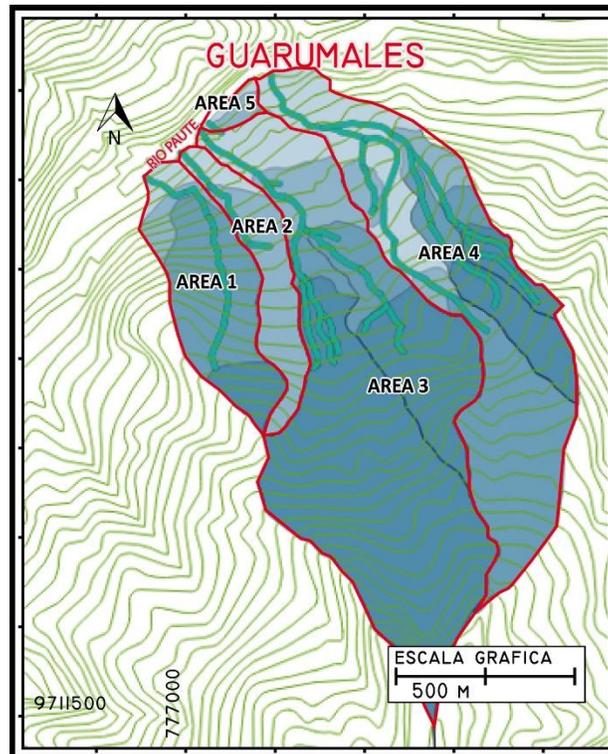


FIGURA 15: Áreas de aporte de las cinco fuentes hídricas principales

Una vez determinadas las áreas (figura 15), y mediante el método del balance hídrico se calculó un caudal teórico para cada punto de aforo, tal como se indica en el Anexo 4. Con estos resultados se obtuvo el rendimiento hídrico o caudal específico, que es la relación del caudal con el área de aporte en hectáreas. El rendimiento hídrico da una idea de la cantidad de agua que aporta por hectárea cada punto, lo que servirá posteriormente, para el análisis de la cantidad de agua que se está perdiendo.

En la tabla 11 se observa la pérdida de caudal específico en cada uno de los puntos con relación a su área de aporte. La pérdida está determinada por la diferencia entre el caudal específico práctico y el teórico de cada uno de los puntos.



Tabla 11: Cinco zonas con los puntos y la pérdida que presenta cada una

ZONA	PUNTO	ÁREA DE APORTE (Ha)	CAUDAL (lt/s)		CAUDAL ESPECÍFICO (lt/s/ha)		PÉRDIDA (lt/s/ha)
			PRÁCTICO	TEÓRICO	PRÁCTICO	TEÓRICO	
1	27	57,279	7,070	32,492	0,123	0,567	0,444
	47	51,170	7,220	29,026	0,141	0,567	0,426
	18	10,192	0,108	5,787	0,011	0,567	0,557
2							
	26	33,001	11,930	19,803	0,362	0,600	0,239
	46	29,309	15,480	16,625	0,528	0,567	0,039
3							
	23	245,387	120,170	139,196	0,490	0,567	0,078
	45	228,885	106,220	129,835	0,464	0,567	0,103
	42	155,765	60,990	88,358	0,392	0,567	0,176
	41	56,303	30,480	31,938	0,541	0,567	0,026
	A	150,014	66,590	85,095	0,444	0,567	0,123
	C	40,245	1,845	22,829	0,046	0,567	0,521
4							
	25	163,941	1,412	92,995	0,009	0,567	0,559
	44	5,589	2,940	3,170	0,526	0,567	0,041
	32	52,939	27,990	30,030	0,529	0,567	0,039
	36	28,627	0,307	16,238	0,011	0,567	0,557
	33	15,120	4,070	8,577	0,269	0,567	0,298
	11	66,288	34,320	37,602	0,518	0,567	0,050
	10	62,533	15,600	35,472	0,249	0,567	0,318
	D	20,336	11,479	11,535	0,564	0,567	0,003
	E	10,349	0,566	5,871	0,055	0,567	0,513
5							
	22	5,010	0,922	2,842	0,184	0,567	0,383
	20	3,098	0,873	1,757	0,282	0,567	0,285

Para determinar la pérdida de agua en el macro deslizamiento, se analizaron los caudales aforados punto a punto, desde el inicio del macro deslizamiento hasta el final. Al comparar el caudal final con el inicial, se halló que en algunos puntos había un déficit de caudal, lo que determina un indicio de infiltración. Ver figura 16, zonas de infiltración determinadas. El mayor déficit de agua se presentó en el área 4, entre los puntos de aforo (ver figura 10) B y 25. B es la suma de los caudales de los cauces secundarios 11, 32, 44 (puntos de aforo).

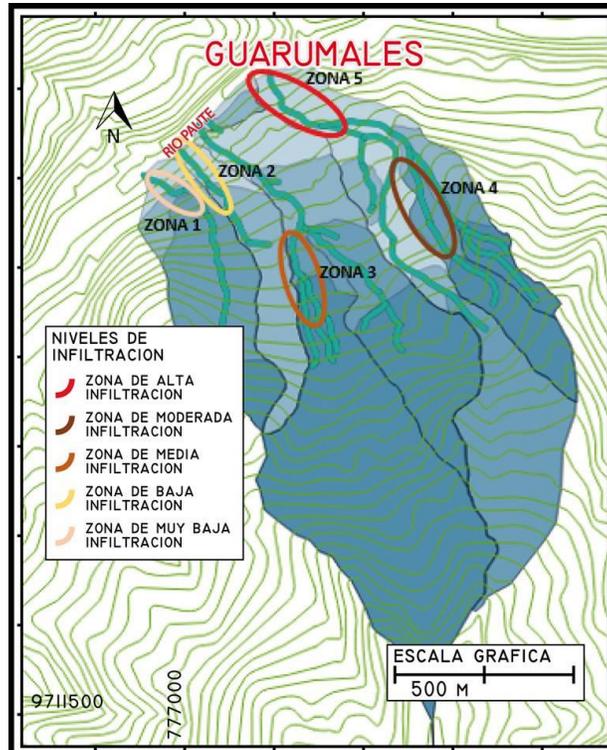


FIGURA 16: Zonas de infiltración

La tabla 12 muestra las zonas que presentan mayores pérdidas en el macro deslizamiento, a través del análisis de los caudales aforados punto a punto.

Tabla 12: Cinco zonas con los puntos y la pérdida que presenta cada una

ZONA	PUNTO	PÉRDIDA (Lt/s)
1	27-47	0,15
2	26-46	3,55
3	42-A (suma de los cauces 15,16,17)	5,66
4	5-36	11,16
5	B(suma de los cauces 11, 32, 44) -25	63,83

Los puntos A, B, C, D y E son considerados como unión de los cauces secundarios. Punto A (suma de los cauces 15,16 y 17). Punto B (suma de los cauces 11, 32, 44). Punto C (suma de cauces 13 y 13). Punto D (suma de los cauces 6 y 5). Punto E (suma de los cauces 3 y 4)

2.2 DISEÑO DE VERTEDEROS

Debido a los resultados obtenidos en el punto anterior, que sugieren una infiltración significativa en algunas de las zonas, se propuso un diseño de vertederos que sirvan como puntos de control del agua que circula en el macro deslizamiento.

La ubicación de estos vertederos se determinó considerando las zonas que presentan una pérdida de caudal notablemente mayor (ver figura 17). La pérdida de caudal se halló mediante el balance hídrico al comparar el caudal que se obtuvo en la práctica y el específico determinado.

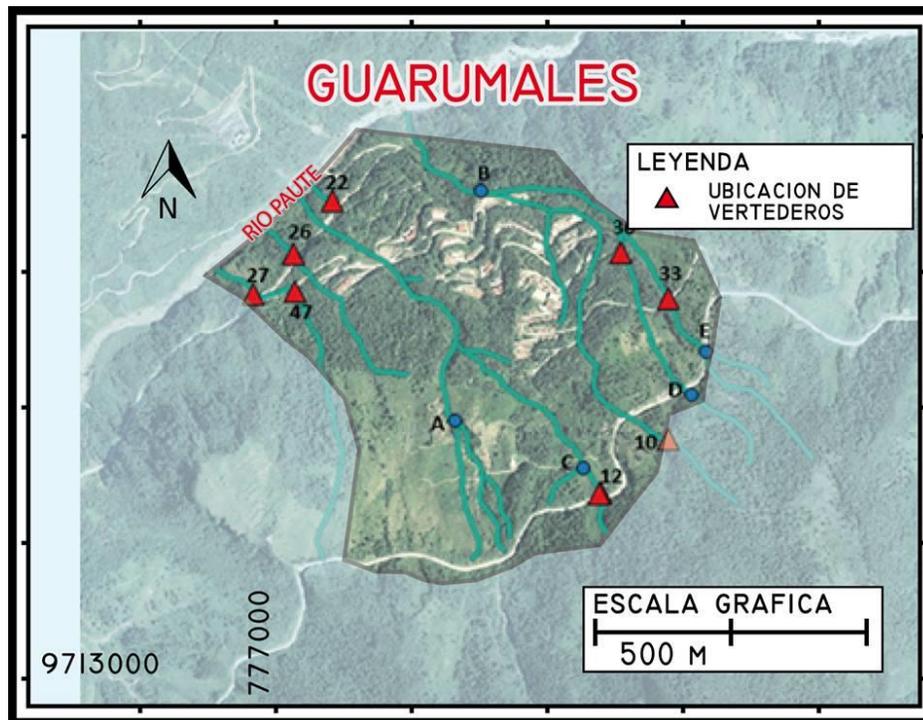


FIGURA 17: Ubicación de vertederos



Consideraciones para el diseño:

- Vertederos de tipo triangular con ángulo de 60° , ya que la toma de datos y medición de caudales es más precisa.
- Caudal de diseño: caudal obtenido en los aforos (mes de diciembre), tomando en cuenta un factor de crecida de 1.4 (mes de abril) y reduciéndolo a 1.2 debido a las infiltraciones presentes en la zona. No se diseñaron con caudales máximos debido a que no se realizaron aforos en el mes de abril (precipitaciones más altas).

Tabla 13: Caudales de diseño en cada vertedero

ZONA	PUNTO DE CONTROL	CAUDAL DE DISEÑO (lt/s)
4	10	19
4	33	5
2	26	14,3
1	27	8,5
1	47	8,7

Dimensiones de los vertederos:

Tabla 14: Dimensiones de cada vertedero

ZONA	PUNTO DE CONTROL	h(m)	b(m)	w(m)	B(m)
4	10	0,225	0,259	0,673	1,8
4	33	0,131	0,151	0,393	1,048
2	26	0,2	0,231	0,600	1,6
1	27	0,162	0,187	0,487	1,296
1	47	0,163	0,189	0,491	1,304

Para los puntos en donde los caudales son pequeños debido a que son cunetas en donde no corre suficiente agua para considerar un diseño de vertederos. Se propone un control a través de lecturas de la altura de la lámina de agua, obteniendo así un registro diario para estudios futuros. Ver tabla 15.



Tabla 15: Caudales bajos para puntos de control

ZONA	PUNTO DE CONTROL	CAUDAL (lt/s)
4	36	1
3	12	2,21
5	22	1,2



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- De los aforos realizados se observa que los mayores caudales obtenidos con el método del molinete se encuentran en la zona 3 (zona media del campamento). Según lo observado en campo, se corrobora que hasta este punto el agua se encuentra encausada de forma correcta mediante subdrenes y cunetas. Por lo que se concluye que esta zona presenta una pérdida de agua no relevante, la cual provoca una infiltración media.
- La evapotranspiración obtenida mediante los 4 métodos que requieren de distintos factores hidrometeorológicos dio resultados diferentes, cada valor dependió de las variables que intervenían en el cálculo en cada uno de los métodos. El método de Penman-Monteith utiliza en sus ecuaciones: temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y altitud, captando mejor la variación de los distintos componentes del clima. Para la caracterización hidrológica del macro deslizamiento Guarumales, se usó el método más seguro y eficiente, Penman- Monteith.
- A través de la determinación del rendimiento de caudal, en dónde se analizó la diferencia de caudal específico punto a punto. La parte más baja del área 4, es donde se encuentra la zona de mayor infiltración (ver figura 14 y 15) causada por las fisuras presentes en este lugar; coincidiendo con la zona de mayor movimiento en el macro deslizamiento Guarumales, según los análisis presentados en el Informe Guarumales 2016. Otra zona con bastante infiltración es la 3 (ver figura 15) causada por la vegetación del sitio, pasto, y por la desviación de cunetas y drenes constatada en campo, por parte de poblaciones aledañas ver Anexo 6.
- Existe una pérdida de agua puntual variando entre 0.3% - 56% con relación a los caudales aforados, que podría ser causada por infiltración, lo cual confirmaría la teoría inicial donde se sostiene que el movimiento de masa de tierra se da debido al agua que se infiltra, especialmente por las fisuras que presenta la zona. Esto provoca el posterior lavado del material arcilloso que constituye el macro deslizamiento y la reducción de la resistencia y el aumento de la presión de poros del suelo.



- En la parte alta del macro deslizamiento mediante la ortofoto SIG-TIERRAS 2009 se determinó zonas con cobertura vegetal de pasto, esto se constató en campo con la presencia de sembríos y pasto. Este tipo de vegetación genera una mayor acumulación de agua e infiltración, debido a que el agua de riego no se encuentra encausada. Aumentando el peso en la parte baja del talud.

RECOMENDACIONES

- Mantenimiento y limpieza de cunetas, evitando así la acumulación, desviación e infiltración del agua.
- Mantenimiento de drenes, existen algunos que debido al movimiento del talud ya no se encuentran funcionando, y otros que han colapsado.
- Construcción de los vertederos, como medidores de caudales, propuestos en el presente trabajo. Estos vertederos servirán como puntos de control, su ubicación se basó en la accesibilidad del personal del campamento, asegurando así el buen mantenimiento y el registro diario del comportamiento de las quebradas.
- Limpieza y rehabilitación de senderos ecológicos como medida de conciencia y responsabilidad ciudadana.
- La colaboración en la mejora de sistemas de riego para las comunidades aledañas, a más de la concientización de la utilidad de los drenes como medida de desfogue del agua acumulada en el talud; la misma que deberá llegar al río sin ser interrumpida en ningún punto.



CAPITULO V

LIMITACIONES Y TRABAJO A FUTURO

LIMITACIONES

- El Método de transposición de caudales no es aplicable en la zona de estudio, debido a que no se tiene cuencas cercanas con características similares a las del macro deslizamiento Guarumales. La cuenca más cercana es la cuenca del Collay, que se encuentra a una distancia aproximada de 30 km y presenta características distintas como: una precipitación anual de 814 mm, etc.
- Falta de tiempo para realizar aforos en el mes que presenta las lluvias altas (abril). Para un diseño de vertederos más apegado a la realidad se deberá considerar caudales máximos, que se obtienen en el mes de abril. Estos servirán como puntos de control de la escorrentía en la zona de estudio.

TRABAJO A FUTURO

Como trabajo a futuro se plantea la extensión temporal de los aforos, completando como mínimo un año hidrológico y la determinación de la infiltración en el suelo, teniendo en cuenta la humedad del mismo. Se recomienda la investigación de aguas subterráneas (niveles freáticos) y actividad sísmica en el sitio, lo que proporcionaría una visión de la situación más amplia, en la que se podría evaluar de mejor manera los riesgos y amenazas que presenta el macro deslizamiento Guarumales.



REFERENCIAS

- Abril, B., & Knight, D. (2004, February). Stabilising the Paute river in Ecuador. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 157, No. 1, pp. 32-38). Thomas Telford Ltd.
- Academiatesto.com.ar. (2017). *Humedad relativa | Academia Testo*. [en línea] Disponible en: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/humedad-relativa>
- Astromia.com. (2017). *Vientos y precipitaciones*. [en línea] Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/vientolluvia.htm>
- Basabe, P., Almeida, E., Ramón, P., Zeas, R., & Alvarez, L. (1996). Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador. *Bull. Inst. Fr. études Andines*, 25(3), 443-458. article.
- Cevallos Andrade, L. S. (2010). Análisis de la estabilidad y diagnóstico del talud de a zona no. 2 en Guarumales. article.
- Climatik.mx. (2017). *CR800 MEDICIÓN Y CONTROL DATALOGGER | Estudios Climaticos Especializados*. [en línea] Disponible en: <http://www.climatik.mx/CR800>
- Coello, C. (2016). *Curso de Hidrometría*, Facultad de Ingeniería.
- Dercon, G., Bossuyt, B., Bievre, B. D., Cisneros, F., & Deckers, J. (1998). Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano. *Sort*, 100, 250.
- Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. book, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos.
- Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. (2016). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Hidráulica*.
- Estudio Fao, Riego y Drenaje. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- Fluidos.eia.edu.co. (2017). *Aforo de corrientes de agua*. [en línea] Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoencanales/aforamientocorrientes/aforodecorrientes.html>
- Fluidos.eia.edu.co. (2017). *Vertedero triangular*. [en línea] Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/vertedortriang2/verttriang2.html>
- Garmin. (2017). *Garmin Ecuador*. [en línea] Disponible en: <http://www.garmin.ec>
- Guns, M., & Vanacker, V. (2013). Forest cover change trajectories and their impact on landslide occurrence in the tropical Andes. *Environmental earth sciences*, 70(7), 2941-2952.
- Hidropaute, Jefatura de Gestión Social y Ambiental. (2016). *Informe de Monitoreo Geológico, Macro-deslizamiento Guarumales*.
- Historiaybiografias.com. (2017). *Elementos del Clima Temperatura Presion Atmosferica Humedad Lluvia*. [en línea] Disponible en: <http://historiaybiografias.com/clima2/>
- INECEL: PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA SOPLADORA. (1992). Estudios de factibilidad; Anexo 3-Geología y Geotécnica.



- Ingenierocivilinfo.com. (2017). *Método del Molinete Hidrométrico*. [en línea] Disponible en: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/metodo-del-molinete-hidrometrico.html>
- Lmnoeng.com. (2017). *V Notch Weir Discharge Calculator and Equations*. [en línea] Disponible en: <http://www.lmnoeng.com/Weirs/vweir.php>
- Lopez, M. H. (1995). *Estudio Geológico – Geotécnico del Macro Deslizamiento de Guarumales*. Universidad Central del Ecuador.
- Olaya Victor (Ed.) (2011) *Sistemas de Información Geográfica*, Capítulo 27 “El mapa y la comunicación cartográfica”
- Plaza, G., & Egüez, A. (1993). Consideraciones geológico-geotécnicas sobre el deslizamiento de la Josefina. *Memorias Del Coloquio Científico El Deslizamiento de La Josefina*. article.
- Sivisaca, J., & Lenin, O. (2011). Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alta del río Catamayo hasta la estación el Arenal en el sitio el Boquerón, provincia de Loja.
- SOTO, M. D. S., MARTI, V. P., SORIANO, L. G. E., & PALACIOS, J. L. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA PROVINCIA DE VALENCIA UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga - Colombia.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos*. Análisis geotécnico Vol. 1.
- Universidad del Cauca, Departamento de Hidraulica. Practica II, II Estudio y patronamiento de vertederos. [en línea].
- Urgilez, A. R. (2016). *Development of a hydrogeological model for managing deep-seated landslides in Guarumales – Ecuador*. New Castle University. United Kingdom.
- Vásconez, F. (2000). *Análisis de la Peligrosidad de Grandes Deslizamientos en la República del Ecuador con el caso-ejemplo Guarumales*. Johannes Gutenberg University of Mainz.
- Zeas, R. (2013). El deslizamiento de la Josefina “Tragedia Nacional.” Galileo, (23).



ANEXOS

ANEXO 1

	PRECIPITACION mm	HUMEDAD %			TEMPERATURA °C			RADIACION SOLAR w/m2	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s	PRESION ATMOSFÉRICA mbar	TEMPERATURA DE ROCIO °C
		MINIMA	MAXIMA	MEDIA	MINIMA	MAXIMA	MEDIA				
ENERO	148,8	74,14	98,88	97,82	13,82	21,39	17,31	3,32	3,32	828,27	3,73
FEBRERO	170,9	79,93	99,28	98,46	15,36	20,80	17,32	2,51	2,51	827,84	3,82
MARZO	208,2	78,68	99,06	97,85	15,34	20,74	17,08	2,76	2,76	827,56	3,83
ABRIL	377,8	77,85	99,46	98,38	14,96	20,97	17,01	2,81	2,81	828,16	3,71
MAYO	292,7	79,92	99,48	98,44	14,80	20,51	16,82	2,56	2,56	829,19	3,47
JUNIO	348,6	83,73	99,44	98,10	14,26	18,56	15,82	1,74	1,74	830,00	3,33
JULIO	300,8	83,39	99,32	98,00	13,84	18,61	15,60	2,03	2,03	830,15	3,38
AGOSTO	189,1	73,89	98,19	95,94	13,80	20,12	15,97	2,62	2,62	829,92	3,61
SEPTIEMBRE	170,6	67,93	98,09	95,55	13,82	21,40	16,53	3,45	3,45	829,33	3,81
OCTUBRE	250,5	70,92	98,94	97,01	14,40	21,79	16,96	3,58	3,58	828,49	3,85
NOVIEMBRE	189,4	66,78	98,22	94,31	14,67	22,72	17,74	4,65	4,65	827,01	3,76
DICIEMBRE	187,3	78,31	99,05	98,03	14,73	20,61	17,00	3,19	3,19	827,62	3,69

FIGURA A1: Resumen de la Información hidrometeorológica proporcionada por CELEC EP Unidad de Negocio Hidropaute



ANEXO 2

Pluviómetro TR – 525M		
MARCA	ESPECIFICAR	TEXAS INSTRUMENT-CAMPBELL
MODELO	ESPECIFICAR	TE525MM
METODO DE MEDICION	Cubetas basculantes con interruptor de láminas magnéticas	Cubetas basculantes con interruptor de láminas magnéticas
MATERIAL	Aluminio Anodizado	Aluminio Anodizado
RESISTENTE A TEMPERATURAS	0 a +50°C	0 a +50°C
ORIFICIO DE EMBUDO	ESPECIFICAR	24.1 cm
LLUVIA MEDIDA POR PULSO	0.1 mm	0.1mm
RESOLUCION	1 pulso	1 pulso
EXACTITUD	+ - 1% sobre la mm/hr, + 0.3% de 10 a 20 mm/hr, +0.5% de 20 a 30 mm/hr	La precisión es la siguiente: ±1% (up a 10 mm/hr) +0.3% (10 a 20 mm/hr) +0.5% (20 a 30 mm/hr)

FIGURA A2: Características y especificaciones generales del pluviómetro.



ANEXO 3

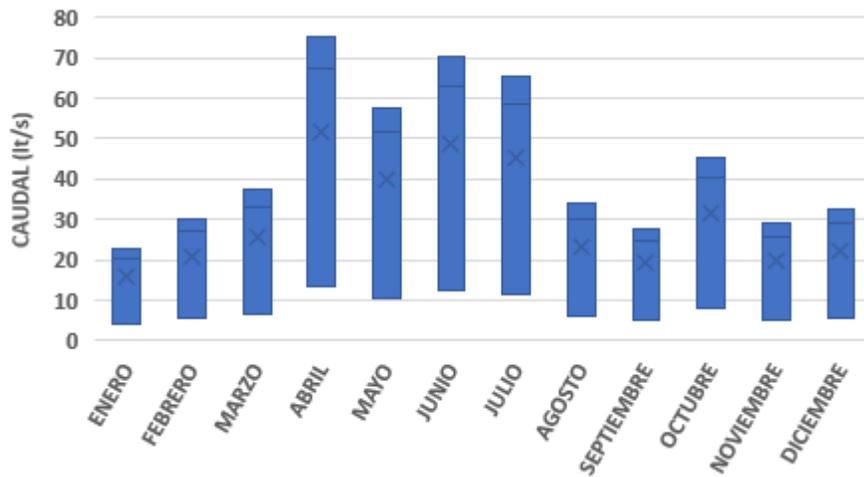


FIGURA A3.1: Diagrama de caja del área 1

AREA 1	Q1	MEDIANA	Q3	RANGO INTERCUARTILICO
ENERO	4,07	20,45	22,89	18,82
FEBRERO	5,38	27,01	30,24	24,86
MARZO	6,61	6,61	37,17	30,55
ABRIL	13,36	67,08	75,10	61,73
MAYO	10,25	33,20	57,61	47,36
JUNIO	12,54	62,93	70,45	57,91
JULIO	11,65	58,49	65,48	53,83
AGOSTO	6,02	30,24	33,86	27,83
SEPTIEMBRE	4,93	24,76	27,72	22,79
OCTUBRE	8,06	40,48	45,32	37,26
NOVIEMBRE	5,14	25,82	28,91	23,76
DICIEMBRE	5,78	29,02	32,49	26,71

TABLA A3.1: Resumen del diagrama de caja del área 1

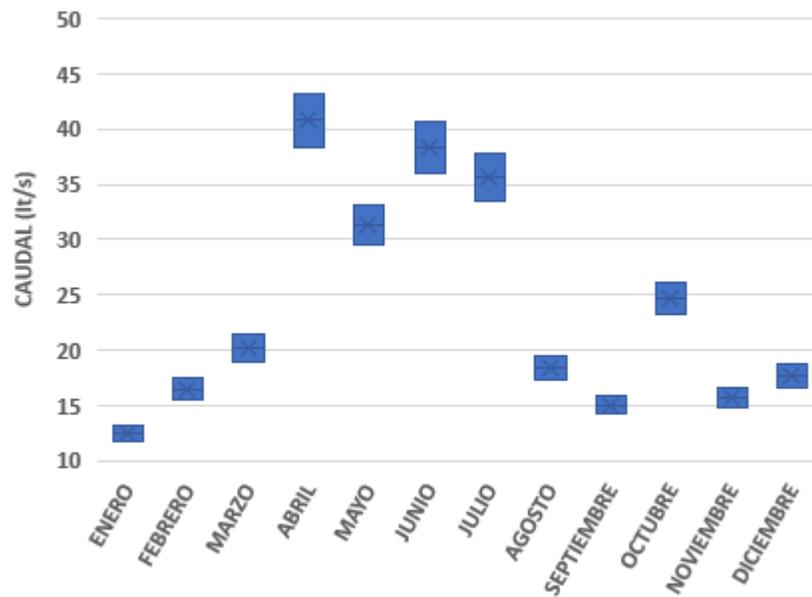


FIGURA A3.2: Diagrama de caja del área 2

AREA 2	Q1	MEDIANA	Q3	RANGO INTERCUARTILICO
ENERO	11,714	12,45	13,19	1,48
FEBRERO	15,473	16,44	17,42	1,95
MARZO	19,018	20,21	21,41	2,40
ABRIL	38,426	38,41	43,27	4,84
MAYO	29,479	31,33	33,19	3,71
JUNIO	36,048	38,31	40,59	4,54
JULIO	33,506	35,61	37,73	4,22
AGOSTO	17,323	18,41	19,51	2,18
SEPTIEMBRE	14,183	15,07	15,97	1,79
OCTUBRE	23,190	24,65	26,11	2,92
NOVIEMBRE	14,791	15,72	16,65	1,86
DICIEMBRE	16,625	17,67	18,72	2,09

TABLA A3.2: Resumen del diagrama de caja del área 2

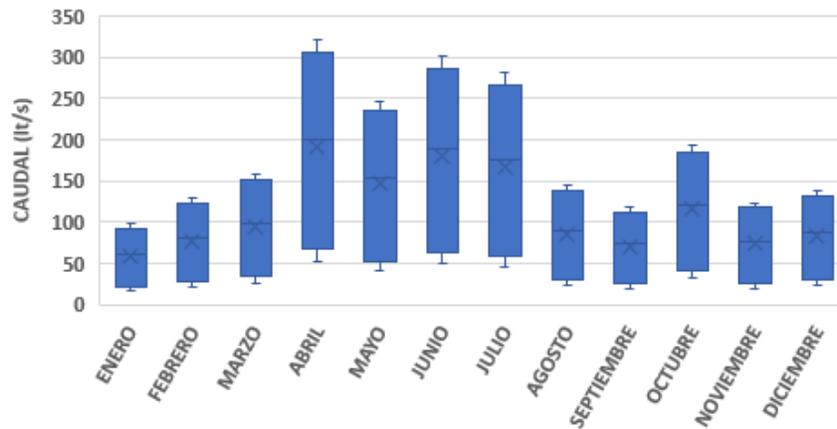


FIGURA A3.3: Diagrama de caja del área 3

AREA 3	Q1	MEDIANA	MAXIMO	MINIMO	Q3	RANGO INTERCUARTILICO
ENERO	20,89	61,10	98,07	16,08	93,12	72,23
FEBRERO	27,60	80,71	129,55	21,25	123,01	95,41
MARZO	33,93	99,20	159,23	26,11	151,20	117,27
ABRIL	68,55	200,45	321,72	52,76	305,50	236,95
MAYO	52,59	153,78	246,82	40,48	231,37	181,77
JUNIO	64,31	188,04	301,81	49,50	286,56	222,25
JULIO	59,77	174,78	280,53	46,01	266,38	206,61
AGOSTO	30,90	90,36	145,04	23,79	137,72	106,82
SEPTIEMBRE	25,30	73,98	118,75	19,48	112,76	87,46
OCTUBRE	47,37	120,96	194,16	31,84	184,36	142,99
NOVIEMBRE	26,80	77,16	123,84	20,31	117,60	90,80
DICIEMBRE	26,66	86,73	139,20	22,83	132,18	102,51

TABLA A3.3: Resumen del diagrama de caja del área 3

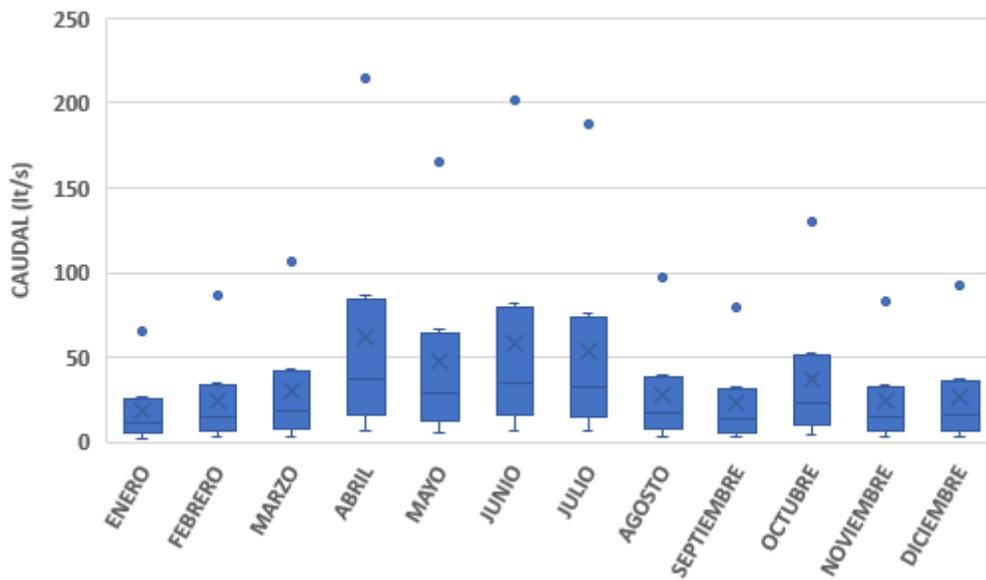


FIGURA A3.4: Diagrama de caja del área 4

AREA 4	Q1	MEDIANA	MAXIMO	MINIMO	Q3	RANGO INTERCUARTILICO
ENERO	5,08	11,44	26,49	2,23	25,74	20,66
FEBRERO	6,72	15,11	35,00	2,95	34,00	27,28
MARZO	8,26	18,58	43,01	3,63	41,57	33,31
ABRIL	16,69	37,53	86,91	7,33	84,44	67,75
MAYO	12,80	28,79	66,67	5,62	64,78	51,98
JUNIO	15,66	35,21	81,53	6,87	79,22	63,56
JULIO	14,55	32,73	75,78	6,39	73,63	59,08
AGOSTO	7,52	16,92	39,18	3,30	38,07	30,55
SEPTIEMBRE	6,16	13,85	32,08	2,70	31,17	25,01
OCTUBRE	10,07	22,65	52,45	4,42	50,96	40,89
NOVIEMBRE	6,42	14,45	33,45	2,82	32,50	26,08
DICIEMBRE	7,22	16,24	37,60	3,17	36,53	29,31

TABLA A3.4: Resumen del diagrama de caja del área 4

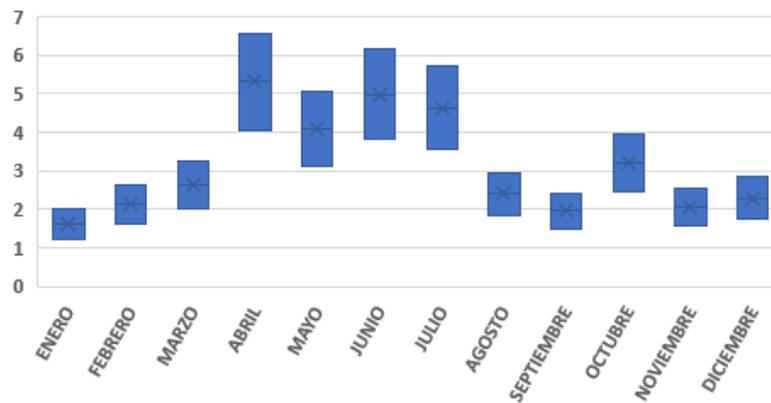


FIGURA A3.5: Diagrama de caja del área 5

AREA 5	Q1	MEDIANA	Q3	RANGO INTERCUARTILICO
ENERO	1,238	1,62	2,00230148	0,76
FEBRERO	1,635	2,14	2,64489686	1,01
MARZO	2,010	2,63	3,25093283	1,24
ABRIL	4,061	5,31	6,56837018	2,51
MAYO	3,116	4,07	5,03915039	1,92
JUNIO	3,810	4,98	6,16191843	2,35
JULIO	3,541	4,63	5,72741575	2,19
AGOSTO	1,831	2,39	2,96118852	1,13
SEPTIEMBRE	1,499	1,96	2,42449095	0,93
OCTUBRE	2,451	3,20	3,9640104	1,51
NOVIEMBRE	1,563	2,04	2,52841917	0,97
DICIEMBRE	1,757	2,29	2,8419223	1,08

TABLA A3.5: Resumen del diagrama de caja del área 5

ANEXO 4

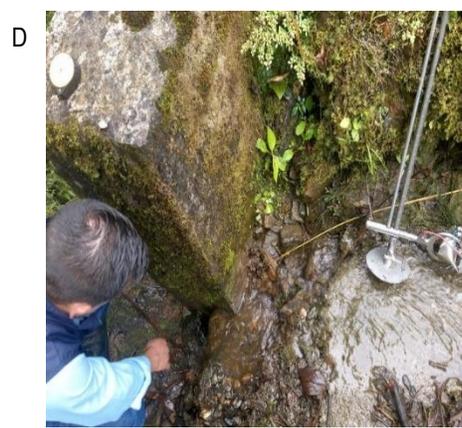


FOTO A 4.1: Puntos de aforo. A, B, D, E puntos 3, 4, 6 y 25 respectivamente; aforados con el método volumétrico. C, punto 5, aforado con el método del molinete. F, punto 11, aforado con el método del flotador.



FOTO A 4.2: Puntos de aforo. A, D, F puntos 10, 27 y 16 respectivamente; aforados con el método del flotador. B, C, puntos 12 y 13 respectivamente; aforados con el método volumétrico. E y F, puntos 8 y 16 respectivamente; aforados con el método del molinete.



FOTO A 4.3: Puntos de aforo. A, B, D puntos 14, 18 y 20 respectivamente; aforados con el método volumétrico. C, punto 23, aforado con el método del molinete. E y F, puntos 33 y 26 respectivamente; aforados con el método del flotador.

A



B



C



FOTO A 4.4: Puntos de aforo. A punto 40; aforado con el método volumétrico. B y C, puntos 31 y 32; aforados con el método del molinete.

ANEXO 5

A



B



C



FOTO A5: A y B, muestran la vegetación de clima trópico. C, muestra los dos tipos de vegetación que se presenta en la zona de estudio.



ANEXO 6

PUNTO 27	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	57,279	22,892
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	57,279	30,239
MARZO	208,2	40,008	168,192	57,279	37,168
ABRIL	377,8	37,975	339,825	57,279	75,096
MAYO	292,7	31,992	260,708	57,279	57,613
JUNIO	348,567	29,77	318,797	57,279	70,449
JULIO	327,8	31,483	296,317	57,279	65,481
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	57,279	33,855
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	57,279	27,719
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	57,279	45,32
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	57,279	28,907
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	57,279	32,492

TABLA A6.1: Balance hídrico del área 1

PUNTO 47	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	51,17	20,451
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	51,17	27,014
MARZO	208,2	40,008	168,192	51,17	33,203
ABRIL	377,8	37,975	339,825	51,17	67,086
MAYO	292,7	31,992	260,708	51,17	51,467
JUNIO	348,567	29,77	318,797	51,17	62,935
JULIO	327,8	31,483	296,317	51,17	58,497
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	51,17	30,244
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	51,17	24,763
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	51,17	40,486
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	51,17	25,824
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	51,17	29,026

TABLA A6.2: Balance hídrico del área 1



PUNTO 18	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	10,192	4,073
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	10,192	5,38
MARZO	208,2	40,008	168,192	10,192	6,613
ABRIL	377,8	37,975	339,825	10,192	13,362
MAYO	292,7	31,992	260,708	10,192	10,251
JUNIO	348,567	29,77	318,797	10,192	12,535
JULIO	327,8	31,483	296,317	10,192	11,651
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	10,192	6,024
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	10,192	4,932
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	10,192	8,064
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	10,192	5,144
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	10,192	5,781

TABLA A6.3: Balance hídrico del área 1

PUNTO 26	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	33,001	13,189
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	33,001	17,422
MARZO	208,2	40,008	168,192	33,001	21,414
ABRIL	377,8	37,975	339,825	33,001	43,266
MAYO	292,7	31,992	260,708	33,001	33,193
JUNIO	348,567	29,77	318,797	33,001	40,589
JULIO	327,8	31,483	296,317	33,001	37,727
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	33,001	19,505
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	33,001	15,97
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	33,001	26,111
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	33,001	16,655
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	33,001	18,72

TABLA A6.4: Balance hídrico del área 2



PUNTO 46	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	29,309	11,714
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	29,309	15,473
MARZO	208,2	40,008	168,192	29,309	19,018
ABRIL	377,8	37,975	339,825	29,309	38,426
MAYO	292,7	31,992	260,708	29,309	29,479
JUNIO	348,567	29,77	318,797	29,309	36,048
JULIO	327,8	31,483	296,317	29,309	33,506
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	29,309	17,323
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	29,309	14,183
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	29,309	23,19
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	29,309	14,791
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	29,309	16,625

TABLA A6.5: Balance hídrico del área 2

PUNTO 23	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	245,387	98,072
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	245,387	129,546
MARZO	208,2	40,008	168,192	245,387	159,229
ABRIL	377,8	37,975	339,825	245,387	321,716
MAYO	292,7	31,992	260,708	245,387	246,815
JUNIO	348,567	29,77	318,797	245,387	301,808
JULIO	327,8	31,483	296,317	245,387	280,526
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	245,387	145,038
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	245,387	118,75
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	245,387	194,155
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	245,387	123,841
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	245,387	139,196

TABLA A6.6: Balance hídrico del área 3



PUNTO 45	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	228,885	91,477
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	228,885	120,834
MARZO	208,2	40,008	168,192	228,885	148,521
ABRIL	377,8	37,975	339,825	228,885	300,081
MAYO	292,7	31,992	260,708	228,885	230,217
JUNIO	348,567	29,77	318,797	228,885	281,512
JULIO	327,8	31,483	296,317	228,885	261,661
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	228,885	135,284
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	228,885	110,765
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	228,885	181,099
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	228,885	115,513
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	228,885	129,835

TABLA A6.7: Balance hídrico del área 3

PUNTO 42	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	155,765	62,253
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	155,765	82,232
MARZO	208,2	40,008	168,192	155,765	101,075
ABRIL	377,8	37,975	339,825	155,765	204,217
MAYO	292,7	31,992	260,708	155,765	156,672
JUNIO	348,567	29,77	318,797	155,765	191,58
JULIO	327,8	31,483	296,317	155,765	178,071
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	155,765	92,066
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	155,765	75,38
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	155,765	123,245
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	155,765	78,611
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	155,765	88,358

TABLA A6.8: Balance hídrico del área 3



PUNTO 41	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	56,303	22,502
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	56,303	29,724
MARZO	208,2	40,008	168,192	56,303	36,535
ABRIL	377,8	37,975	339,825	56,303	73,817
MAYO	292,7	31,992	260,708	56,303	56,631
JUNIO	348,567	29,77	318,797	56,303	69,249
JULIO	327,8	31,483	296,317	56,303	64,366
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	56,303	33,278
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	56,303	27,247
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	56,303	44,548
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	56,303	28,415
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	56,303	31,938

TABLA A6.9: Balance hídrico del área 3

PUNTO A	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	150,014	59,955
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	150,014	79,196
MARZO	208,2	40,008	168,192	150,014	97,342
ABRIL	377,8	37,975	339,825	150,014	196,676
MAYO	292,7	31,992	260,708	150,014	150,887
JUNIO	348,567	29,77	318,797	150,014	184,506
JULIO	327,8	31,483	296,317	150,014	171,495
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	150,014	88,667
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	150,014	72,596
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	150,014	118,694
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	150,014	75,708
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	150,014	85,095

TABLA A6.10: Balance hídrico del área 3



PUNTO C	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	40,245	16,084
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	40,245	21,246
MARZO	208,2	40,008	168,192	40,245	26,115
ABRIL	377,8	37,975	339,825	40,245	52,763
MAYO	292,7	31,992	260,708	40,245	40,479
JUNIO	348,567	29,77	318,797	40,245	49,498
JULIO	327,8	31,483	296,317	40,245	46,008
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	40,245	23,787
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	40,245	19,476
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	40,245	31,843
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	40,245	20,311
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	40,245	22,829

TABLA A6.11: Balance hídrico del área 3

PUNTO 25	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	163,941	65,521
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	163,941	86,548
MARZO	208,2	40,008	168,192	163,941	106,379
ABRIL	377,8	37,975	339,825	163,941	214,935
MAYO	292,7	31,992	260,708	163,941	164,895
JUNIO	348,567	29,77	318,797	163,941	201,635
JULIO	327,8	31,483	296,317	163,941	187,417
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	163,941	96,898
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	163,941	79,336
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	163,941	129,713
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	163,941	82,737
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	163,941	92,995

TABLA A6.12: Balance hídrico del área 4



PUNTO 44	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	5,589	2,234
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	5,589	2,95
MARZO	208,2	40,008	168,192	5,589	3,626
ABRIL	377,8	37,975	339,825	5,589	7,327
MAYO	292,7	31,992	260,708	5,589	5,621
JUNIO	348,567	29,77	318,797	5,589	6,874
JULIO	327,8	31,483	296,317	5,589	6,389
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	5,589	3,303
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	5,589	2,705
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	5,589	4,422
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	5,589	2,82
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	5,589	3,17

TABLA A6.13: Balance hídrico del área 4

PUNTO 32	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	52,939	21,158
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	52,939	27,948
MARZO	208,2	40,008	168,192	52,939	34,351
ABRIL	377,8	37,975	339,825	52,939	69,406
MAYO	292,7	31,992	260,708	52,939	53,247
JUNIO	348,567	29,77	318,797	52,939	65,111
JULIO	327,8	31,483	296,317	52,939	60,519
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	52,939	31,29
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	52,939	25,619
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	52,939	41,886
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	52,939	26,717
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	52,939	30,03

TABLA A6.14: Balance hídrico del área 4



PUNTO 36	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	28,627	11,441
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	28,627	15,113
MARZO	208,2	40,008	168,192	28,627	18,575
ABRIL	377,8	37,975	339,825	28,627	37,531
MAYO	292,7	31,992	260,708	28,627	28,793
JUNIO	348,567	29,77	318,797	28,627	35,208
JULIO	327,8	31,483	296,317	28,627	32,726
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	28,627	16,92
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	28,627	13,853
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	28,627	22,65
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	28,627	14,447
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	28,627	16,238

TABLA A6.15: Balance hídrico del área 4

PUNTO 33	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	15,12	6,043
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	15,12	7,982
MARZO	208,2	40,008	168,192	15,12	9,811
ABRIL	377,8	37,975	339,825	15,12	19,823
MAYO	292,7	31,992	260,708	15,12	15,208
JUNIO	348,567	29,77	318,797	15,12	18,597
JULIO	327,8	31,483	296,317	15,12	17,285
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	15,12	8,937
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	15,12	7,317
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	15,12	11,963
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	15,12	7,631
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	15,12	8,577

TABLA A6.16: Balance hídrico del área 4



PUNTO 11	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	66,288	26,493
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	66,288	34,995
MARZO	208,2	40,008	168,192	66,288	43,014
ABRIL	377,8	37,975	339,825	66,288	86,908
MAYO	292,7	31,992	260,708	66,288	66,674
JUNIO	348,567	29,77	318,797	66,288	81,53
JULIO	327,8	31,483	296,317	66,288	75,781
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	66,288	39,18
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	66,288	32,079
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	66,288	52,449
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	66,288	33,454
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	66,288	37,602

TABLA A6.17: Balance hídrico del área 4

PUNTO 10	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	62,533	24,992
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	62,533	33,013
MARZO	208,2	40,008	168,192	62,533	40,577
ABRIL	377,8	37,975	339,825	62,533	81,985
MAYO	292,7	31,992	260,708	62,533	62,897
JUNIO	348,567	29,77	318,797	62,533	76,911
JULIO	327,8	31,483	296,317	62,533	71,488
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	62,533	36,961
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	62,533	30,262
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	62,533	49,478
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	62,533	31,559
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	62,533	35,472

TABLA A6.18: Balance hídrico del área 4



PUNTO D	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	20,336	8,127
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	20,336	10,736
MARZO	208,2	40,008	168,192	20,336	13,196
ABRIL	377,8	37,975	339,825	20,336	26,661
MAYO	292,7	31,992	260,708	20,336	20,454
JUNIO	348,567	29,77	318,797	20,336	25,011
JULIO	327,8	31,483	296,317	20,336	23,248
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	20,336	12,02
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	20,336	9,841
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	20,336	16,09
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	20,336	10,263

TABLA A6.19: Balance hídrico del área 4

PUNTO E	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	10,349	4,136
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	10,349	5,464
MARZO	208,2	40,008	168,192	10,349	6,715
ABRIL	377,8	37,975	339,825	10,349	13,568
MAYO	292,7	31,992	260,708	10,349	10,409
JUNIO	348,567	29,77	318,797	10,349	12,729
JULIO	327,8	31,483	296,317	10,349	11,831
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	10,349	6,117
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	10,349	5,008
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	10,349	8,188
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	10,349	5,223
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	10,349	5,871

TABLA A6.20: Balance hídrico del área 4



PUNTO 20	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	5,01	2,002
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	5,01	2,645
MARZO	208,2	40,008	168,192	5,01	3,251
ABRIL	377,8	37,975	339,825	5,01	6,568
MAYO	292,7	31,992	260,708	5,01	5,039
JUNIO	348,567	29,77	318,797	5,01	6,162
JULIO	327,8	31,483	296,317	5,01	5,727
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	5,01	2,961
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	5,01	2,424
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	5,01	3,964
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	5,01	2,528
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	5,01	2,842

TABLA A6.21: Balance hídrico del área 5

PUNTO 22	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION	CAUDAL	AREA	CAUDAL
	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>mm/mes</i>	<i>hec</i>	<i>lt/s</i>
ENERO	148,767	45,174	103,592	3,098	1,238
FEBRERO	170,9	34,062	136,838	3,098	1,635
MARZO	208,2	40,008	168,192	3,098	2,01
ABRIL	377,8	37,975	339,825	3,098	4,061
MAYO	292,7	31,992	260,708	3,098	3,116
JUNIO	348,567	29,77	318,797	3,098	3,81
JULIO	327,8	31,483	296,317	3,098	3,541
AGOSTO	189,1	35,898	153,202	3,098	1,831
SEPTIEMBRE	170,6	45,165	125,435	3,098	1,499
OCTUBRE	250,533	45,449	205,084	3,098	2,451
NOVIEMBRE	189,367	58,555	130,812	3,098	1,563
DICIEMBRE	187,3	40,269	147,031	3,098	1,757

TABLA A6.22: Balance hídrico del área 5

ANEXO 5

A



B



C



D



E



F



FOTO A5.1: Zonas de acumulación de agua. A, B y C, zona 5 infiltración alta. D y E, zona 4 infiltración moderada. F, zona 3 infiltración media.



FOTO A5.2: Zonas de acumulación de agua. A y B, zona 3 infiltración media. C y D, zona 2 infiltración baja. E y F, zona 1 infiltración muy baja.

ANEXO 6

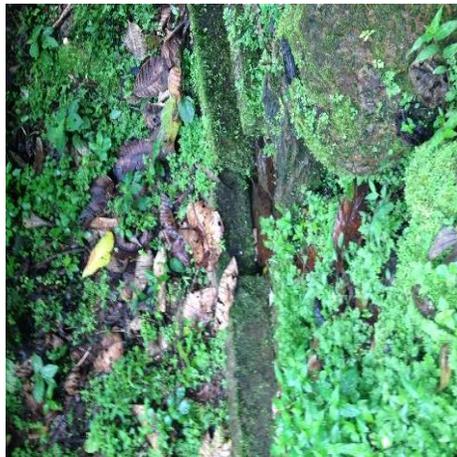
A



B



C



D



E



FOTO A6: Problemas en cunetas. A, B, C y D, fisuras en la cuneta que provocan infiltración y asentamientos. E, falta de limpieza en la cuneta, obstrucción por la presencia de vegetación.

ANEXO 7

A



B



C



D



E



F



FOTO A7.1: Fisuras y grietas. A, B, D y E, fisuras en el Hospital y Coliseo del Campamento Guarumales. C, separación entre la pared y la vereda. F, separación entre la vía y la cuneta.



FOTO A7.2: A y B, separación entre las paredes de las oficinas del campamento. C, fisura en el muro de una de las habitaciones del campamento. D, fisura ubicada en la vía, cerca del área de mantenimiento del campamento. E y F, drenes colapsados por movimientos y drenes en correcto funcionamiento, respectivamente.

A



B



C



D



E

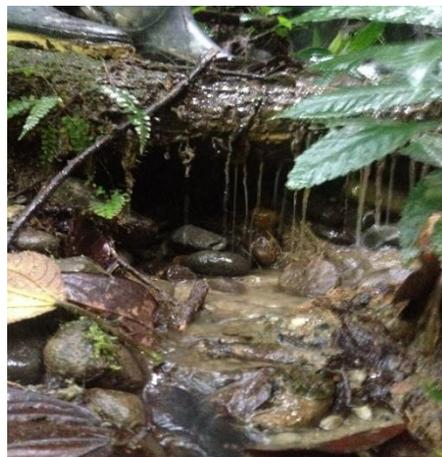


FOTO A7.3: A, D y E, socavación y fisuras debido a la presencia de acumulación de agua. B, árboles inclinados debido a probables asentamientos. C, movimientos de tierra críticos.