

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
INGENIERÍA AMBIENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL



TEMA:
CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA, HIDROLÓGICA Y
GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA DE RECARGA DEL RÍO PLATA,
BARRIO LAS PALMAS, CANTÓN PASTAZA

AUTORES:
ISAÍAS IVÁN ILLANES CERDA
MARCO JOSÉ PAUCAR PAUCAR

DIRECTOR DE PROYECTO:
Dr. RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS PhD

PUYO-ECUADOR
2019-2019

AGRADECIMIENTO

Aprovechar este espacio para agradecer al Altísimo; a esas personas que con su apoyo, cariño y paciencia están a mi lado; muchas gracias Mami Marlene Cerda, Papi Iván Illanes y hermanos/as.

Expresar mi gratitud al profesor Ricardo Abril, su enseñanza y conocimiento fue de gran valor para culminar mi proyecto de investigación.

Oportunidades que la valiosa Universidad Estatal Amazónica me brindaron fueron positivos para poder llegar a la fase final y culminar mi carrera de Ingeniero Ambiental.

Isaías Iván Illanes Cerda

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición me ayudo a cumplir uno de mis más grandes sueños y poder disfrutar este logro junto a mis seres queridos.

Mi profundo agradecimiento al profesor Ricardo Abril por compartir sus conocimientos técnicos y científicos para la realización de la investigación en recursos hídricos y sobre todo por su paciencia, a la Universidad Estatal Amazónica, por haber formado en mi un profesional responsable.

De igual manera mis más profundos agradecimientos a todos quienes de una u otra manera estuvieron apoyándome en la realización de esta investigación.

Marco J. Paucar

DEDICATORIA

Principalmente mi proyecto de investigación la dedico a la memoria de mi hermano Sumi Illanes Cerda, tuvo que enfrentarse valerosamente a su muerte prematura, durante todo este tiempo me ayudo a seguir soñando y culminando todas mis metas.

Isaías Iván Illanes Cerda

Este logro está dedicado a Dios que es luz y guía de mi vida, a mi padre y mi madre por brindarme su amor incondicional y formarme como una persona de bien, a mis hermanos que siempre han estado a mi lado en todo momento difícil.

Y sin duda alguna dedicarles a todas las personas que me han acompañado a lo largo de este proceso de aprendizaje y como crecimiento personal, a las personas que han estado conmigo sin la necesidad de recibir nada a cambio, lo cual me ha permitido cumplir esta meta.

Marco J. Paucar

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

En el presente proyecto de investigación se caracterizó la zona de recarga hídrica del río plata, en el Dique de las Palmas, mediante parámetros hidro-edafológicos, que permita realizar el modelamiento de la zona de recarga. Para cumplir con los objetivos planteados se utiliza un modelo metodológico, el cual consiste en determinar el área de la zona de recarga, la longitud total del cauce del río y los diferentes afluentes que convergen en el cauce principal, a través de la utilización de programas de mapeo geográfico. Los resultados muestran un área de la zona de recarga de 7,7 km², con una longitud del río de 4 km, también se determina la clase textural del suelo, con la ayuda del análisis de laboratorio, el cual da como resultado la predominancia del franco arcillo arenoso, para el proceso de infiltración se toma en consideración la relación del tipo de cobertura con la clase textural del suelo, ya que la zona de estudio posee dos tipos de estratos que son bosque secundario y pasto; en el cual se obtuvo como dato menor de infiltración acumulada 0,1 cm a una velocidad de 0,03 cm/min, y como dato mayor una infiltración acumulada de 17,2 cm con una velocidad de 0,3 cm/min. En cuanto al índice de calidad de agua (ICA) después de analizar todos los parámetros necesarios da como resultado que la calidad de las aguas de la zona de recarga se encuentra en condiciones excelentes según la norma National Sanitation Foundation (NSF, 1970), la cual refleja el grado de contaminación por presiones antropogénicas.

Palabras Clave: zona de recarga, hidrología, edafología, morfología, caudal, calidad.

ABSTRACT

In the present research project, the water recharge zone of the silver river was characterized, in the Dique de las Palmas, by hydro-edafological parameters, which allows the modeling of the refill area. To meet the objectives set, a methodological model is used, which consists of determining the area of the reloading area, the total length of the riverbed and the different tributaries that converge in the main channel, through the use of geographic mapping programs. The results show an area of the refill area of 7.7 km², with a river length of 4 km, the soil texture class is also determined, with the help of laboratory analysis, which results in the predominance of the sandy clay franc , for the infiltration process the relationship of the type of coverage to the soil textural class is taken into account, since the study area has two types of strata that are secondary forest and grass; in which a cumulative infiltration data of 17.2 cm with a speed of 0.3 cm/min was obtained as a minor cumulative infiltration data of 0.1 cm/min, and as a larger data. As for the water quality index (ICA) after analyzing all the necessary parameters it results in the water quality of the recharging area being in excellent condition according to the National Sanitation Foundation (NSF, 1970), which reflects the degree of contamination by anthropogenic pressures.

Keywords: recharge zone, hydrology, edaphology, morphology, flow, quality.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.4. HIPÓTESIS	2
1.5. OBJETIVO GENERAL	2
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO II	3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y LEGAL DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1. Clima	3
2.2. Hidrografía	3
2.3. BASES TEORICAS	3
ZONAS DE RECARGA	3
2.3.1. Cuenca hidrográfica	3
2.3.2. Delimitación de zona de recarga	4
2.3.3. Métodos de aforo	4
2.3.4. Gasto Base	4
2.3.5. Caudales de crecida	4
2.4. CARACTERÍSTICAS HIDRO-EDAFOLÓGICAS	5
2.4.1. Uso de suelo	5
2.4.2. Escorrentía	5
2.4.3. Cobertura vegetal	5
2.4.4. Infiltración	6
2.4.5. Velocidad de infiltración	6
2.4.6. Densidad aparente	6
2.4.7. Área	6
2.4.8. Perímetro	7
2.4.9. Coeficiente de compacidad	7

2.4.10. Textura.....	7
2.4.11. Pendiente.....	8
2.4.12. Estructura.....	8
2.4.13. Categorización por la FAO.....	8
2.4.14. Bosque.....	8
2.4.15. Pastizal.....	9
2.4.16. Humedad del suelo.....	9
2.4.17. Altura de hojarasca.....	9
2.4.18. Densidad de raíces.....	9
2.4.19. Materia orgánica.....	10
2.4.20. Correlación de Pearson.....	10
2.4.21. Análisis de Varianza.....	10
2.5. CARACTERISTICAS DE LA CALIDAD DE AGUA.....	11
2.5.1. Calidad de agua.....	11
2.5.2. pH.....	11
2.5.3. Saturación de Oxígeno.....	12
2.5.4. Conductividad.....	12
2.5.5. Turbiedad.....	12
2.5.6. Sólidos disueltos totales (SDT).....	12
2.5.7. Sólidos sedimentables.....	13
2.5.8. Temperatura.....	13
2.5.9. Salinidad.....	13
2.5.10. Densidad de Corrientes.....	13
2.5.11. Densidad de Drenaje.....	13
2.5.12. Relación de elongación.....	14
2.5.13. Curva Hipsométrica.....	14
2.5.14. Tiempo de concentración.....	14
2.5.15. Fórmula de Manning.....	14
2.6. MODELAMIENTO DE CRECIDAS.....	15
2.6.1. Abstracción inicial.....	15
2.6.2. Tránsito de avenidas.....	15
2.6.3. Hidrograma de diseño.....	15

2.6.4. Modelamiento con HEC- HMS	16
CAPÍTULO III	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. LOCALIZACIÓN	20
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	21
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	21
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3.4.1. ZONA DE RECARGA	22
3.5. USOS DE SUELOS Y CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS.....	22
3.5.1. Toma de muestras.....	22
3.5.2. Velocidad de infiltración	23
3.5.3. Análisis de la densidad aparente	25
3.5.4. Análisis de la textura	25
3.5.5. Contenido de Humedad	27
3.5.6. Densidad de raíces	28
3.6. CALIDAD DE AGUA.....	28
3.6.1. Estimación de Caudal.....	29
3.6.2. Determinación del pH, Saturación de Oxígeno, Conductividad, Temperatura y Salinidad en el agua.....	29
3.6.3. Determinación de los sólidos sedimentables.	29
3.6.4. Determinación de la Turbidez.....	30
3.6.5. Determinación de los sólidos disueltos totales.....	30
3.6.6. Determinación del índice de calidad de agua (ICA), National Sanitation Foundation (NSF) 1970.....	30
3.7. MATERIALES.....	31
CAPÍTULO IV.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA.....	32
4.1.1. Identificación del uso de suelo.....	32
4.1.2. Velocidad de infiltración	33
4.1.3. Análisis de densidad aparente y textura	34
4.1.4. Contenido de humedad en el suelo	36
4.1.5. Densidad de raíces	37

4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES	39
4.3. CALIDAD DE AGUA	40
4.3.1. pH.....	40
4.3.2. Saturación de Oxígeno.....	41
4.3.3. Conductividad	42
4.3.4. Turbidez.....	43
4.3.5. Sólidos Disueltos Totales	44
4.3.6. Sólidos Sedimentables	45
4.3.7. Índice de calidad de agua (ICA).....	46
4.3.8. Modelamiento de crecidas	47
CAPITULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. CONCLUSIONES.....	49
5.2. RECOMENDACIONES	50
CAPITULO VI.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
CAPÍTULO VII	56
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la ubicación del río Plata, Barrio las Palmas, Cantón Pastaza.	21
Figura 2. Puntos de muestreo en los márgenes izquierdo y derecho del río Plata.	23
Figura 3. Clases de textura del suelo.....	27
Figura 4. Medida de infiltración BI50mP.	33
Figura 5. Medida de infiltración PI20mS.....	34
Figura 6. Contenido de humedad en el suelo de Bosque y Pastizal.	37
Figura 7. Densidad de raíces en el margen izquierdo y derecho.....	38
Figura 8. Caudal en la zona de recarga hídrica del río Plata, durante cuatro meses.	40
Figura 9. pH en la zona de recarga hídrica del río Plata.....	41
Figura 10. Saturación de oxígeno en la zona de recarga hídrica del río Plata.	42

Figura 11. Conductividad en la zona de recarga hídrica del río Plata.	43
Figura 12. Turbidez en la zona de recarga hídrica del río Plata.	44
Figura 13. Sólidos sedimentables en la zona de recarga hídrica del río Plata.	45
Figura 14. Solidos sedimentables en la zona de recarga hídrica del río Plata.	46
Figura 15. ICA de la zona de recarga hídrica del río Plata.....	47
Figura 16. Modelamiento de crecidas.	48
Figura 17. Modelamiento de crecidas.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Partículas según se tamaño.....	7
Tabla 2. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos.	11
Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.	12
Tabla 4. Infiltración básica según el tipo de suelo.	24
Tabla 5. Clasificación de infiltración básica.....	25
Tabla 6. Parámetros físico-químicos, empleados por diferentes ICA.	31
Tabla 7. Uso del suelo de acuerdo a los puntos de infiltración.	32
Tabla 8: Densidad aparente para el crecimiento de raíces en función a la clase textural del suelo.	35
Tabla 9. Análisis de textura en muestras de Bosque y Pasto.	35
Tabla 10. Análisis de textura en muestras de Bosque y Pasto.	36
Tabla 11. Humedad del suelo según su textura.....	37
Tabla 12. Análisis de varianza según el Test de Duncan.	39
Tabla 13. Conductividad y dureza del agua.....	42
Tabla 14. Rangos de clasificación del ICA, NSF (1970).	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características Edafológicas.....	57
Anexo 2. Velocidad de infiltración en el uso de suelo pastizal, utilizando el método Cilíndrico Infiltrómetro.....	58
Anexo 2.1. Medida de infiltración en PD20mS.....	58
Anexo 2.2. Medida de infiltración en PD20mP.....	58
Anexo 2.3. Medida de infiltración en PI20mP.....	58
Anexo 2.4. Medida de infiltración en PD50mS.....	59
Anexo 2.5. Medida de infiltración en PD50mP.....	59
Anexo 2.7. Medida de infiltración en PI50mP.....	59
Anexo 2.6. Medida de infiltración en PI50mS.....	59
Anexo 3. Velocidad de infiltración en el uso de suelo bosque, utilizando el método Cilíndrico Infiltrómetro.....	60
Anexo 3.1. Medida de infiltración en BD20mS.....	60
Anexo 3.2. Medida de infiltración en BD20mP.....	60
Anexo 3.3. Medida de infiltración en BI20mS.....	60
Anexo 3.4. Medida de infiltración en BI20mP.....	60
Anexo 3.5. Medida de infiltración en BD50mS.....	61
Anexo 3.6. Medida de infiltración en BD50mP.....	61
Anexo 3.7. Medida de infiltración en BI50mS.....	61
Anexo 4. Clases texturales de los suelos de la zona de recarga del río Plata.....	62
Anexo 5. Análisis de varianza test de Duncan.....	63
Anexo 6. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario (Libro VI anexo 1, Tabla 9. TULSMA 2015).....	64
Anexo 7. Valores de precipitación facilitados por la estación meteorológica Veracruz.....	65
Anexo 8. Valores de precipitación facilitados por la estación meteorológica Veracruz.....	66
Anexo 9. Potencial de Hidrógeno.....	67
Anexo 10. Saturación de Oxígeno.....	67
Anexo 11. Turbidez.....	68
Anexo 12. Sólidos Disueltos Totales (SDT).....	69
Anexo 13. Medición de la altura del río Plata.....	70
Anexo 14. Medición de la altura del río Plata en intervalos de 3 días.....	70

Anexo 15. Medición del ancho de río Plata.	70
Anexo 16. Medición de batimetría en intervalos de 1 m.....	70
Anexo 17. Aros de metal y plástico para la toma de muestras de suelo.....	71
Anexo 18. Muestras de suelo respectivamente tamizadas.....	71
Anexo 19. Peso óptimo de muestra para el análisis.	71
Anexo 20. Homogenización de cada una de las muestras.....	71
Anexo 21. Balanza analítica, utilizada para pesar crisoles.....	72
Anexo 22. Crisoles de 100 ml colocados en el desecador para su enfriamiento total.....	72
Anexo 23. Muestras de suelo aforadas a 1000 ml.	72
Anexo 24. Muestras de suelo listos para medir su temperatura y cantidad de arena.	72
Anexo 25. Filtración de 100 ml de muestra para el análisis de solidos disueltos totales.	73
Anexo 26. Procedimiento para la determinación de solidos sedimentable.	73
Anexo 27. Reactivo para la homogenización de las muestras de suelo.	73

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Según Broosk, (2014) manifiesta que el agua es considerada como un recurso renovable, ya que su proceso hidrológico es continuo por medio de sus diferentes estados de agua, las distintas actividades realizadas por el hombre dependen principalmente del recurso hídrico, es así que su presencia en cantidad como en calidad es fuente de crecimiento económico, el mismo que no puede sustituido por ninguna otra sustancia liquida de características similares.

Según Matus, (2013) las zonas de recarga hídrica suceden por un proceso natural y son consideradas sitios de mayor capacidad de infiltración o con rocas superficiales permeables, donde infiltran las lluvias y se escurren a un cauce principal, formando manantiales, ríos y lagos.

Por otra parte, los usos de suelo identificados mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), abordan cambios significativos en su dinámica y modificaciones edáficas, estas comprenden las intervenciones que el hombre realiza sobre la superficie y morfología del suelo para cubrir sus necesidades, el mismo que podrá mantener, producir y modificar los diferentes horizontes del suelo, para convertirlo en terreno agrícola, pastizales o asentamientos humanos (Pascual, 2004).

El Barrio las Palmas del Cantón Pastaza tiene un importante atractivo turístico como es el dique de las Palmas, este curso hídrico se ve alimentado por la zona de recarga hídrica del río Plata, y sus aguas son utilizadas como fuente de abastecimiento para fines de recreación, en el cual se encuentran cinco afluentes permanentes y un afluente puntual, con cursos definidos en la zona, se identificó la presencia de pastizales en el curso superior y bosque secundario en el curso medio. Donde los usos de suelo generan diferentes condiciones en las características hidroedafológicas de los mismos, permitiendo determinar el grado de afectación al recurso hídrico.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfocará en determinar la calidad y cantidad de agua en función del tipo de uso de suelo del Barrio las Palmas del Cantón Pastaza, ya que es importante conocer y analizar la situación actual en la que se encuentra la zona de recarga hídrica del río Plata, para prever cambios significativos en dicha zona, mediante el análisis de parámetros físico-químicos en la dinámica del río Plata. Por consiguiente, se pretende mostrar los cambios suscitados en las características del agua, además ayudará a profundizar los conocimientos teóricos sobre los procesos de modelamientos de crecidas lo que ofrecerá una mirada integra sobre el daño ambiental producida por el tipo de uso de suelo y presión antropogénica.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo el tipo de uso de suelo influye en las características hidro-edafológicas en la zona de recarga hídrica del río Plata y estos a su vez en la cantidad y calidad del agua?

1.4. HIPÓTESIS

El tipo de uso de suelo producirá cambios en las propiedades hidro-edafológica en la zona de recarga hídrica del río Plata lo que generará impactos en la calidad de agua.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la zona de recarga del río Plata en sus aspectos morfológicos, hidrológicos y edafológicos como herramienta para el modelamiento de crecidas.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características hidro-edafológicas en la zona de recarga del río Plata en el Cantón Pastaza, bajo distintos tipos de uso del suelo.
- Cuantificar las características físico-químicas del caudal de agua del río Plata en el Cantón Pastaza.
- Determinar los caracteres morfológicos en la zona de recarga del río Plata, para el modelamiento de crecidas del río Plata en el Cantón Pastaza.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y LEGAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Clima

Cuenta con un clima húmedo tropical y su temperatura oscila entre los 17 y 24°C con una variabilidad muy débil a lo largo del año (INAMHI, 2018). En cuanto a la precipitación de la ciudad de Puyo se puede destacar que los meses más lluviosos son, en abril, mayo y junio, por otra parte, los meses con menores niveles de precipitación son en enero, febrero, agosto y septiembre; con una precipitación media anual de 4.786 mm, cabe destacar que en los demás meses no mencionados existen precipitaciones moderadas provenientes de la cuenca amazónica (INAMHI, 2018).

2.2. Hidrografía

El sistema hidrológico de la ciudad de Puyo está compuesto por los ríos principales como el río Puyo y Pindo grande, además cuenta con sus respectivas microcuencas y zonas de recarga (GADP, 2019).

2.3. BASES TEORICAS

ZONAS DE RECARGA

2.3.1. Cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son territorios en el que distintos ríos y cursos de agua desembocan en un río principal, cada una de estas cuencas están separadas de las cuencas vecinas por una línea divisora que casi siempre coincide con la línea de las cumbres o montañas. Según

Caceres, (2015) manifiesta que una microcuenca hidrográfica es una pequeña unidad geográfica, donde se relacionan los recursos disponibles como el suelo, agua y vegetación, para el bien de una cantidad de seres vivos.

2.3.2. Delimitación de zona de recarga

Se le llama recarga hídrica al proceso que ocurre de forma natural, por el cual, se incorpora agua procedente de la infiltración de la lluvia de las zonas altas en aguas superficiales. Según Matus, Faustino, & Jimenez, (2009) manifiestan que es el área donde se produce la recarga y por consiguiente en sitios con mayor capacidad de infiltración o con rocas superficialmente permeables. Por otra parte, Caceres, (2015) manifiesta que las zonas de recarga hídrica son una parte importante del sistema hidrológico de una cuenca hidrográfica, y al presentarse cualquier fenómeno que altere su estado natural provocará un efecto adverso que se verá reflejado en los acuíferos y por consiguiente en el uso y aprovechamiento de la cantidad y calidad de agua, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso, las zonas de recarga hídrica son de vital importancia, ya que además de aportar en el ámbito social y en el equilibrio ecológico, son necesarias mantenerlas en condiciones adecuadas de calidad y cantidad, de no ser así este repercutiría en el bienestar de todo ser vivo (Herrera, 2012).

2.3.3. Métodos de aforo

Valdés, (2007) manifiesta que para efectuar mediciones en las corrientes líquidas se utilizan, en ingeniería, una gran variedad de dispositivos, con los cuales se podrán contemplar métodos de medida cuyo uso resulta más generalizado en la práctica, para estos métodos de aforo se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la velocidad media de este flujo.

2.3.4. Gasto Base

Según Rodríguez & Marrero, (2015) el gasto base es definido como el caudal mínimo de una corriente de agua, así como también el escurrimiento observado a la salida de la cuenca de drenaje durante periodos largos en los que no se producen precipitaciones

2.3.5. Caudales de crecida

En hidrología se entiende por crecidas a los grandes caudales que en forma eventual o esporádica se producen en un cauce como consecuencia de una lluvia o de un deshielo, (Sandoval &

Aguilera, 2014) en el primer caso se denomina crecidas pluviales y en el segundo, crecidas niveles o de deshielo.

2.4. CARACTERÍSTICAS HIDRO-EDAFOLÓGICAS

2.4.1. Uso de suelo

El suelo más conocido como la superficie de la corteza terrestre está constituido por diferentes residuos y partículas, estas se deterioran a causa del uso inadecuado del suelo, por actividades agropecuarias, entre ellas la ganadería, pastos y monocultivo. Flores & Gerez, (1994) manifiesta que el deterioro de la tierra se presenta por actividades en dicha zona, causando problemas como la compactación y erosión además de ello reduciendo la capacidad de infiltración, y por ende la disminución de la recarga hídrica. Uno de los principales causantes de la reducción de la infiltración del agua es la compactación que está provocada por la reducción de los poros de aireación en el suelo.

2.4.2. Escorrentía

La escorrentía se refiere a la cantidad de agua corriente proveniente de la lluvia riego o deshielo que circula sobre la superficie de la tierra excediendo la capacidad de infiltración de suelo, es decir que supera la capacidad de alojamiento de agua en el suelo a esto también se lo puede conocer como escurimiento o aliviadero, que este fluye en dirección longitudinal a la pendiente que formen los relieves del suelo, dirigiendo los cuerpos de agua a desembocadoras como rios, lagos y embalses (Hudson, 1997).

2.4.3. Cobertura vegetal

Se entiende como cobertura vegetal a la capa de vegetación natural que se expresa en un porcentaje del suelo ocupado por comunidades vegetales permanentes, además una amplia gama de biomasa con diferentes características fisiológicas y ambientales que van desde los pastisales, sotobosque y áreas cubiertas por bosques primarios. Perez, (2012) destaca que la cobertura de plantas crecen esporadicamente sobre una superficie con condiciones adecuadas para su desarrollo, el cual influye directamente en la infiltración del agua dado que la relación entre vegetación y el clima es muy grande, por lo cual la cobertura vegetal controla la erosión del suelo.

2.4.4. Infiltración

La infiltración es el movimiento por el cual el agua pasa a través del suelo o hacia el interior del suelo, desplazándose por la gravedad hacia los mantos freáticos que se encuentran a profundidades considerables, que a su paso sustituyen los poros aireados por partículas de agua, esta agua sirve para ser utilizada por las plantas para su desarrollo óptimo, según Cerda, (1993) manifiesta que la capacidad de infiltración se puede medir de acuerdo a la cantidad de agua que retiene el suelo por una unidad de tiempo (mm/h, cm/min, cm/h).

2.4.5. Velocidad de infiltración

Según Sosa & Zerpa, (2000) es el proceso por el cual el agua penetra la superficie del suelo a una velocidad determinada por la clase textural que esta posee, diversos factores afectan en el proceso de infiltración ya sea por la compactación del suelo o el tipo de relieve del mismo, así como también por el tamaño y el volumen del espacio poroso aireado que el suelo contenga, el valor de la infiltración es considerada como una pieza clave para la determinación de la calidad del suelo.

2.4.6. Densidad aparente

Se presenta como la masa de suelo por unidad de volumen, el cual se refiere a la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacios porosos, se considera como una forma de evaluar la resistencia del suelo a la distancia de las raíces.

Por otro lado, para Rojas, (2011) también es usado para convertir los datos expresados en concentraciones a masa o volumen, así como cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de varios cultivos extensivos, por el cual la densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, varía estacionalmente por consecuencia de labranzas y la humedad del suelo principalmente en los suelos con arcillas.

2.4.7. Área

Cardona, (2019) se puede definir como un concepto métrico, magnitud de medida o de proyección horizontal de toda la superficie, expresada en unidades de medida ya sea esta en relación directa o indirectamente de la superficie delimitada, este parámetro se expresa normalmente en cm^2 , m^2 y km^2 , a su vez este valor es de suma importancia, ya que su valor incide directamente en la superficie medida.

2.4.8. Perímetro

El perímetro es la suma de las longitudes de los lados de una figura geométrica plana, (Cardona, 2019) el perímetro se expresa en unidades de distancias como (m, cm, entre otras), en si el perímetro se refiere a las dos dimensiones de una figura geométrica.

2.4.9. Coeficiente de compacidad

Se define como la relación entre el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de la misma área. El círculo es la figura geométrica del menor perímetro conocido en relación con su área y tiene un coeficiente de compacidad igual a uno; (Cardona, 2019) una cuenca que se aproxime a un valor de uno, será una cuenca más cercana a la forma circular, este coeficiente, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia.

2.4.10. Textura

Para Matus & Maire, (2012) la textura del suelo está sujeta a la proporción de partículas de diverso tamaño presentes en el suelo ver **Tabla 1**, según el tamaño se dividen en cuatro grupos, los mismo que presentan una infinidad de combinaciones, en donde la mezcla de arcilla y arena (Suelos Francos) son los más interesantes ya que son óptimos para el cultivo.

Tabla 1. Partículas según se tamaño.

PARTÍCULA	TAMAÑO
Arcillas	< 0,002mm
Limos	0,002-0,06mm
Arenas	0,06-2 mm
Gravas	2-60mm
Cantos rodados	60-250mm
Bloques	>250mm

Fuente: Propiedades físicas del suelo USDA (1977)

2.4.11. Pendiente

Según Cardona, (2019) la pendiente es uno de los parámetros principales que se caracteriza por determinar el relieve de una cuenca o zona de recarga hídrica, y permite hacer una comparación entre las mismas, para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en las superficies de las cuencas, además identificar y dar a conocer el caudal de la zona hídrica.

2.4.12. Estructura

Según Flores, Figueroa, & Martínez, (2006) manifiesta que la estructura es fijada por los terrenos de acuerdo a como estén las partículas en el suelo, ya que si se encuentran unidas como láminas son de estructura laminar, pero si estas conforman columnas y presentan los bordes redondeados son de estructura columnar, sin embargo, las columnas que cuentan con bordes angulosos son prismáticas o blocosas.

2.4.13. Categorización por la FAO

En la Clasificación de Suelos se refiere a la agrupación con un rango de propiedades similares (químicas, físicas y biológicas) a unidades que puedan ser geo-referenciadas y mapeadas. De hecho, los suelos se consideran como un recurso natural mucho más complejo que otros elementos como el aire y el agua.

Los suelos por su naturaleza contienen elementos químicos y simultáneamente se combinan entre fases sólidas, líquidas y gaseosas. Además, el número de características físicas, químicas y biológicas y sus combinaciones llegan a ser casi infinitas. Asimismo, no es de extrañar las varias propuestas y esquemas distintos para armonizar y correlacionar los tipos de suelo diferentes (Vargas, 2009).

2.4.14. Bosque

Tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotada de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 % o de árboles capaces de alcanzar esta altura. Los bosques se caracterizan tanto por la presencia de árboles como por la ausencia de otros usos predominantes de la tierra. Incluye también las áreas temporáneamente desprovistas de árboles debido a talas realizadas como parte de prácticas de ordenación forestal o por causas naturales, las cuales se espera se regeneren dentro de 5 años (Chatham, 1994).

2.4.15. Pastizal

Se utiliza para denotar áreas que difieren en composición de especies o productividad. Un pastizal es un sitio característico que, en ausencia de disturbio anormal y deterioro físico, tiene el potencial para mantener una comunidad de vegetación nativa, caracterizada por una asociación de especies diferentes a las de otros sitios. Las zonas de pastizal por lo general están delimitadas en base a las diferencias en textura y propiedades químicas del suelo que producen diferentes asociaciones de plantas o cantidad de biomasa (Chatham, 1994).

2.4.16. Humedad del suelo

Se denomina humedad a la cantidad de agua esencial por volumen de tierra ya sea esta en cultivos, huertos o plantas de una casa, el contenido de humedad del suelo es un indicador importante y complementario en el comportamiento del agua con relación al suelo, partiendo de una ley fundamental que toda vida en el planeta tiene la necesidad del agua (Shaxson & Barber, 2005).

2.4.17. Altura de hojarasca

Para Gonzáles, (2015) la altura de hojarasca son aquellas hojas que han caído de los árboles y cubren el suelo, alimentan el suelo del bosque, ya que estas a través de su descomposición generan humus y nutrientes los mismos que son recuperados por ellos, es considerada como una medida de la productividad primaria neta dentro del bosque, la hojarasca también ayuda a reducir la erosión del suelo, en tal motivo hay que tener en cuenta que es más beneficioso este proceso con especies de hojarasca con la cualidad de rápida descomposición.

2.4.18. Densidad de raíces

Según (Penon, 2005) manifiesta que principalmente las raíces constituyen al sistema de fijación de las plantas y realizan la función vital de absorción y transporte de agua así como de nutrientes, para los estudios del sistema radical es necesario distinguir entre raíces gruesas y raíces finas, aun así cuando las raíces de los árboles presentan una integración continua de características funcionales y morfológicas, por tal motivo cualquier clasificación basada en el tamaño es arbitraria, las raíces finas (RF) son aquellas también llamadas estructurales principalmente responsables de la absorción de agua y nutrientes ya que ellas representan entre el 90 % y 95 % de la longitud total del sistema radical.

2.4.19. Materia orgánica

Para Silva, (2016) la descomposición química de las excreciones de los animales, microorganismos, residuos de plantas o básicamente la degradación de ellos tras su muerte, generalmente la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos, los organismos del suelo descomponen sustancias orgánicas dejando solo residuos difícilmente atacables, como algunos aceites, ceras, ligninas y grasas procedentes de las plantas superiores de origen, el resto son transformados por parte de los microorganismos, los mismos que retienen una parte como unidades propias (polisacáridos), la transformación es una mezcla muy compleja de sustancias amorfas y coloidales de color negro generalmente llamado humus, el mismo que constituye aproximadamente entre el 65 % y el 75 % de la materia orgánica de los suelos minerales, estos suelos tienen un contenido de materia orgánica menor del 20 %, es así que ocupan el 95 % de la superficie terrestre mundial, mientras que los suelos con mayor contenido de materia orgánica se denominan así suelos orgánicos.

2.4.20. Correlación de Pearson

Según Villagómez, (2006) manifiesta que el coeficiente de la correlación de Pearson es una medida lineal principalmente entre dos variables aleatorias cuantitativas, a diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables, principalmente la correlación de Pearson es el índice que puede utilizarse para poder medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas.

2.4.21. Análisis de Varianza

Para Acher, (2012) el análisis de la varianza esencialmente es un método para poder comparar dos o más medias, que es necesario ya que cuando se quiere comparar más de dos medias no es correcto utilizar repetidamente el contraste basado en la T de Student por motivos de que, como se realizarían simultánea e independientemente varios contrastes de hipótesis, ya que la probabilidad de encontrar un significativo por azar aumentaría, pues en cada contraste se rechaza la H_0 si la t supera el nivel crítico, por ende en la hipótesis nula, hay una probabilidad (α) , si se realizan m contrastes independientes, la probabilidad de que, en la hipótesis nula, ningún estadístico supere el valor crítico es de $(1 - \alpha)^m$, por lo tanto, la probabilidad de que alguno lo supere es de $1 - (1 - \alpha)^m$, que para valores de α próximos a (0) es aproximadamente igual a $(\alpha)^m$.

El análisis de la varianza principalmente permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias o datos significativos o por otro lado se puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren, el análisis de la varianza nos permite superar las limitaciones de hacer contrastes bilaterales en parejas que son un mal método para determinar si un conjunto de variables con $n > 2$ difieren entre sí.

2.5. CARACTERISTICAS DE LA CALIDAD DE AGUA

2.5.1. Calidad de agua

Un cuerpo de agua no siempre esta definida en terminos de calidad por sus características y propiedades del sistema hídrico que le suministra agua, si no tambien se basa en los requisitos de descarga a un cuerpo receptor, estos atributos presentados en el agua; ya sean físicos y químicos, estos determinan la aceptabilidad del recurso hídrico para diferentes usos (Weber, 1979) el cumplimiento de todo los parametros físicos y químicos determinaran la calidad de agua que esta posee, y evitara efectos indeseables como la ploriferación de organismos patogenos si la misma es para uso de consumo humano.

2.5.2. pH

pH o mas conocido o como el potencial de hidrogeno (Sardiñas, Chiroles, & Perez, 2006) es el coeficiente que muestra el grado de medida de acides o alcalinidad en un liquido, los valores de pH van de 0 a 14 siendo 7 un punto neutro.

Tabla 2. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Potencial de hidrogeno	pH		6,5 – 8,5

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1, Tabla 9 del TULSMA.

2.5.3. Saturación de Oxígeno

El oxígeno disuelto se define como el valor típico que se genera por la acumulación de oxígeno en un cuerpo líquido (Pérez & Rodríguez, 2008), la relación de oxígeno y la temperatura es inversamente proporcional.

Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de concentración de saturación y no menor a 6mg/l

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1, Tabla 9 del TULSMA.

2.5.4. Conductividad

Propiedad natural de que un material o sustancia pueda dejar pasar la corriente eléctrica, la conductividad depende fundamentalmente de la estructura atómica y molecular del material que conduce, este valor esta expresado en μ S/cm (Moral, 2018).

2.5.5. Turbiedad

La turbidez es una medida del grado de transparencia de un líquido (Agua) y esta medida sirve para determinar la calidad del agua en relación a la materia orgánica e inorgánica suspendida y disuelta (Olivero, et al, 2013) a medida de que el líquido sea más sucio más alta será el valor de la turbidez.

2.5.6. Sólidos disueltos totales (SDT)

Los sólidos disueltos totales son el equivalente a la suma de los minerales (Singler & Bauder, 2012) sales, metales, cationes o aniones presentes en forma disuelta en el agua, en otras palabras esto incluye cualquier otro elemento presente en el agua, que no sea la molécula de agua pura como tal, además de los sólidos en suspensión que estos son las partículas o sustancias que ni se disuelven ni se asientan en el agua; en general la concentración de sólidos disueltos totales es la sumatoria de toda sustancia inorgánica y orgánica contenidas en un medio líquido en forma molecular.

2.5.7. Sólidos sedimentables

Es la cantidad de material de material disuelto en una cantidad de agua y que tiende a sedimentarse en un periodo de tiempo (Benavides, et al, 2008), se clasifican en un promedio estimado de 75 % orgánicos y un 25 % inorgánicos de sólidos que pueden sedimentar por acción de la gravedad estos son expresados en función de un volumen o de una masa (ml/L o mg/L).

2.5.8. Temperatura

La temperatura del agua esta relacionada directamente con la temperatura atmosférica (Ferrando, 2002), la variación de la temperatura se debe a diferentes factores físico-químicos, que pueden elevar o disminuir la temperatura natural del agua, la unidad de medida mas común son los °k y °C.

2.5.9. Salinidad

La salinidad viene definida por la cantidad de sal disuelta en sustancias líquidas este es un factor de importancia ya que ayuda a determinar que organismos puede vivir en un cuerpo de agua (Viera & Santos, 2012), esta salinidad varia según la intensidad de evaporación y el aporte de agua lluvia que lleva una solución entre 30 mg/L de sales.

2.5.10. Densidad de Corrientes

Es la magnitud que mide el movimiento y se la define como el patrón de carga; Guerrero, (1997) a cuanto mas carga exista mayor sera la densidad de la corriente, cuanto más rápido se mueva la corriente de agua mayor será su densidad; éstas dependen de su estructura geológica y del relieve de la superficie terrestre, así como también del clima, tipo de suelo, cobertura vegetal y las repercusiones humanas causadas en el ambiente.

2.5.11. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje (Dd) es una propiedad fundamental de la cuenca y zona de recarga que controla la eficiencia de drenaje y señala el estado de la cobertura del suelo; Guerrero, (1997) está definida como la longitud de medida por unidad de superficie, también la define como la longitud promedio total de los causes dentro de una cuenca y zona de recarga, dividida entre el área total del drenaje.

2.5.12. Relación de elongación

Define a esta variable como la relación entre el diámetro del círculo asociado con la longitud de la cuenca, denominándola “elongación ratio” y simbolizándola con las iniciales R, donde (D) es el diámetro del círculo asociado y (L) es la longitud de la cuenca (Jardí, 1985).

2.5.13. Curva Hipsométrica

Para comparar la cuenca hidrográfica con otros sistemas hidrográficos según Racca, (2007) es la relación entre la altura total y las alturas parciales, así como también las áreas parciales obtenidas de las curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, se determinan el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra una cuenca hidrográfica. Cardona, (2019) esto permitirá caracterizar el relieve del tipo de suelo obteniéndose a partir de las diferentes cotas de altitud.

2.5.14. Tiempo de concentración

Ibáñez, et al, (2007) define al tiempo de concentración como el tiempo período de tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca hídrica aporten aguas de escorrentía de forma concurrente al punto de salida o punto de desagüe de un cauce principal, está viene determinada por el tiempo que se demora en llegar a la salida de la cuenca, el agua que procede de un punto hidrológicamente más alejado mayor será su tiempo que demore en salir es decir, representara el momento a partir del cual el caudal de escorrentía será constante. Los modelos de lluvia-escorrentía dependen principalmente del tiempo de concentración de la cuenca, dado que la duración de la lluvia se asume que va ser igual al tiempo de concentración, puesto que es en este periodo que la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera los caudales máximos.

2.5.15. Fórmula de Manning

Según Hudson, (1997) para la determinación del coeficiente de rugosidad "n" de Manning existen cuatro procedimientos generales: estimar el valor sobre la base del conocimiento de los factores que lo afectan; extraer el dato de tablas con valores típicos de "n"; estimar "n" en base a la similitud del caudal que se estudia con casos conocidos; y determinar el valor de "n" mediante un proceso analítico sobre la base de la distribución teórica de las velocidades en la sección transversal del canal y de los datos de velocidad o medidas de rugosidad.

2.6. MODELAMIENTO DE CRECIDAS

2.6.1. Abstracción inicial

También conocido como el umbral de escorrentía (Vagaría & Gaspari, 2010) el umbral de escorrentía (P_0) se define como la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se sature y la escorrentía aparezca, y su valor depende en general de la capacidad de infiltración del suelo, actividades agrícolas y el tipo de uso de suelo.

2.6.2. Tránsito de avenidas

Según Ramirez & Aldama, (2001) es el proceso de determinación progresiva del tiempo y forma de una onda de crecida en sucesivos puntos de un río o embalse, así como también es un procedimiento que sirve para determinar el hidrograma de salida de una presa, dado un hidrograma de entrada. Regularmente el lugar en donde se hacen las mediciones de escurrimientos o en donde se encuentra una presa para el control de inundaciones se localiza varios kilómetros aguas arriba del punto donde las avenidas pueden causar daños. Es necesario contar con métodos que permitan conocer la variación de un hidrograma a lo largo de un cauce, con el objetivo de determinar el efecto que las presas reguladoras tienen aguas abajo, y así poder diseñar bordes de protección contra inundaciones. A la simulación de la variación de un hidrograma al recorrer un cauce se conoce como tránsito de avenidas de cauces.

2.6.3. Hidrograma de diseño

Para Hernández, (2016) un hidrograma de diseño representa la evolución de un escurrimiento en una corriente, así como también es posible apreciar las variaciones del flujo a través del tiempo, es de vital importancia la obtención de hidrogramas de una determinada duración y diferentes periodos de retorno, el mismo que es fundamental para el diseño de obras hidráulicas de control de ríos, ya sea a la salida de las cuencas o en zonas más bajas y altas, la utilidad de contar con hidrogramas de diseño a la salida de las cuencas es que podremos determinar los lugares en el que estos podrán ser transitados hasta distintos puntos de interés, por medio de modelos numéricos, para simular el comportamiento hidráulico de obras como bordes de protección y canales.

2.6.4. Modelamiento con HEC- HMS

Según Castro, (2017) el modelamiento HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System por sus siglas en inglés) principalmente fue diseñada para simular procesos de lluvia, escurrimiento en los sistemas dendríticos de cuencas de lugares determinados, es básicamente usado en estudios de disponibilidad de agua, drenaje, pronósticos de flujo, urbanizaciones entre otras, se debe recalcar que es un programa gratuito, el mismo que fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU, el HEC-HMS se usa para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, este incluye los modelos de cuenca, especificaciones de control, modelos meteorológicos y datos de entrada, este programa crea una corrida de simulación, en escenarios según parámetros variables, los resultados obtenidos de la simulación realizada se pueden ver en el mapa de la cuenca, principalmente se generan tablas sumarias globales, uno de los puntos importantes también es que el programa HEC-HMS cuenta con la capacidad de imprimir todos los gráficos y tablas correspondientes.

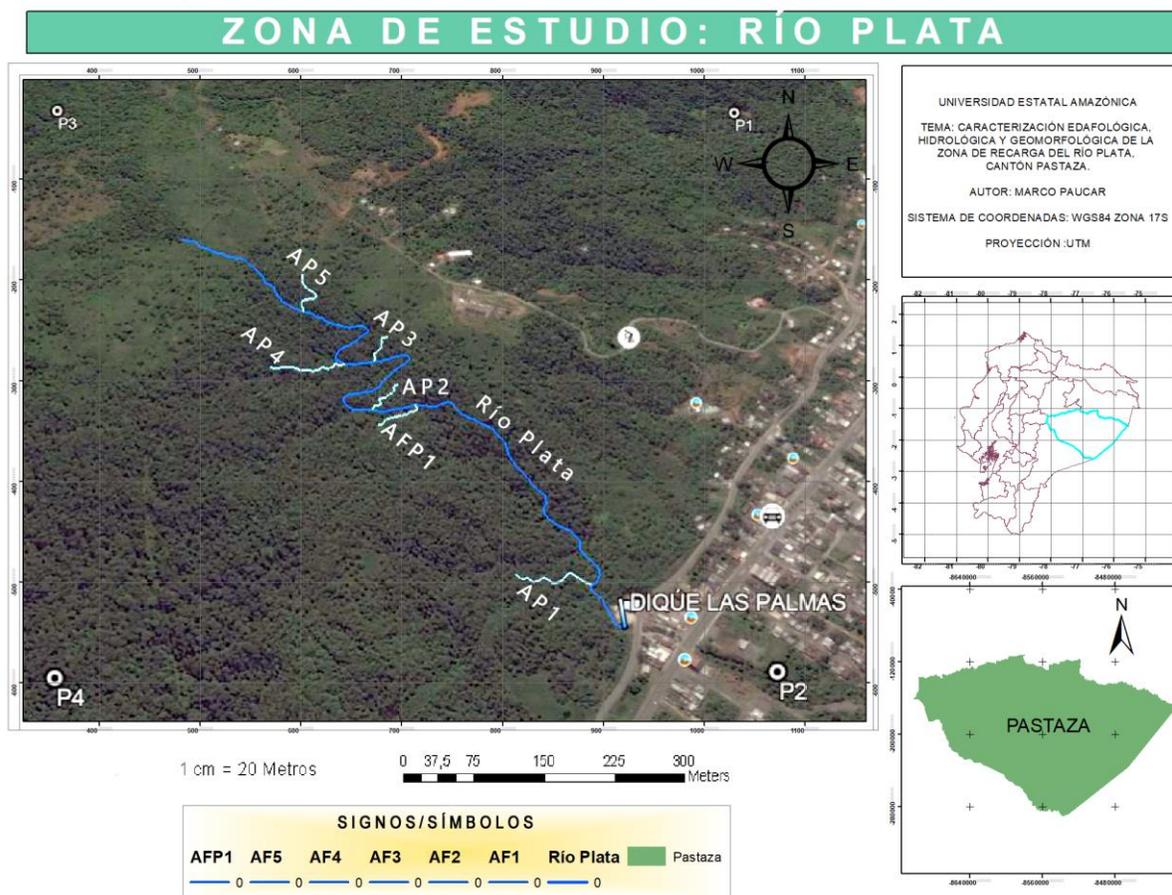
CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realizó en el Barrio las Palmas, perteneciente a la ciudad de Puyo del Cantón Pastaza, en la zona de recarga del “río Plata”, el dique de las Palmas como sitio turístico de uso recreacional utiliza las aguas provenientes del río antes mencionado, el cual se encuentra en la entrada a la ciudad, a 500 m del monumento “Artesano de la Balsa” y a 3 km del centro poblado de la ciudad de Puyo. El área de estudio se encuentra en una zona urbana, con un tipo de suelo en su mayoría andisoles (SIGTIERRAS, 2017), que son básicamente suelos de origen volcánico de color oscuro, encontrando en el sitio una cobertura vegetal predominante de bosque secundario, en las partes altas del río presenta un estrato cubierto por pastizales y la zona urbana en el dique de las Palmas, el río posee una longitud aproximada de 4 km desde el dique hasta el punto más alto y 7,7 km² de área de zona de recarga hídrica del Río Plata, ver **Figura 1**.

Figura 1. Mapa de la ubicación del río Plata, Barrio las Palmas, Cantón Pastaza.



Fuente: Elaborado por los autores.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se realizó en el proyecto es exploratorio en la cual se conoció y se estableció las características de la zona. También se consideró investigación descriptiva ya que sirvió para puntualizar y describir las características hidro-edafológicas de la zona de recarga del río Plata.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de la observación es uno de los que se utilizó, el cual consistió en la percepción directa del objeto o fenómeno de investigación mostrándonos la realidad actual de la zona de estudio, además utilizamos el método analítico una vez ya conocido sus características naturales,

el mismo que nos llevó a la descomposición de las partes para ser analizadas y llegando así a la determinación de sus causas; también utilizamos el método deductivo, en función a las características hidro-edafológicas en la zona de recarga hídrica del río Plata.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. ZONA DE RECARGA

Identificación de la zona de recarga hídrica

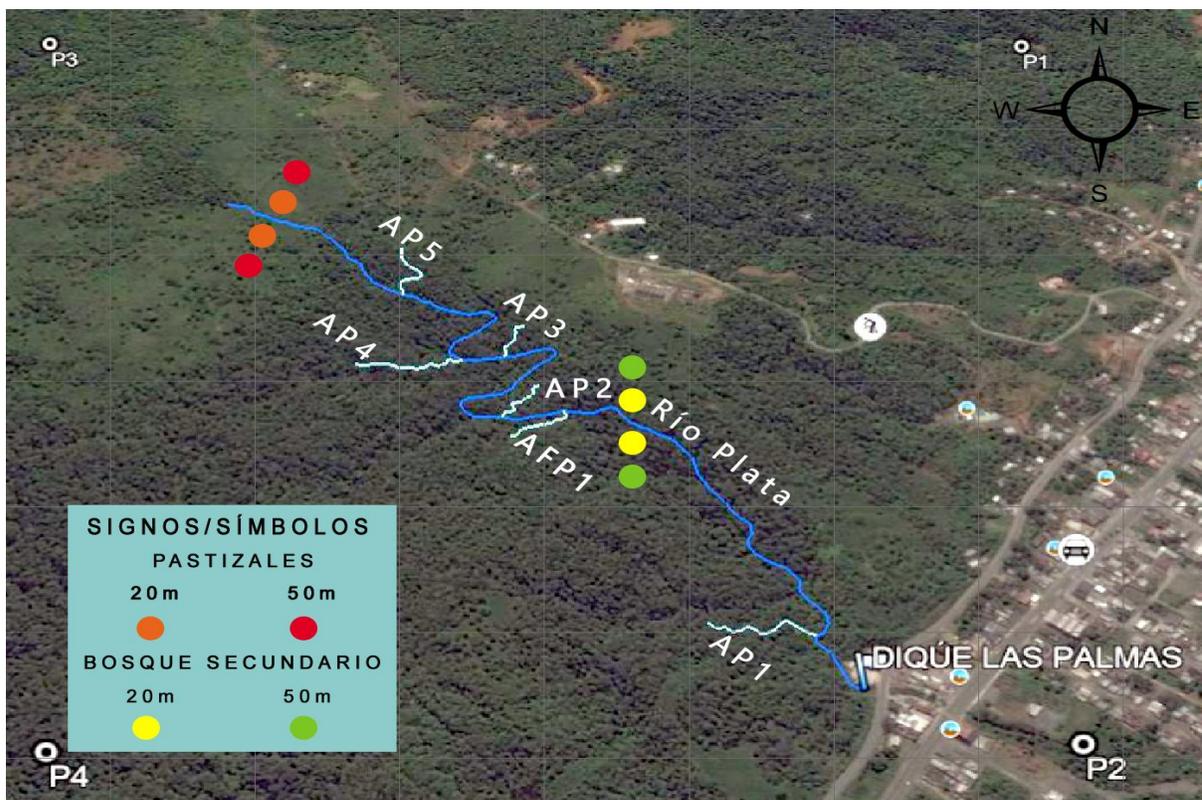
Para la determinación de la zona de recarga hídrica se realizó un recorrido por el curso del río Plata, generando los puntos en el cauce del río con la ayuda del GPS marca GARMÍN modelo ETREX VISTA, utilizando el sistema WGS84, en el mismo se identificaron afluentes conectados al cauce principal los cuales depositan sus aguas sobre el curso hídrico mencionado, luego de la toma de puntos GPS se exporto al programa Google Earth Pro y ArcGIS 10.3, para establecer las características de forma e identificar los afluentes que convergen o alimentan al cauce principal del río Plata, además del uso de suelo que se tiene en cada zona.

3.5. USOS DE SUELOS Y CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS

3.5.1. Toma de muestras

La toma de muestras de suelo, se realizó en los dos tipos de usos de suelo bosque secundario y pastizales, las cuales fueron divididas a dos distancias diferentes (20 m-50 m) tanto al margen izquierdo como al margen derecho del río Plata, así como se muestra en la **Figura 2**, con la ayuda de un cilindro metálico (6,8 cm de diametro-5.1 cm de altura) y el otro de plástico (7,1 cm de diametro-5.1 cm de altura), posteriormente los cilindros fueron introducidos completamente en el suelo superficial (metal y plástico) y profundidad (metal y plástico, 1 m) a continuación los cilindros fueron extraídos con la ayuda de una espátula dejando de lado el sobrante, se obtuvo 32 muestras estas se etiquetaron y fueron trasladados en una funda hermética al laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica para su respectivo análisis.

Figura 2. Puntos de muestreo en los márgenes izquierdo y derecho del río Plata.



Fuente: Elaborado por los autores.

3.5.2. Velocidad de infiltración

La determinación de la velocidad de infiltración se realizó en los dos tipos de usos de suelo bosque secundario y pastizales, las cuales fueron divididas a dos distancias diferentes (20 m-50 m) tanto al margen izquierdo como al margen derecho del río Plata, con el método del cilindro Infiltrómetro (Sepúlveda, 2015), el cual consiste en introducir un cilindro hueco en el suelo (10 cm) graduado con una cinta métrica, en el cual se colocó una funda en su base y se relleno de agua hasta una altura de 13 cm, se retiró la funda e inició la toma de datos que se registraron en intervalos de cada minuto hasta el minuto 5 y posteriormente de 5 minutos hasta el minuto 60, la medición se lo hizo en la superficie y a 1 metro de profundidad (1 m), en los puntos donde la columna de agua se infiltró por completo, se realizó un relleno de agua.

La velocidad de infiltración fue calculada con la siguiente ecuación:

$$I_p = \text{Lectura en T} - \text{Lectura parcial en T-1} \quad (1)$$

$$IA = I_a \text{ a } 0 \text{ min} + I_p \text{ a } 1 \text{ min} \quad (2)$$

$$VI = IA/Ta \quad (3)$$

I_p = Infiltración parcial

IA = Infiltración Acumulada

VI = Velocidad de infiltración

Ta = Tiempo acumulado

Para la mejor comprensión de la velocidad de infiltración podemos guiarnos en las **Tablas 4 y 5**, en las cuales se aprecia la velocidad de infiltración según el tipo de suelo y la infiltración básica la misma que mientras el agua sustituye al aire de los poros el agua que se encuentra en la superficie se infiltra en los poros a una velocidad menor, posteriormente el suelo se satura y sobresatura, llegando a mantenerse en una velocidad constante.

Tabla 4. Infiltración básica según el tipo de suelo.

TIPO DE SUELO	I_b , mm/hr
Arenoso grueso	25 a 60
Arenoso fino	18 a 25
Franco arenoso	14 a 18
Franco limoso	10 a 14
Franco arcilloso	7 a 10
Arcilloso limoso	4 a 7
Arcilloso compacto	2 a 5

Fuente: Manual de riego parcelario, Capítulo 1 revisión de bases técnicas (FAO, 1993).

Tabla 5. Clasificación de infiltración básica.

CLASIFICACIÓN	Ib, cm/min
Muy baja	<0,004
Baja	0,004 a 0,025
Media	0,025 a 0,046
Alta	0,046 a 0,08
Muy alta	>0,08

Fuente: Manual de riego parcelario, Capitulo 1 revisión de bases técnicas (FAO, 1993).

3.5.3. Análisis de la densidad aparente

Para medir la densidad aparente nos basamos en el método del cilindro metálico de (Blake & Hartge, 1986), consistió en pesar cada muestra, para posteriormente ingresarlos por 24 horas a la estufa a 105°C, una vez finalizado el tiempo dejamos que cada uno de ellos se enfríen (16 muestras en total) volvimos a pesar las muestras, después se retiró por completo la muestra de tierra contenida en el cilindro con la finalidad de pesar, medir la altura y diámetro del cilindro. Abriendo paso a la determinación de la densidad aparente la misma se encuentra entre la relación del peso final de cada muestra y el volumen de cada cilindro, así como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{Volumen del cilindro}} = \text{g/cm}^3 \quad (4)$$

3.5.4. Análisis de la textura

Se uso el método de Bouyoucos, según Conú & Jimenez, (2014) este método consistió en sacar el contenido de suelo de los cilindros de plástico (5,1 cm de altura y 7,1 cm de diámetro) esparciendo las muestras en una bandeja y dejándolos secar a temperatura ambiente, se los tamizo a 1 mm-2 mm después se pesó y se extrajo 40 g de cada muestra, posteriormente agregamos 10 ml del agente dispersante y se dejó así por 24 horas, una vez terminado el tiempo de reposo cada muestra estuvo durante 10 min en la mezcladora de marca (Hamilton Beach), luego cada muestra fue trasladada a una probeta de 1000 ml, la misma que se aforo con agua destilada, cada muestra tuvo presencia de espuma para lo cual tuvimos que introducir pequeñas

cantidades de ácido al 0,2 % esto ayudo para que la espuma se disuelva. Cada muestra fue agitada verticalmente durante 20 segundos, finalizado este proceso se colocó el hidrómetro de suspensión durante 40 segundos en cada muestra y después se tomó la temperatura. Finalmente se volvió a tomar las lecturas con el hidrómetro de suspensión y la temperatura después de haber transcurrido 2 horas.

Los resultados del análisis de la textura de lo obtuvo con las siguientes ecuaciones:

(5)

$$Lectura\ corregida = \{Ltm \pm factor\ de\ corrección\} - \{LB \pm factor\ de\ corrección\}$$

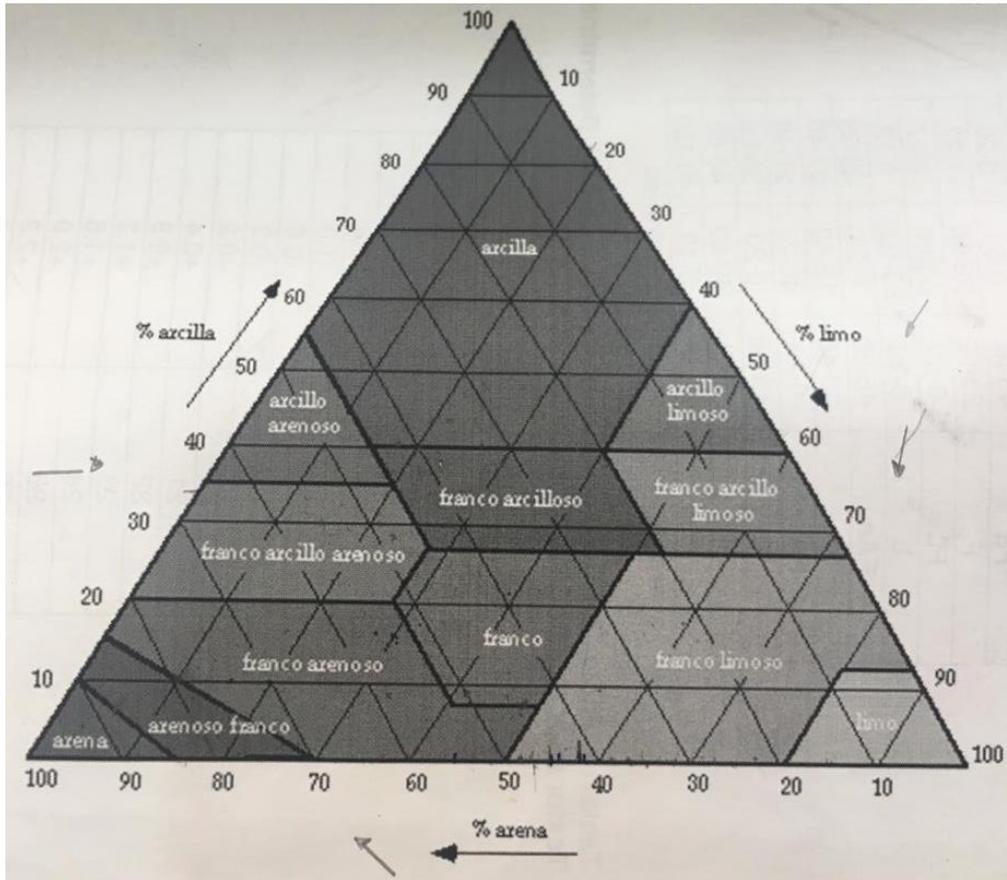
$$\% Arena = 100 - (Lec.\ corregida\ 40s * \frac{100}{gr\ muestra}) \quad (6)$$

$$\% Arcilla = Lec.\ corregida\ 2h * \frac{100}{gr\ muestra} \quad (7)$$

$$\% Limo = 100 - (\%Arena + \% Arcilla) \quad (8)$$

Al finalizar los cálculos se procedió a verificar las clases de suelos presentes en las muestras, con la ayuda del siguiente triangulo ver **Figura 3**, de clases texturales.

Figura 3. Clases de textura del suelo.



Fuente: Diagrama de texturas del USDA (1977).

3.5.5. Contenido de Humedad

Para determinar el contenido de humedad del suelo utilizamos el método gravimétrico según Delgadillo & Alcalá, (2010) el cual está basado principalmente en la diferencia de pesos, para su consecuencia se debe tener el peso inicial del suelo (P_i), el peso final del suelo (P_f) después de haber ingresado 24 horas a la estufa a 105°C , para el resultado de humedad se utiliza la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (9)$$

3.5.6. Densidad de raíces

Para determinar la densidad de raíces se utilizó el contenido de suelo de los cilindros de plástico (5,1 cm de altura y 7,1 cm de diámetro) en el cual se procedió a esparcirlos en una bandeja y con una pinza separar todas las raíces, luego dejar secar las raíces a temperatura ambiente, posteriormente se empezó el conteo de las raíces principales, los nódulos presentes con la ayuda de una pinza y una lupa, previo a esto, su respectiva medición en papel milimetrado, es así como se utilizó la metodología de Pire, (1986) para la obtención de la densidad de raíces con la siguientes ecuaciones.

$$R = \frac{\pi * N * A}{2H} \quad (10)$$

$$Dx = \frac{\text{Longitud de raíces (R)}}{\text{Volumen de la muestra (V)}} = \text{cm/cm}^3 \quad (11)$$

R: longitud de raíces

N: Número de intercepciones (Nódulos)

A: Área de la superficie donde están distribuidas las raíces (cm²)

H: Longitud total de las raíces de referencia (cm)

3.6. CALIDAD DE AGUA

La toma de muestras de agua se realizó utilizando la metodología de Ostinelli, et al, (2011), para lo cual se utilizó 2 botellas plásticas de 6 litros, antes de tomar la muestra fue necesario enjuagarlo correctamente en el lugar de estudio, posteriormente se tomó una muestra antes y después del dique de las Palmas. Se analizó la calidad de agua mediante una muestra por cada mes, durante un periodo de tiempo de tres meses, las cuales fueron llevadas para el análisis correspondiente de pH, Saturación de Oxígeno, Conductividad, Turbidez, Sólidos Disueltos, Sólidos Sedimentables, Temperatura y Salinidad, estos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica.

3.6.1. Estimación de Caudal

Para la estimación de caudal se realizó la modelización a través de procesos de obtención de datos de lluvia y escorrentía, es parte importante de la precipitación puesto que alimenta los cauces principales superficiales de una cuenca o zona de recarga hídrica. Garrido (2017) señala que existen distintos tipos de escorrentías en dependencia de su origen como por ejemplo la superficial o directa, la hipodérmica o subsuperficial y la subterránea o profunda ; en donde la superficial o directa no infiltra en ningún punto de la superficie y se drena a través de todo el terreno superficial, la sub superficial se infiltra parcialmente en el suelo y se mueve a través de los distintos horizontes, mientras que la profunda se infiltra hasta conseguir el nivel freático donde circula hasta alcanzar una red de drenaje. Para la modelización de procesos hidrológicos se aplican modelos numéricos donde influyen la precipitación, la evaporación, la intersección superficial y la escorrentía, para esta modelización se hace de gran uso los registros de precipitación así como también los datos de otros parámetros antes mencionados, el caudal base es igual al flujo de agua subterránea y la escorrentía formada directa por acción de la lluvia y que no puede ser absorbida por el suelo en una determinada condición, a esta también se la puede conocer como modelo de escorrentía por excesos de infiltración, para obtener dichos valores también se utiliza la ecuación de Mannig.

3.6.2. Determinación del pH, Saturación de Oxígeno, Conductividad, Temperatura y Salinidad en el agua.

Estos parámetros se determinaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental con la ayuda de un medidor multiparamétrico de marca Hach modelo HQ30d, el cual tiene una sonda para cada parámetro a determinar.

3.6.3. Determinación de los sólidos sedimentables.

Se llevo a cabo el análisis de los sólidos sedimentables utilizando la metodología de (WPCF, APHA, & AWWA, 1992) es necesario un cono Imhoff para cada muestra, previamente se colocó 1000 ml de la muestra de agua, fue preciso mover las paredes del cono con una varilla de vidrio en periodos de 15 min, mientras se dejaba sedimentar durante 1 hora, una vez finalizado el tiempo se procedió a tomar la medida de ml/L de los sólidos sedimentables.

3.6.4. Determinación de la Turbidez.

Para determinar la turbidez por consecuencia de sustancias finas y no disueltas la misma que tiene la propiedad de refractar la luz, fue necesario utilizar el Turbidímetro marca Hach modelo 2100Q con un rango de 0 a 1000 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

3.6.5. Determinación de los sólidos disueltos totales.

Este análisis se lo realizo con la metodología de (WPCF, APHA, & AWWA, 1992), en el cual se preparó los crisoles de 100 ml, tuvieron que hervir en acido al 1 % durante 30 minutos, luego se pasaron a la estufa durante 1h:30 a 180°C y después tuvieron que enfriarse en el desecador para poder pesarlos en una balanza analítica. Culminado el anterior proceso, se filtró 100 ml de cada muestra en un matraz aforado, posteriormente se colocó los 100 ml de agua en el crisol preparado para que colocado en el calentador pueda hervir hasta que el agua se evapore por completo, nuevamente se los paso a la estufa durante 1h:30 a 180°C y después tuvieron que enfriarse en el desecador para poder pesarlos, la diferencia de peso en cada crisol pertenece a la cantidad de mg/l de solidos disueltos totales, el resultado se obtiene con la siguiente ecuación, siendo el peso del residuo seco + capsula (A) y el peso de la cápsula (B).

$$mg \text{ de solidos disueltos totales} = \frac{(A-B)}{\text{Volumen de muestra (mL)}} * 1000 \quad (12)$$

3.6.6. Determinación del índice de calidad de agua (ICA), National Sanitation Foundation (NSF) 1970

Para poder determinar los índices de calidad de agua se procedió a trasladarnos al punto de muestreo, posteriormente se llenó una botella de agua de 6 L con una porción de agua evitando que, entre aire, luego se rotulo las características de lugar, hora y fecha, con la finalidad de transportarlo al laboratorio para su respectivo análisis. La ponderación de cada parámetro tiene mucha influencia dentro de la importancia de cada variable en el índice de calidad. En la **Tabla 6**, se muestran los pesos asignados a los parámetros por los cuales están conformados el ICA NSF 1970, el cual refleja el grado de contaminación por presiones antropogénicas, de acuerdo con los parámetros establecidos cabe resaltar que el peso de los parámetros que no se tenían datos se distribuyeron equitativamente entre el resto de componentes de la norma, donde se calculó los siguientes parámetros: pH, Saturación de Oxígeno, Conductividad, Turbidez, Solidos Disueltos Totales; Solidos Sedimentables, Temperatura y Salinidad

Tabla 6. Parámetros físico-químicos, empleados por diferentes ICA.

ESTADOS UNIDOS		
ÍNDICE	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987
Parámetro		
OD	0,17	0,109
pH	0,11	0,077
DBO	0,11	0,097
Nitratos	0,10	0,09
Coliformes Fecales	0,16	0,116
Temperatura	0,10	0,077
Turbiedad	0,08	
Solidos Disueltos Totales	0,07	

Fuente: (Torres, 2009)

3.7. MATERIALES

Se utilizo: Cinta métrica, Cilindro metálicos y PVC, GPS, Nivel, Machete, Fundas ermiticas Pala, Bandeja Espátula; en el laboratorio se utilizó: Estufa, Mufla, Crisoles, Vasos de precipitación, Probetas de 100 ml y 1000 ml, Multiparamétrico, Balanza analítica, Turbidímetro portátil, Desecador, Barómetro, Termómetro, Tamiz.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA

4.1.1. Identificación del uso de suelo

En la **Tabla 7**, se presenta la identificación de uso de suelo conforme a cada punto de muestreo de infiltración ubicados en los márgenes derecho e izquierdo a 20 m y 50 m de la zona de recarga hídrica del río Plata, dando como resultado la predominancia del franco arcillo arenoso tanto en la cobertura de bosque como de pasto.

Tabla 7. Uso del suelo de acuerdo a los puntos de infiltración.

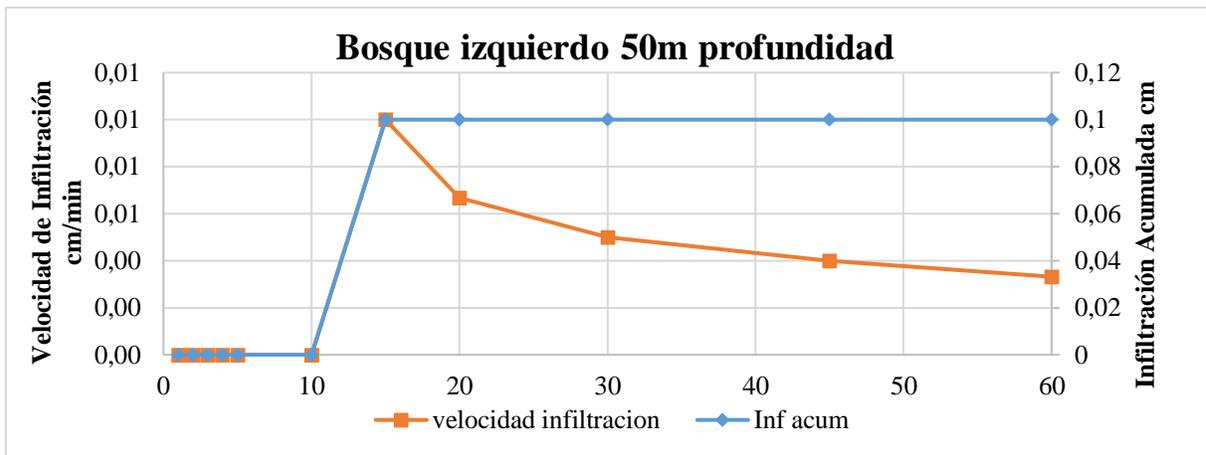
PUNTO	PROFUNDIDAD	COBERTURA	DISTANCIA DESDE EL CURSO (m)	TEXTURA
1	Superficial	Bosque	20	Franco arcillo arenoso
1	Profunda	Bosque	20	Franco arcillo arenoso
1	Superficial	Bosque	50	Franco
1	Profunda	Bosque	50	Franco arcillo arenoso
1	Superficial	Bosque	20	Franco arcillo arenoso
1	Profunda	Bosque	20	Franco
1	Superficial	Bosque	50	Franco arcillo arenoso
1	Profunda	Bosque	50	Franco arcilloso
2	Superficial	Pasto	20	Franco arcilloso
2	Profunda	Pasto	20	Franco arcilloso
2	Superficial	Pasto	50	Arcilla
2	Profunda	Pasto	50	Franco
2	Superficial	Pasto	20	Franco
2	Profunda	Pasto	20	Arcilla
2	Superficial	Pasto	50	Franco arcillo arenoso
2	Profunda	Pasto	50	Franco arcillo arenoso

Fuente: Realizado por los autores.

4.1.2. Velocidad de infiltración

La zona de recarga del río plata posee dos tipos de uso de suelo: bosque y pastizales, en los cuales se puede destacar como primer resultado el menor valor de infiltración acumulada en los 60 min obtenido en el punto, bosque margen izquierdo a 50 m del cauce del río, a una profundidad de 1 m que es igual a 0,1 cm, ver **Figura 4**, el cual posee una velocidad de infiltración de 0,03 cm/min, ubicándose en una clasificación media de infiltración básica entre los valores de 0,025 a 0,046 cm/min según el manual de riego parcelario, capítulo 1 revisión de bases técnicas (FAO,1993), ver **Tabla 5**.

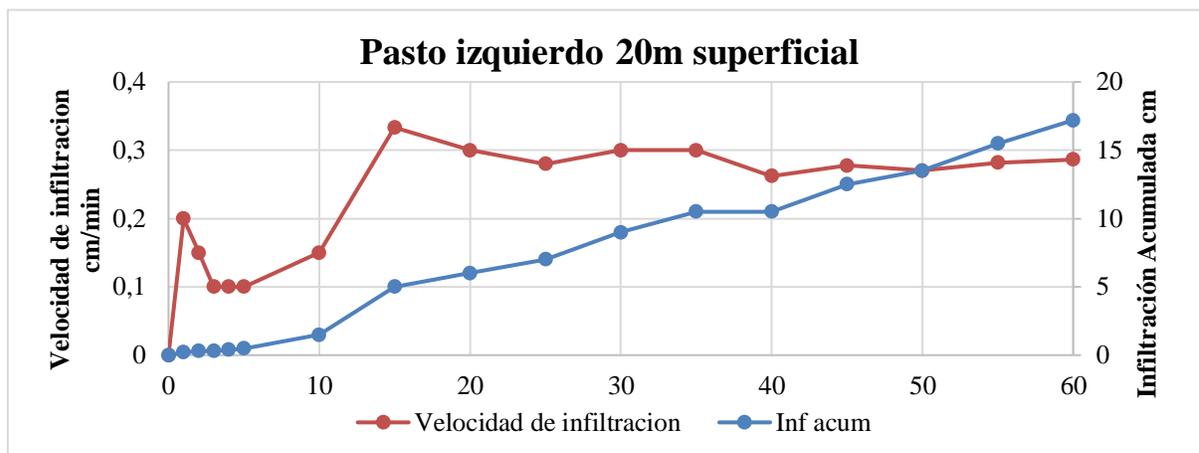
Figura 4. Medida de infiltración BI50mP.



Fuente: Realizado por los autores.

El valor mayor en relación a la velocidad de infiltración a los 60 minutos se encuentra en el punto, pasto margen izquierdo, a 20 m del cauce del río, con un valor de infiltración muy alta según la clasificación de infiltración básica, ya que nuestro valor es de 0,30 cm/min superando el valor máximo del manual de riego parcelario, capítulo 1 revisión de bases técnicas (FAO,1993), ver **Tabla 5**, y una infiltración acumulada de 17,2 cm, ver **Figura 5**.

Figura 5. Medida de infiltración PI20mS.



Fuente: Realizado por los autores.

4.1.3. Análisis de densidad aparente y textura

La densidad aparente en los suelos, es un indicador de las características físicas, tales como el grado de aeración en los microporos y la capacidad de drenaje del suelo; los factores que afectan a la densidad son la composición y la estructura del suelo según Rojas, (2011); en nuestro caso tenemos que en una cobertura de bosque a una distancia de 20 m y 50 m con una profundidad de 0 m y 1 m, ver **Tabla 9**, la densidad aparente mayor en el estrato de bosque oscila entre 1,321 g/cm³ y su menor valor de 0,274 g/cm³, siendo un suelo franco arcillo arenoso de tipo textural fino, la densidad aparente en función de la clase textural de este estrato se encuentra dentro de los valores establecidos que son menores a 1,4 g/cm³, lo cual permite un crecimiento óptimo de raíces, ver **Tabla 8**. Por otra parte, en la cobertura de pasto su densidad aparente mayor es de 1,198 g/cm³ y su menor valor de 0,405 g/cm³ siendo un suelo de textura fina por presentar arcilla, esto se atribuye a que tiene muchos poros pequeños lo cual influye en la infiltración y el transporte lento de agua, dado que los datos se encuentran por debajo del valor crítico según la clase textural disminuyendo la probabilidad de compactación.

Tabla 8: Densidad aparente para el crecimiento de raíces en función a la clase textural del suelo.

Textura de suelo	Densidad aparente ideal para el crecimiento de raíces (gr/cm ³)	Densidad aparente que afecta el crecimiento de raíces (gr/cm ³)
Arenoso, franco arenoso	<1,6	>1,8
Franco arenoso, franco	<1,4	>1,8
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	<1,4	>1,75
Limoso, franco limoso	<1,4	>1,75
Franco arcillo limoso	<1,4	>1,65
Arcillo arenoso, arcillo limoso, franco arcilloso	<1,1	>1,58
Arcilloso (>45% arcilla)	<1,1	>1,47

Fuente: USDA, (2015)

Tabla 9. Análisis de textura en muestras de Bosque y Pasto.

PUNTO	COBERTURA	MARGEN	DISTANCIA DESDE EL CURSO	PROFUNDIDAD	DENSIDAD APARENTE
1	Bosque	Izquierdo	20	Profunda	1,321
1	Bosque	Izquierdo	50	Superficial	0,274
2	Pasto	Derecho	20	Profunda	1,198
2	Pasto	Derecho	50	Superficial	0,405

Fuente: Realizado por los autores.

En los puntos de muestreo que se realizaron en el bosque y pastizales, se obtuvo como clase textural predominante el franco arcillo arenoso, seguidamente por el franco y por último y no menos importante por el franco arcilloso y arcilla, ver **Tabla 10**.

Tabla 10. Análisis de textura en muestras de Bosque y Pasto.

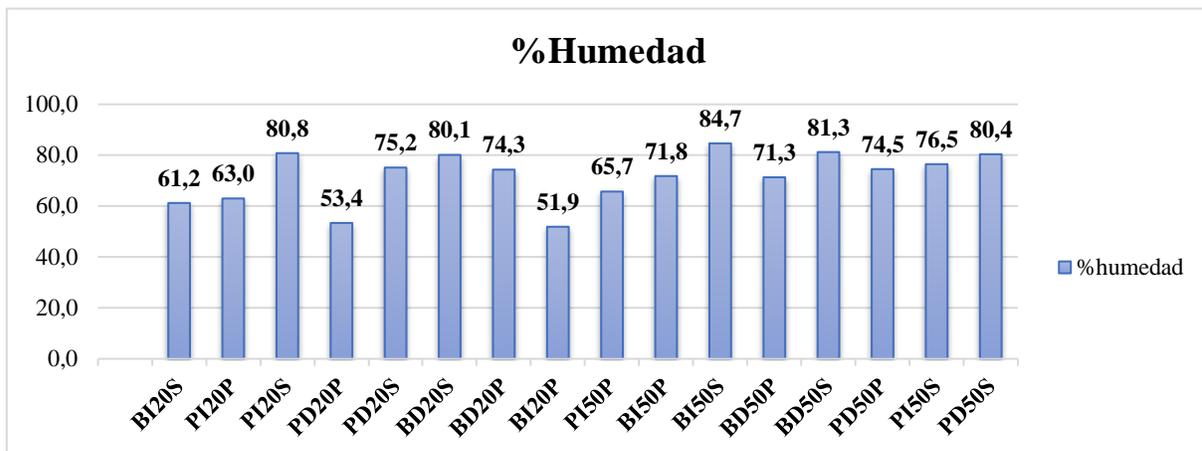
N°	Código	PORCENTAJE			CLASE TEXTURAL
		ARENA	LIMO	ARCILLA	
1	Pasto 50s	65	13	22	Franco arcillo arenoso
2	Bosque 50s	46	34	20	Franco
3	Bosque 50p	37	23	40	Franco arcilloso
4	Pasto 50s	42	17	41	Arcilla

Fuente: Realizado por los autores.

4.1.4. Contenido de humedad en el suelo

Para determinar el contenido de humedad del suelo en la zona de recarga hídrica del río Plata, se extrajo muestras de 0 m y 1 m de profundidad en ambos márgenes del río, según los datos obtenidos, ver **Figura 6**, en donde el uso del suelo es pasto izquierdo a 50 m del margen del río con un valor mayor de 84,7 % en la superficie, mientras que el menor valor se registró en el uso de suelo bosque izquierdo a 20 m del margen del río a una profundidad de un 1 m con un valor de 51,9 %, según Diesel, (2009) manifiesta que el rango óptimo para la capacidad de campo se encuentra entre los valores de 9 % y 50 %, ver **Tabla 11**, ya que este es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de una saturación o de a ver sido mojado abundantemente, el porcentaje promedio de humedad en todos los puntos analizados nos genera como resultado una humedad del 72 %; por otra parte Flores & Alcalá, (2010) manifiestan que la humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, de las características y condiciones físicas del perfil del suelo. La cobertura vegetal en función del uso de suelo juega un papel muy importante dentro de la retención de agua, ya que esta otorga sombra al suelo disminuyendo la pérdida de humedad.

Figura 6. Contenido de humedad en el suelo de Bosque y Pastizal.



Fuente: Realizado por los autores.

Tabla 11. Humedad del suelo según su textura.

Textura del suelo	HUMEDAD EN EL SUELO			
	Capacidad del campo	Punto de marchitamiento	Humedad disponible	Total
Arenoso	9%	2%	7%	18%
Arenoso-franco	14%	4%	10%	28%
Franco arenoso - limoso	23%	9%	14%	46%
Franco arenoso + materia orgánica	29%	10%	19%	58%
Franco	34%	12%	22%	68%
Franco - arcilloso	30%	16%	14%	60%
Arcilloso	38%	34%	14%	86%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%	100%

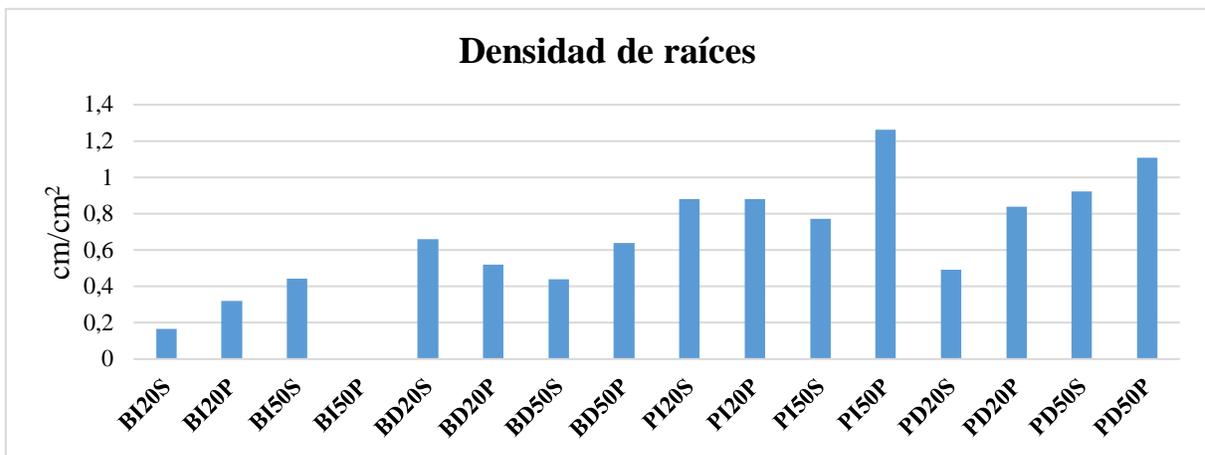
Fuente: Tecnología de riego, TRAXCO, (2009)

4.1.5. Densidad de raíces

En el **Anexo 1**, se muestra la densidad de raíces que se obtuvo en cada uno de los diferentes puntos de muestreo Pasto y Bosque, de la zona de recarga del río Plata en los márgenes izquierdo y derecho de los cuales se obtuvo la mayor densidad en el pasto a 50 m del margen izquierdo a una profundidad de 1 m con un valor de 1,263 cm/cm², siendo un suelo franco, mientras que la menor densidad de raíces se presenta en el franco arcillo arenoso del bosque a 20 m del margen izquierdo del río con un valor de 0,1669 cm/cm² ver **Figura 7**, estos valores demuestran la

estrecha relación que tiene el suelo y las plantas que se desarrollan sobre él; dado que las raíces sirven como medios de anclaje, absorción de nutrientes y almacenadores de energía para la planta, además de ello, ayudan a la aeración del suelo y a su menor compactación, en dependencia a la **Tabla 8**, según USDA, (2015), nuestros datos obtenidos reflejan que en función a la densidad aparente y su clase textural existe un mayor contenido de raíces o desarrollo ideal de los mismos.

Figura 7. Densidad de raíces en el margen izquierdo y derecho.



Fuente: Elaborado por los autores

En el análisis se reportaron diferencias significativas para el valor de ($P \leq 0,05$), en función al tipo de cobertura con una variabilidad en la densidad de raíces de 0,034, dándonos los siguientes resultados, con un margen de error de 0,0464, la densidad de raíces en relación a la cobertura, en el pasto presenta una densidad mayor que es de 0,89 cm/cm^3 , mientras que considerando la misma relación en el bosque, tenemos un valor de 0,47 cm/cm^3 , siendo este el más bajo en densidad de raíces, ver **Tabla 12**.

Tabla 12. Análisis de varianza según el Test de Duncan.

ANÁLISIS DE VARIANZA			
	Cobertura	Profundidad	Textura
Densidad aparente	0,731	0,0826	0,4009
Densidad de raíces	0,0034	0,1655	0,9184
Velocidad infiltración a 1min	0,2355	0,1125	0,8596
Velocidad instantánea de infiltración	0,2251	0,3667	0,9811

VARIABILIDAD DE RAÍCES EN FUNCIÓN A LA COBERTURA	
Cobertura	Medias (cm/cm ³)
Bosque	0,47b
Pasto	0,89a
Error: 0,0464 gl: 9	

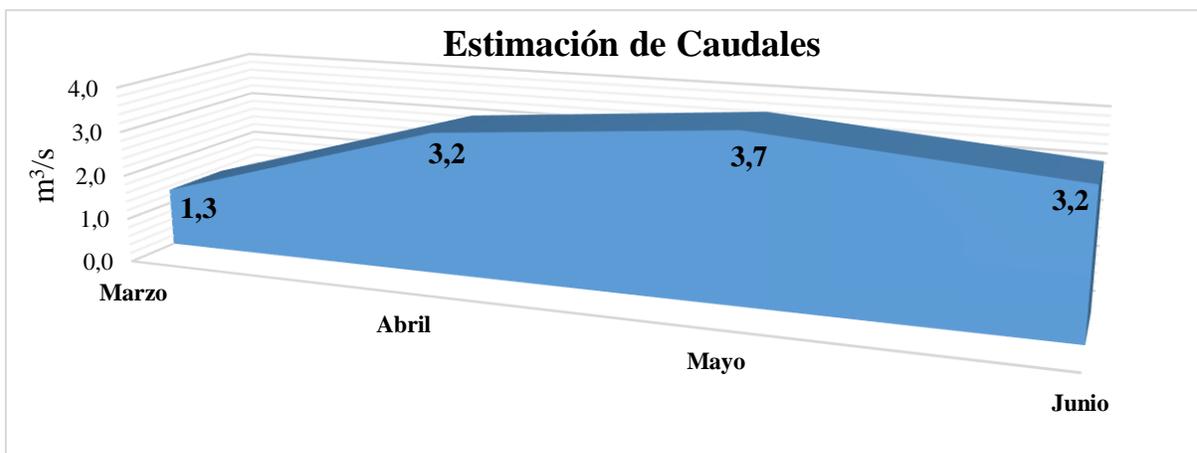
Fuente: Elaborado por los autores.

4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Caudales

Para la determinación del caudal de agua se registró la medición durante un período de tiempo de cuatro meses, en donde se tomo como dato la pendiente de la línea de agua, el área en la sección por donde circula el agua y la variabilidad de alturas a traves de un período de tiempo, ver **Figura 8**. En donde nos da como resultado el dato inicial en el mes de marzo un caudal de 1,3 m³/s, elevandose al mes de abril a un caudal de 3,2 m³/s y el mes de mayo con un caudal de 3,7 m³/s, siendo estos dos últimos los meses con una mayor cantidad de precipitación, por último un descenso considerable en el flujo del caudal a 3,2 m³/s en el mes de junio.

Figura 8. Caudal en la zona de recarga hídrica del río Plata, durante cuatro meses.



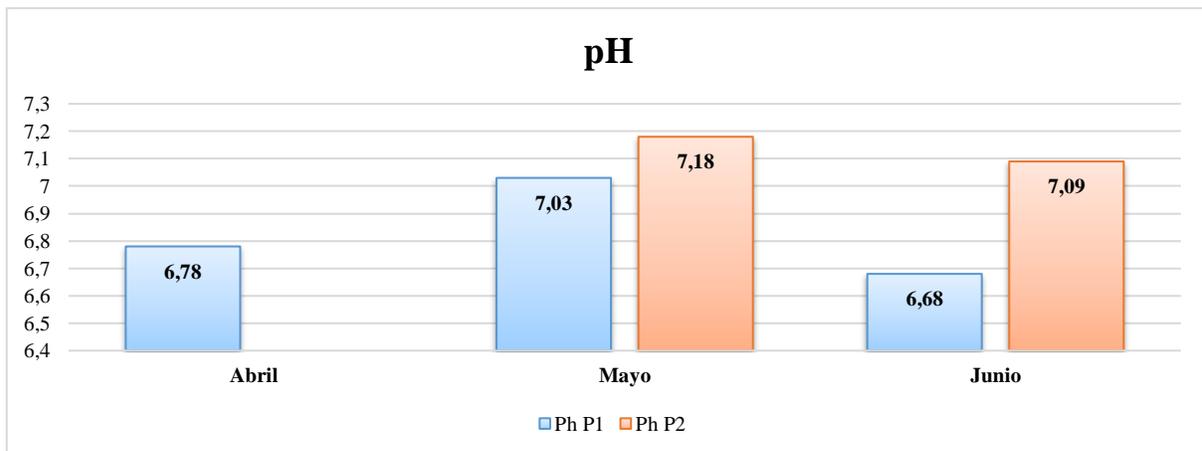
Fuente: Elaborado por los autores.

4.3. CALIDAD DE AGUA

4.3.1. pH

Según el **Anexo 5**, los criterios de calidad de aguas destinadas para fines recreativos expresados en el libro VI anexo 1, tabla 9 del TULSMA, nos manifiesta que el pH para uso de contacto primario debe estar en un valor que oscila entre 6,5 - 8,5, que son los coeficientes que muestran el grado de acides y alcalinidad, en nuestro caso para el mes de abril tenemos un valor de 6,78 que se encuentra dentro del rango ideal para dicho uso, así mismo en el mes de mayo presenta valores de 7,03 - 7,18 y para el mes de junio valores de 6,68 - 7,09, dado que estos valores son apropiados para la natación y el buceo incluido los baños medicinales, ver **Figura 9**.

Figura 9. pH en la zona de recarga hídrica del río Plata.

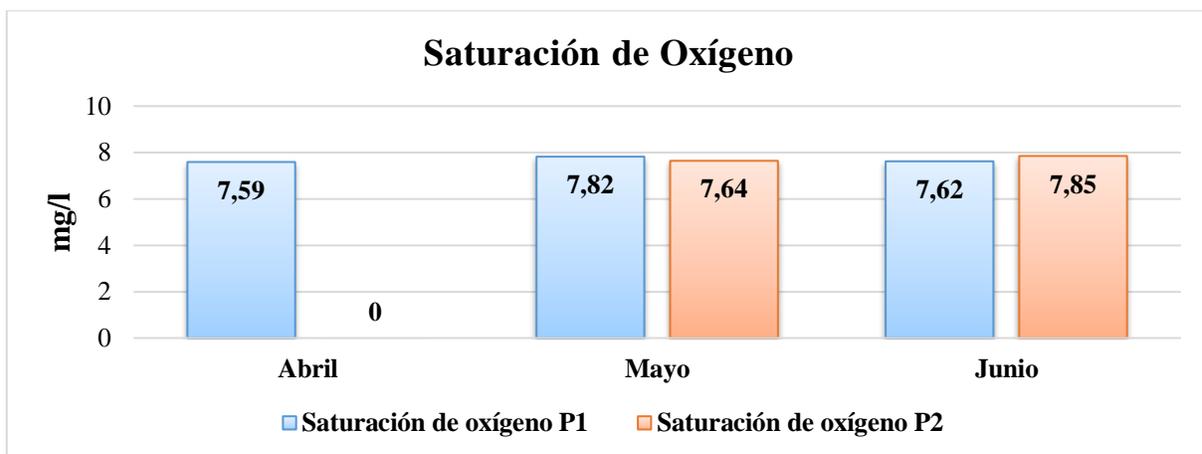


Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.2. Saturación de Oxígeno

Para la estimación de la saturación de oxígeno u oxígeno disuelto según el **Anexo 5**, los criterios de calidad de aguas destinadas para fines recreativos expresados en el libro VI anexo 1, tabla 9 del TULSMA, nos manifiesta que los porcentajes adecuados para la utilización de estas aguas deben estar en concentraciones de saturación no menor al 80 % y no menor a 6mg/l. Por lo tanto, en la zona de recarga hídrica del río Plata para los meses de abril, mayo y junio en los puntos analizados, para el primer mes antes mencionado tenemos un valor de 7,59 mg/l que se encuentra dentro de un rango ideal, para la existencia de microorganismos acuáticos; para el mes de mayo la cantidad de oxígeno disuelto se encuentran en valores de 7,82 mg/l-7,64 mg/l, para el mes de junio sus valores oscilan entre 7,62 mg/l-7,85 mg/l encontrándose estos valores dentro de los límites permisibles para el uso de fines recreativos, cabe destacar que el nivel de oxígeno disuelto en el agua varía con la temperatura; el cual es inversamente proporcional al oxígeno disuelto, ver **Figura 10**.

Figura 10. Saturación de oxígeno en la zona de recarga hídrica del río Plata.



Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.3. Conductividad

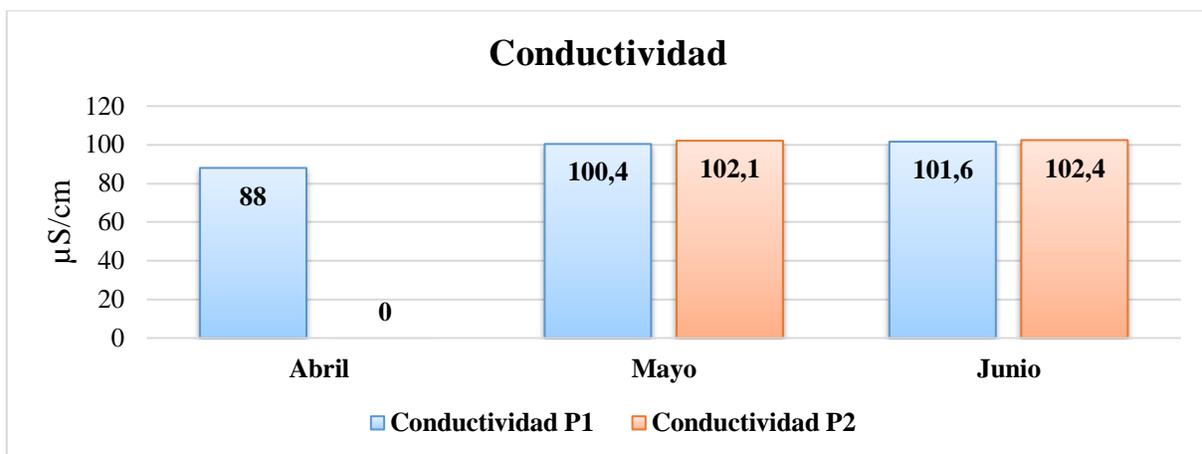
Para la determinación de la conductividad se utilizó el multiparamétrico de marca Hach modelo HQ30d, dándonos como resultado los siguientes valores, una conductividad de 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de abril, 100,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de mayo y 101,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de junio, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles detallados en la **Tabla 13** según Infoagro, (2000), los cuales su rango optimo esta de 0 a 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo tanto esta agua es considerada muy blanda ya que carece de minerales como sales de magnesio y calcio, además de ellos se obtuvo datos de conductividad en puntos después del dique del río los cuales son 102,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de mayo y 102,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el mes de junio, ver **Figura 11**, estos valores presentados tienen gran aceptabilidad en lo que respecta a conductividad.

Tabla 13. Conductividad y dureza del agua.

$\mu\text{S}/\text{cm}$	DUREZA
0-140	Muy blanda
140-300	Blanda
300-500	Ligeramente dura
500-640	Moderadamente dura
640-840	Dura
Superior a 840	Muy dura

Fuente: Conductividad eléctrica (CE), Infoagro Madrid España, (2000).

Figura 11. Conductividad en la zona de recarga hídrica del río Plata.

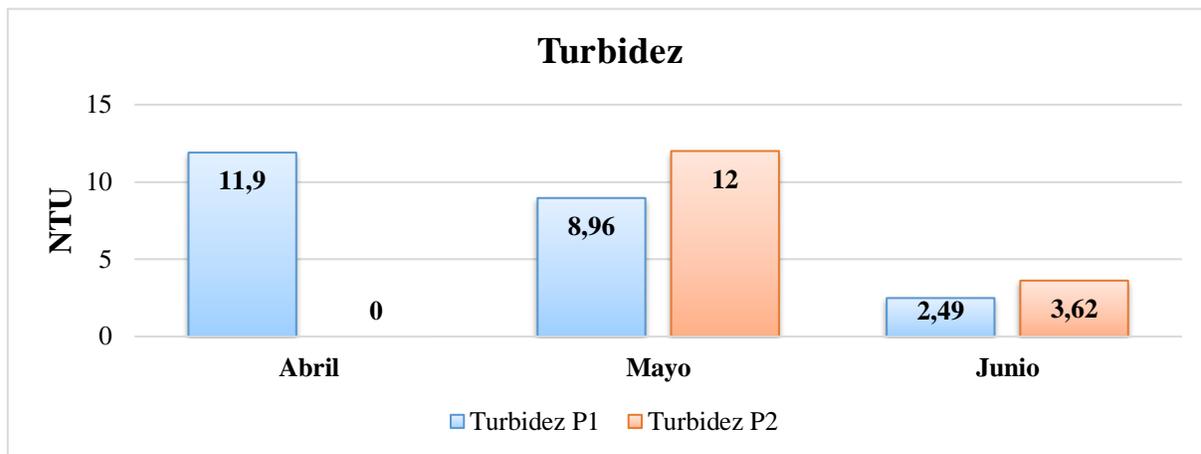


Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.4. Turbidez

Para analizar la turbidez, sabiendo que esta es una medida del grado de transparencia del agua y que mientras más sucia parezca está, más alta será el grado de turbidez; luego de los análisis realizados en los distintos puntos de muestreo se obtuvo como resultado los siguientes valores, en el punto 1 que es considerado antes del dique de las palmas, en los meses de abril, mayo y junio se obtuvo como resultados los siguientes 11,9 NTU, 8,96 NTU y 2,49 NTU respectivamente, para el punto 2 que es considerado después del dique se obtuvo 12 NTU y 3,62 NTU, para los meses de mayo y junio respectivamente, ver **Figura 12**, cabe destacar que la Organización Mundial para la Salud (OMS) manifiesta que el agua para consumo humano debe encontrarse en un rango que no supere los 5 NTU ni este por debajo de 1 NTU, por lo tanto los datos obtenidos no se encuentran aptos para el consumo humano, sin embargo se puede usar para el uso de fines recreacionales de contacto primario.

Figura 12. Turbidez en la zona de recarga hídrica del río Plata.

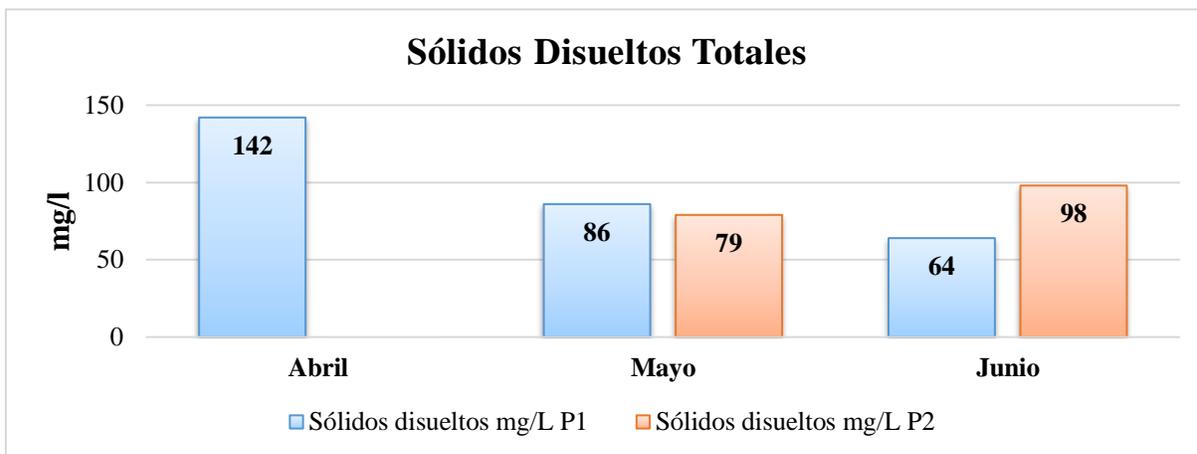


Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.5. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales nos indican la cantidad de sustancias disueltas en un medio líquido ya sean estas sales minerales o sustancias orgánicas e inorgánicas, principalmente calcio, magnesio, potasio y sodio, en otras palabras es cualquier molécula o partícula en suspensión dentro de un medio acuoso que ni se disuelve ni se asienta, en nuestro caso después de realizar los análisis se obtuvieron los siguientes valores; la mayor concentración de sólidos disueltos totales se presentó en el mes de abril con una cantidad de 142 mg/l, en el mes de mayo 86 mg/l y en el mes de junio 65 mg/l, estos valores obtenidos en el punto uno considerados antes del dique de las Palmas, para el punto ubicados después del dique se obtuvo un menor grado de concentración de sólidos disueltos totales, dado que en el mes de mayo se encontró un valor de 79 mg/l y para el mes de junio 98 mg/l, según el libro VI, anexo 1 tabla 2 del TULSMA manifiesta que el límite máximo permisible para aguas de consumo humano y de uso doméstico que únicamente requieren desinfección está en un valor de 500 mg/l, por lo tanto los valores obtenidos están dentro del rango antes mencionado, sin embargo no son aptos para el consumo humano, ya que son aguas destinadas para uso de fines recreacionales.

Figura 13. Sólidos sedimentables en la zona de recarga hídrica del río Plata.

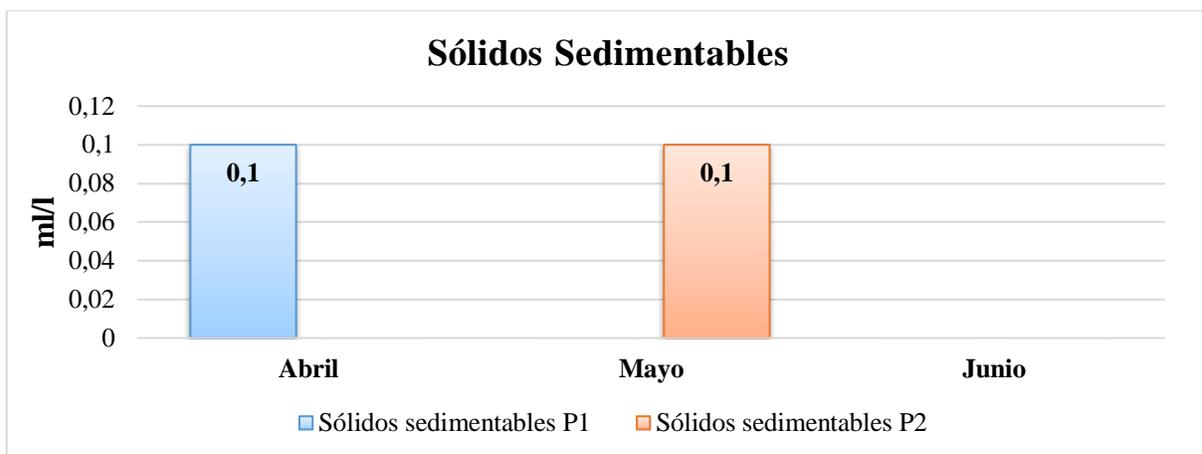


Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.6. Sólidos Sedimentables

Conociendo que los sólidos sedimentables son la cantidad de partículas sólidas que se depositan en el fondo de un recipiente de forma cónica (Cono Imhoff) por acción de la gravedad en un periodo de tiempo, en nuestro caso se obtuvo, en el mes de abril un nivel de sedimento el 0,1 ml/l para el punto 1, que es considerado antes del dique de las Palmas; mientras que para el punto 2, que es después del dique en el mes de mayo se obtuvo el mismo valor, esto debido a que en los meses mencionados existió una gran cantidad de precipitación lo que ocasionó una mayor turbiedad en las aguas de la zona de recarga hídrica del río Plata, influyendo en la cantidad de sólidos sedimentables, ver **Figura 14**.

Figura 14. Sólidos sedimentables en la zona de recarga hídrica del río Plata.



Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.7. Índice de calidad de agua (ICA)

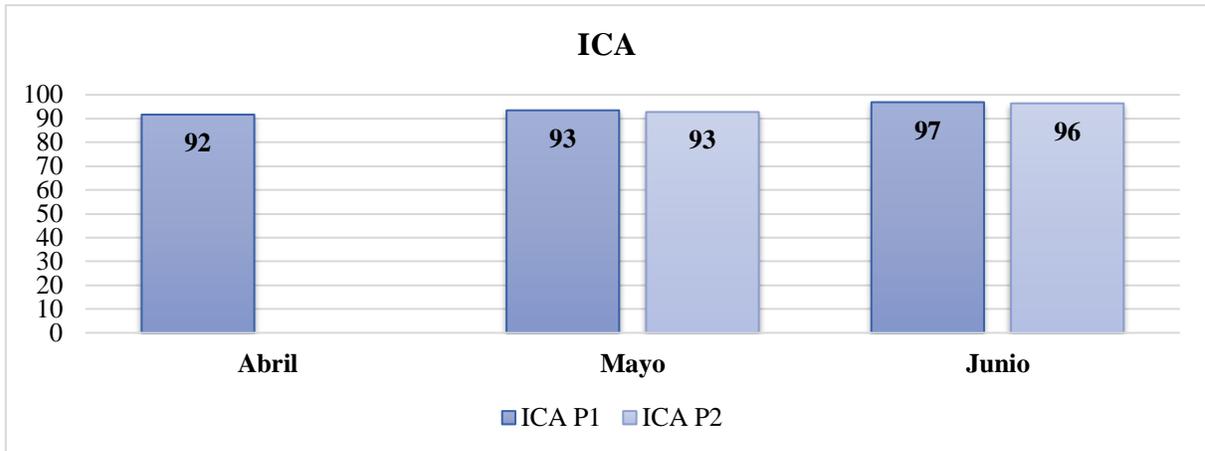
La valoración de la calidad de agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza físico-química en relación con su calidad natural, por posibles presiones antropogénicas; los parámetros establecidos en la norma NSF, (1970) establecen rangos de calidad que van de 0 a 100, ver **Tabla 15**, en este caso se obtuvo como resultado valores que oscilan entre 92 y 97, presentando una calidad de agua en excelentes condiciones que circula por la zona de recarga hídrica del río Plata, desde la parte alta que es pasto pasando el estrato de bosque secundario hasta llegar al dique de las Palmas, y **Figura 15**, según Torres, Cruz, & Patiño, (2009) los rangos de clasificación del ICA.

Tabla 14. Rangos de clasificación del ICA, NSF (1970).

Rango	Escala de color
Excelente: 91-100	Blue
Buena: 71-90	Green
Media 51-70	Yellow
Mala: 26-50	Orange
Muy mala: 0-25	Red

Fuente: Índice de calidad del agua de la NSF (1970), según (Torres, 2009)

Figura 15. ICA de la zona de recarga hídrica del río Plata.

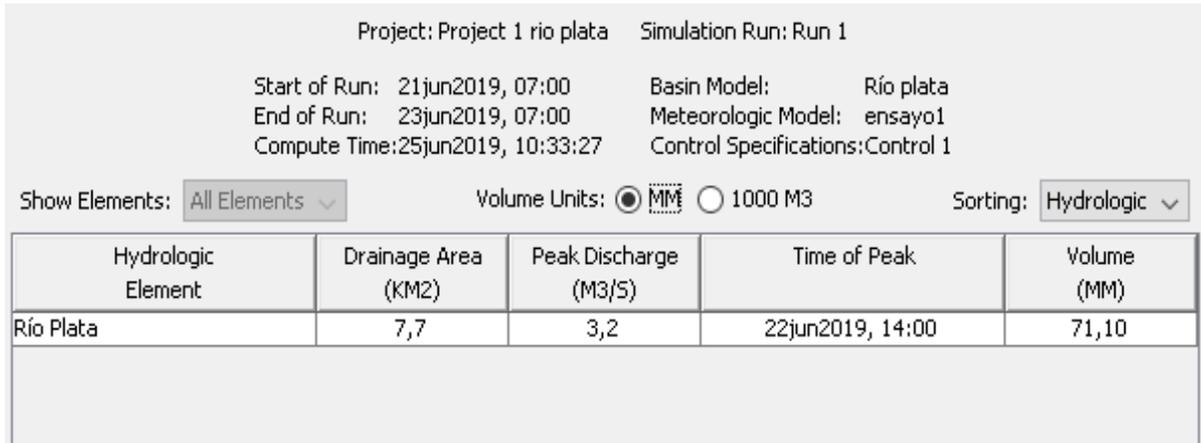


Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.8. Modelamiento de crecidas

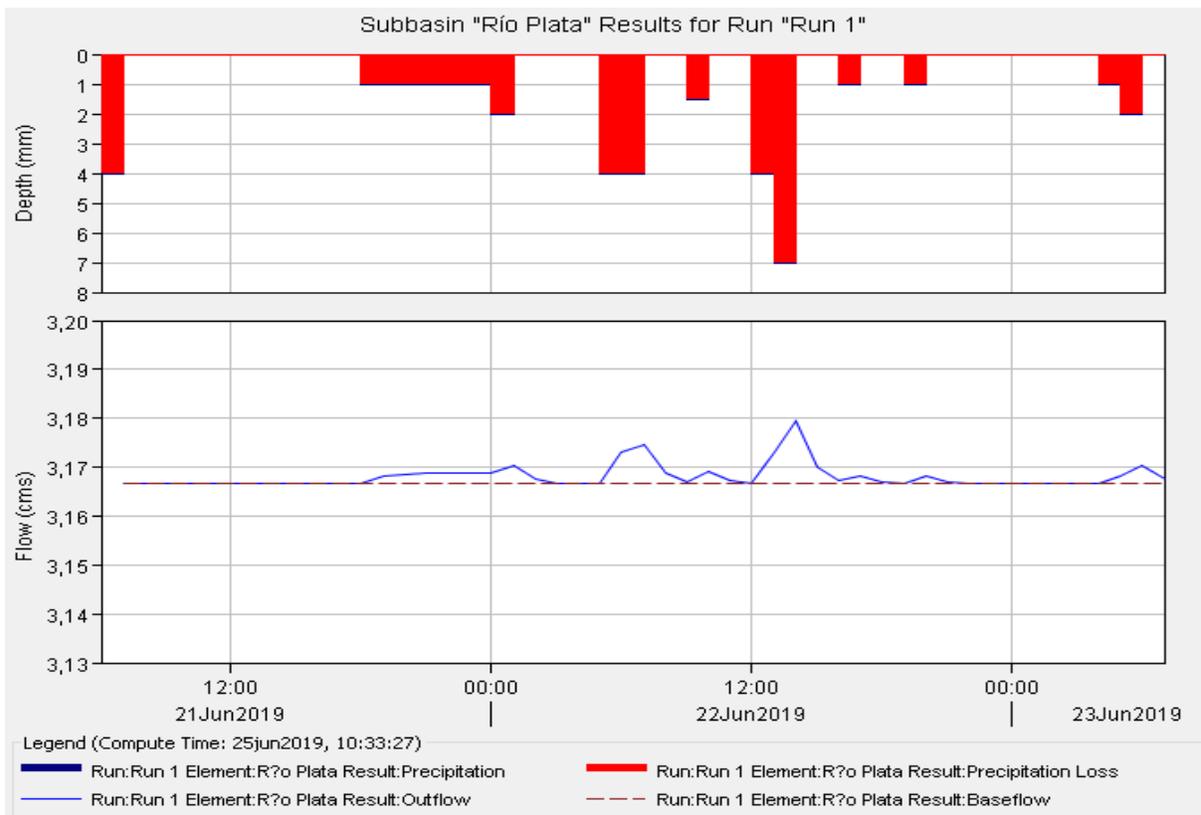
En función del programa HEC-HMS, que es un software que calcula el hidrograma producido por una cuenca en estrecha relación de la precipitación y escorrentía; el modelamiento de crecidas para la zona de recarga hídrica, una vez ingresado datos de precipitación facilitados por la estación meteorológica Veracruz, ver **Anexo 7**, y las demás características de la zona de recarga hídrica se obtiene como resultados en una tabla global, ver **Figura 16**, se detalla que en el modelamiento realizado con área de drenaje de 7,7 km² en un periodo de tiempo de dos días 21 de junio al 22 de junio del 2019, en intervalos de 1 hora; su precipitación es de 71,10 mm, generando así un caudal punta de 3,2 m³/s, el cual será considerado como el tránsito de avenidas que fluye por dicha zona. En la **Figura 17** se observa la relación entre la cantidad de precipitación que va fluir por el cauce del río Plata, y la pérdida generada por la absorción e infiltración en el área de estudio, dado que no existe permeabilidad en el suelo.

Figura 16. Modelamiento de crecidas.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 17. Modelamiento de crecidas.



Fuente: Elaborado por los autores.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La zona de recarga hídrica del río Plata en el dique de las Palmas posee un área de 7,7 km², con una longitud del cauce del río de 4 km, y una cobertura vegetal de bosque secundario y pastizales en su parte alta.
- En función a las características hidro-edafológicas la zona de recarga hídrica del río Plata posee en su clase textural de suelos de tipo franco arcillo arenoso, franco, franco arcilloso y arcillo en cada uno de estos tipos de suelo su infiltración varía en dependencia de la cobertura vegetal, en donde estos suelos presentan menor compactación y por consiguiente alta retención de agua en la zona de recarga hídrica del río Plata.
- El contenido de humedad en función del tipo de cobertura vegetal del suelo presenta un mayor valor en el pasto con un tipo de suelo arcillo y un menor valor de humedad en el bosque secundario con un tipo de suelo franco arcilloso.
- En cuanto a los índices de calidad de agua se puede destacar que la zona de recarga hídrica del río Plata posee una excelente calidad de sus aguas, después de haber realizado sus respectivos análisis y comparación con la norma NSF1970, el cual posee un caudal máximo de drenaje de 3,2 m³/s, con una precipitación de 71,10 mm según el modelamiento realizado en el HEC-HMS, con los datos facilitados por la estación meteorológica Veracruz.

5.2. RECOMENDACIONES

- La zona de recarga hídrica posee aguas en excelente calidad por lo cual se recomienda tomar acciones de conservación mediante el monitoreo periódico para mantener las condiciones en las que se encuentra ya que al ser un recurso importante para los fines recreativos del dique de las Palmas se recomienda mantenerlo en su estado actual para el uso de contacto primario.
- Se recomienda realizar la limpieza periódica de la zona del embalse en el dique de las Palmas para asegurar la calidad de aguas de descarga río abajo evitando así posibles afectaciones en la zona.
- Se recomienda realizar más estudios que contengan más parámetros de calidad en un área más grande durante un periodo de tiempo más extenso, tomando en consideración estudios previamente realizados.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acher, R. (2012). Análisis de Varianza. Anova, 150. Obtenido de: <http://www.etsii.upm.es/ingor/estadistica/Carol/cap1DyR.pdf>
- Arévalo, A. (2015). Propiedades Hidráulicas del suelo. *Tecnología y Educación*, 4. Obtenido de Propiedades Hidráulicas del suelo: <https://ingenieroangelarevalo.wordpress.com/2015/04/09/propiedades-hidraulicas-del-suelo/>
- Barbecho, J., & Calle, J. (2012). *Caracterización de la conductividad hidraulica de los suelos de la cuenca del Tío Tarquí*. Obtenido de Características de la conductividad hidráulica del suelo: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/771/1/ti897.pdf>
- Benavides, A., Moreno, M., & Carlos, Q. (2008). Evaluación de la calidad de agua en las principales lagunas del estado de chihuahua. *Latinoamericana de Recursos Naturales*, 85-86 .
- Blake, J., & Hartge, L. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis, part 1. Agronomy*, 349-377.
- Broosk, D. (2014). *Agua Manejo a nivel local, Centro internacional de investigaciones para el desarrollo*. Bogotá Colombia: Alfaomega .
- Caceres, L. (2015). Identificación de zonas de Recarga hidrica en la microcuenca de Rio Negro, Ciudad de Guatemala. *Universidad Rafael Landívar*, 40-45.
- Cardona, B. (2019). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Guatemala: USCG 01012.
- Castro, L. (2017). *Evaluación de modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo*. Cuenca: UCF1867. Obtenido de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27315/1/TesisFinal.pdf>
- Cerda, A. (1993). *La infiltración en los suelos del País Valenciano*. Valencia (España): RODERIC.
- Chatham, K. (1994). Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en américa. *FAO*, 33-38.
- Conú, L., & Jimenez, A. (2014). Determinación de textura por el metodo de Bouyoucos . *FACNED*, 1- 2

- Delgadillo, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos analíticos. *Edafología UNAM*, 5.
- Diesel, R. (2009). Humedad en suelos de diferente textura. *Traxaco* , 1, Zaragoza (España).
- Domínguez, M. (2009). *El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes*. Obtenido de: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61>
- FAO. (1993). Manual de Riego Parcelario. *Capítulo 1 Revisión de Bases técnicas*, 20.
- Ferrando, F. (2002). Cuenca del río Limarí, Chile semiárido: Aspectos de la oferta y demanda de agua. *Geografía Norte Grande*, 10, Santiago de Chile.
- Flores, M., Figueroa, B., & Martínez, M. (2006). *Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza*. Mexico: ISSNA 1405 - 3195. Obtenido de: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17866/1/Tesis%20Lista%20Kilmar.pdf>
- Flores, O., & Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso*. México DF: ISBN 968-36-3992-5.
- Fuentes, J. (2008). *Scielo*. Obtenido de Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- GADP. (2019). Puyo reseña histórica. *Pastaza aventura, selva y tradiciones* , 1, Puyo.
- Gallardo, F. (2015). El humus constituye un índice adecuado para caracterizar los suelos. *researchgate*, 5 -7. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Gallardo_Lanchao/publication/315787416_The_Humus_El_humus/links/58e4e303aca2727858c64725/The-Humus-El-humus.pdf
- García, A. (2017). *Infoagro*. Obtenido de Nutrientes presentes en el suelo: <http://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>
- Garrido, M. (2017). *Calculo de la transformación lluvia, escorrentía mediante un modelo Saint venant 2D. Validación mediante datos de campo y laboratorio* . Coruña: Universidade da Coruña.
- González, M. (2015). *Scielo*. Obtenido de Acumulación y Descomposición de Hojarasca en Bosques Secundarios del Sur de la Sierra de Chiapas, México: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000300013
- Guerrero, R. (1997). *Masas de agua en la plataforma continental* . Buenos Aires: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada*. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Heredia, E. (2017). Densidad Real Aparente y Porosidad del Suelo. *Academia online*, 7-10. Obtenido de: https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO
- Hernández, A. (2016). Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14363/Tesis.pdf?sequence=1>

- Herrera, I. (2012). La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3.
- Hudson, W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión y de la escorrentía*. Roma: FAO.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, M. (2007). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. *UPV*, 3-5, Valencia (España).
- INAMHI. (2018). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito.
- Jardí, M. (1985). *Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen*, Barcelona (España).
- Matus, F., & Maire, C. (2012). Scielo. *Educativa*, 12. Obtenido de Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno.
- Matus, O. (2013). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Matagalpa Nicaragua: Davant Publicacions.
- Matus, O., Faustino, J., & Jimenez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. *CATIE*, 5-8, Nicaragua.
- Moral, F. (2018). Concentración de iones mayoritarios en las aguas de la red fluvial de la cuenca del gualquívir y sus condicionantes geológicos. *GEOGACETA*, 71-72, Salamanca (España).
- Olivero, R., Mercado, I., & Montes, L. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucilago del nopal opuntia ficus-indica*. Caldad-Antioquia: ISSN 2323-0703.
- Ostinelli, M., Carreira, D., Basan, M., & Rosas, D. (2011). Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego). *INTA*, 5-9, Bogotá (Colombia).
- Pascual, J. (2004). *Cambios de usos del suelo y régimen hídrico en la rambla de Poyo y el Barranc de Carraixet*. Valencia España: Servei Artes Geograficas .
- Penon, E. (2005). Scielo. Obtenido de Distribución de raíces finas y su relación con algunas propiedades del suelo: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S198050982005000100033&script=sci_abstract&tlng=es
- Pérez, A., & Rodríguez, A. (2008). *Índice físico-químico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. San José (Costa Rica) : ISSN 0034-7744 .
- Perez, J. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales del café. *Terra latinoamericana*, 249-259.
- Pire, R. (1986). DENSIDAD LONGITUDINAL DE RAICES Y EXTRACCION DE HUMEDAD EN UN VIÑEDO DE EL TOCUYO VENEZUELA. *Agronomía Tropical*, 4-5.
- Racca, J. (2007). Análisis Hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 31-38 .

- Ramírez, A., & Aldama, Á. (2001). Solución analítica aproximada de la ecuación de tránsito de avenidas en vasos. *Tecnología y Ciencia del Agua*, 16.
- Rodríguez, Y., & Marrero, N. (2015). *Simulación hidrológica en dos subcuencas de la cuenca del río zaza de Cuba*. Cujae (Habana) : ISSN 1680-0338.
- Rojas, J. (2011). *Determinación de la densidad aparente en suelos físicamente compactados*. Argentina: Dunken.
- Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. *Ciencia UNEMI*, 100-110.
- Sardiñas, O., Chiroles, S., & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa el cacao. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 2003.
- Sepúlveda, B. R. (2015). El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos: Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea. *UMA*, 14, Málaga (España).
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo*. Caracalle: ISBN 92-5-304944-8, SC.
- SIGTIERRAS. (2017). Sistema de Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. *Mapa digital, órdenes de suelos del Ecuador*, Escala 1:4300000 Quito, Ecuador.
- Silva, A. (2016). La materia orgánica del suelo. *Bibliofagro*, 4-6, SC.
- Singler, A., & Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. *Well Educated*, 1.
- Sosa, D., & Zerpa, M. (2000). *Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo*. Zavalla: DENOIA.
- Torres, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Ingenierías UNIVERSIDAD DE MEDELLIN*, 90-91.
- Vagaría, A., & Gaspari, F. (2010). Herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG IDRISI ANDÉS. *Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 12-15.
- Valdés, J. (2007). *Métodos de aforo para la estimación de la recarga de acuíferos*. Santiago de Chile: Dspace.
- Vargas, R. (2009). Guía para la descripción de suelos. *FAO*, 26-31, Roma (Italia).
- Vásquez, E., & Dávila, D. (2008). *SciELO*. Obtenido de Efecto de la Humedad, Temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162008000100015&script=sci_arttext&tlng=en

Viera, C., & Santos, D. (2012). *Estimación de la evapotranspiración del ricino, energía con diferentes niveles de agua salina*. Mexico DF: ISSN 2521-9766.

Villagómez, J. (2006). *Correlacion de Pearson* . Medellin : Edicion SA de CV.

Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua, procesos fisicoquímicos* . Michigan : Reverté, S.A. .

WPCF, APHA, & AWWA. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* . Madrid (España) : Diaz de Santos, S.A.

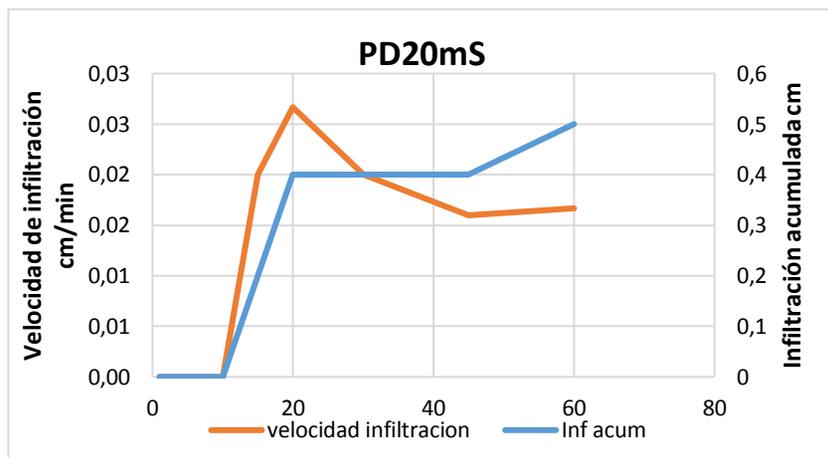
CAPÍTULO VII

ANEXOS

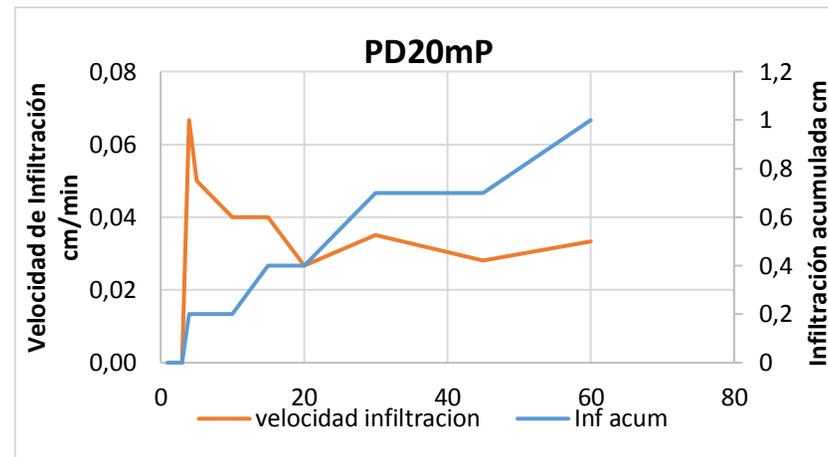
Anexo 1. Características Edafológicas

PUNTO	COBERTURA	MARGEN	DISTANCIA DESDE EL CURSO	PROFUNDIDAD	DENSIDAD APARENTE	TEXTURA	DENSIDAD DE RAÍCES	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN A 60 MIN	%HUMEDAD	ALTURA DE HOJARASCA (cm)		ALTURA DE HUMUS		VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	SUELO(A-B-C-D)	HC	INFILTRACIÓN ACUMULADA
1	Bosque	Izquierdo	20	Superficial	0,998	Franco arcillo arenoso	0,1669	0,14	61,2	14,6	5,75	7,3	2,87	0,29	B	52	6,1
1	Bosque	Izquierdo	20	Profunda	1,321	Franco arcillo arenoso	0,32	0,007	63,0	16,2	6,38	7,1	2,80	0	B	52	0,2
1	Bosque	Izquierdo	50	Superficial	0,274	Franco	0,443	0,0683	80,8	17,4	6,85	9,7	3,82	0	B	52	1,1
1	Bosque	Izquierdo	50	Profunda	0,631	Franco arcillo arenoso		0,0033	53,4	18,8	7,40	7,2	2,83	0	B	52	0,1
1	Bosque	Derecho	20	Superficial	0,420	Franco arcillo arenoso	0,661	0,1667	75,2	19,2	7,56	6,3	2,48	0,29	B	52	6
1	Bosque	Derecho	20	Profunda	0,577	Franco	0,52	0,1	80,1	19,2	7,56	5,1	2,01	0,28	B	52	3
1	Bosque	Derecho	50	Superficial	0,373	Franco arcillo arenoso	0,438	0,03	74,3	17,4	6,85	5,4	2,13	0	B	52	0,7
1	Bosque	Derecho	50	Profunda	0,660	Franco arcilloso	0,639	0,00667	51,9	15,6	6,14	5,2	2,05	0	C	63	0,3
2	Pasto	Izquierdo	20	Superficial	0,422	Franco arcilloso	0,88	0,3	65,7	13,8	5,43	6,1	2,40	0,19	C	63	9
2	Pasto	Izquierdo	20	Profunda	0,422	Franco arcilloso	0,88	0,0583	71,8	12	4,72	5,3	2,09	0	C	63	2
2	Pasto	Izquierdo	50	Superficial	0,526	Arcilla	0,772	0,08	84,7	10,2	4,02	4,9	1,93	0	C	63	2,3
2	Pasto	Izquierdo	50	Profunda	0,812	Franco	1,263	0,0067	71,3	11	4,33	5,3	2,09	0	B	52	0,3
2	Pasto	Derecho	20	Superficial	0,541	Franco	0,491	0,01	81,3	13,8	5,43	6	2,36	0	B	52	0,5
2	Pasto	Derecho	20	Profunda	1,198	Arcilla	0,84	0,0334	74,5	12,9	5,08	5,5	2,17	0	C	63	1
2	Pasto	Derecho	50	Superficial	0,405	Franco arcillo arenoso	0,921	0,01667	76,5	12,6	4,96	4,7	1,85	0	B	52	0,8
2	Pasto	Derecho	50	Profunda	0,527	Franco arcillo arenoso	1,108	0,005	80,4	13	5,12	7	2,76	0	B	52	0,2
									Promedio 72								

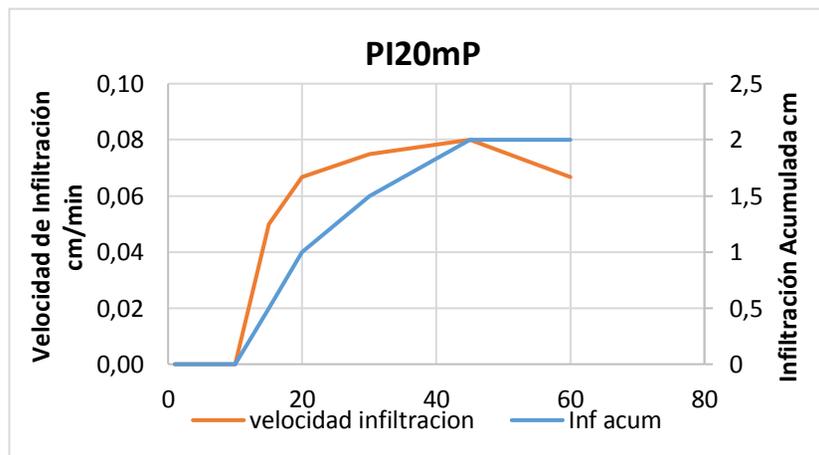
Anexo 2. Velocidad de infiltración en el uso de suelo pastizal, utilizando el método Cilíndrico Infiltrómetro.



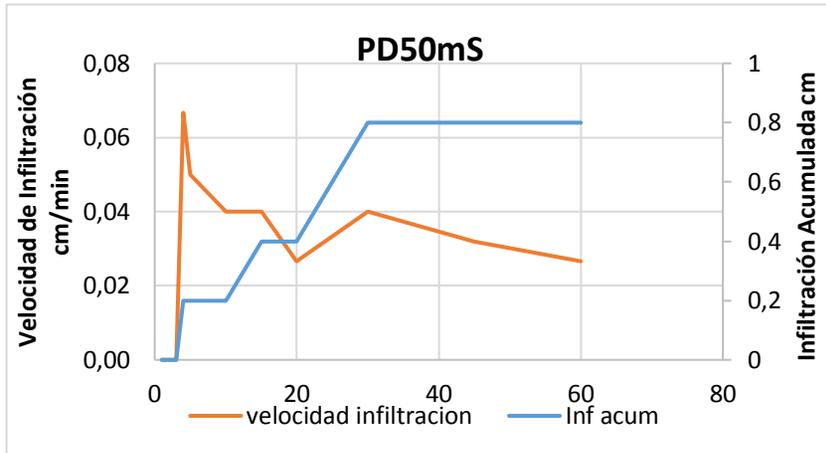
Anexo 2.1. Medida de infiltración en PD20mS.



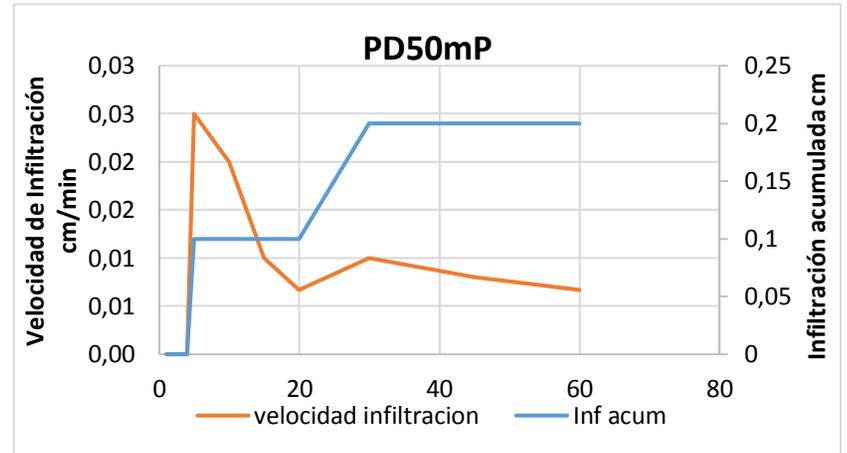
Anexo 2.2. Medida de infiltración en PD20mP.



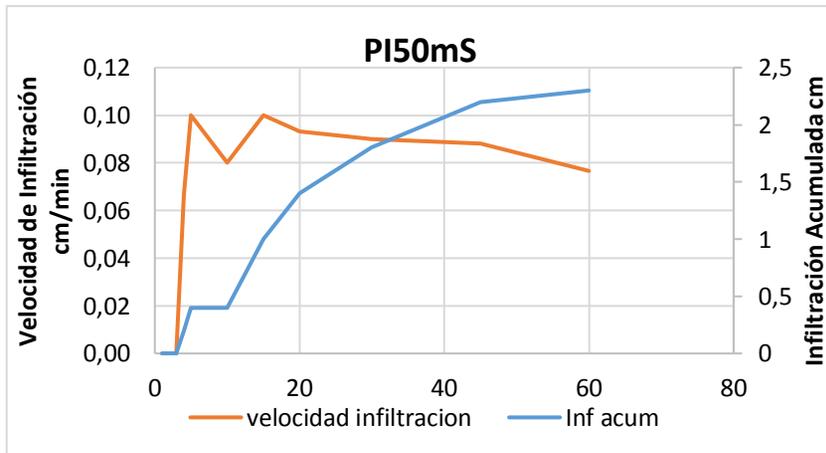
Anexo 2.3. Medida de infiltración en PI20mP.



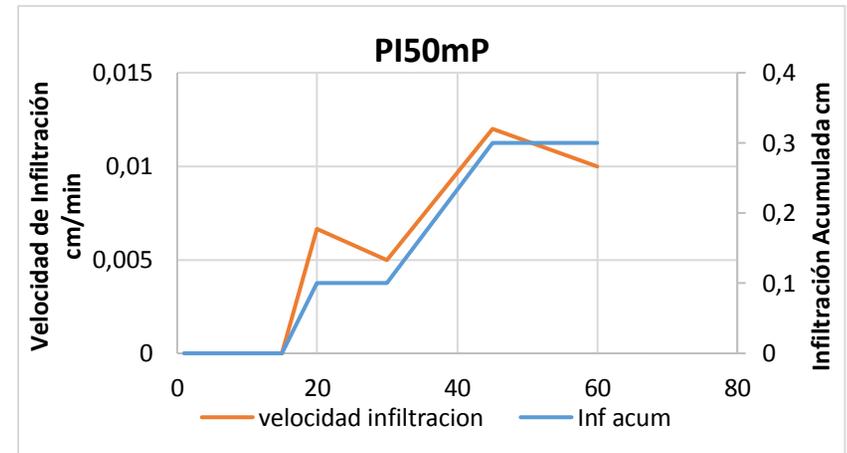
Anexo 2.4. Medida de infiltración en PD50mS.



Anexo 2.5. Medida de infiltración en PD50mP.

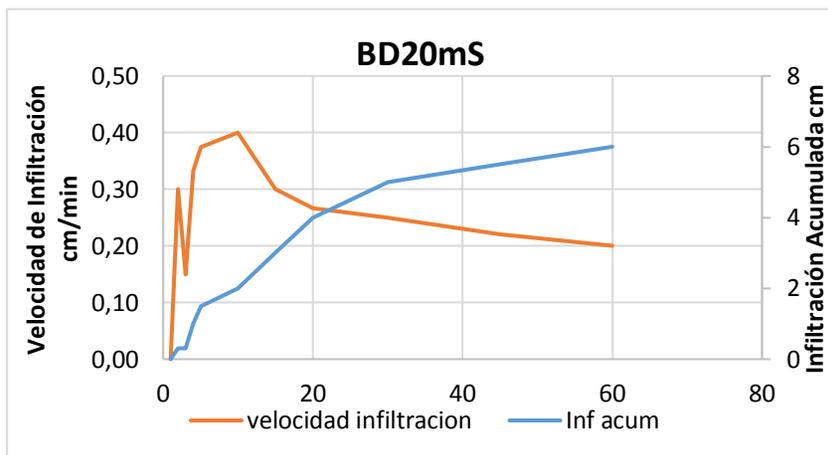


Anexo 2.6. Medida de infiltración en PI50mS.

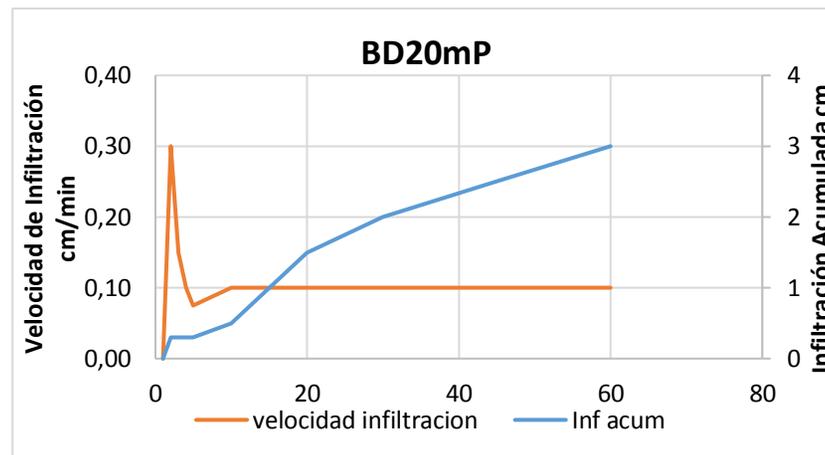


Anexo 2.7. Medida de infiltración en PI50mP.

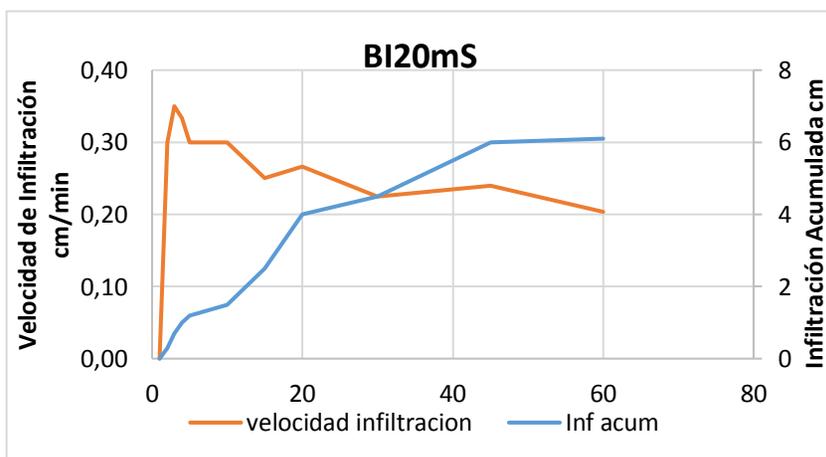
Anexo 3. Velocidad de infiltración en el uso de suelo bosque, utilizando el método Cilíndrico Infiltrómetro.



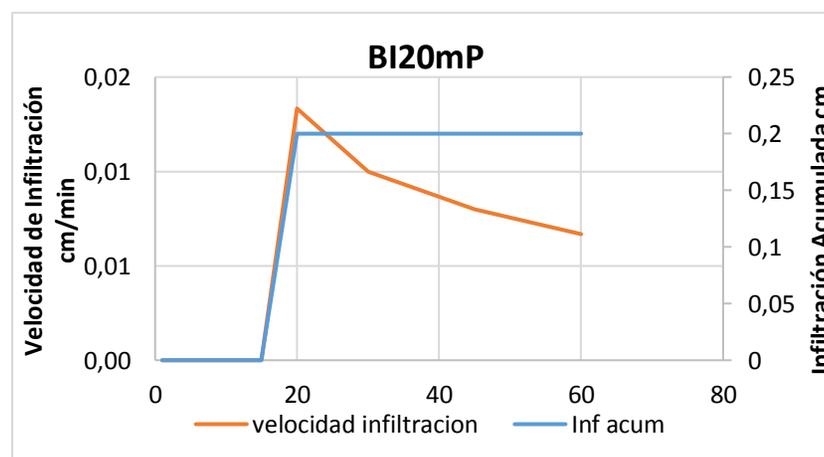
Anexo 3.1. Medida de infiltración en BD20mS.



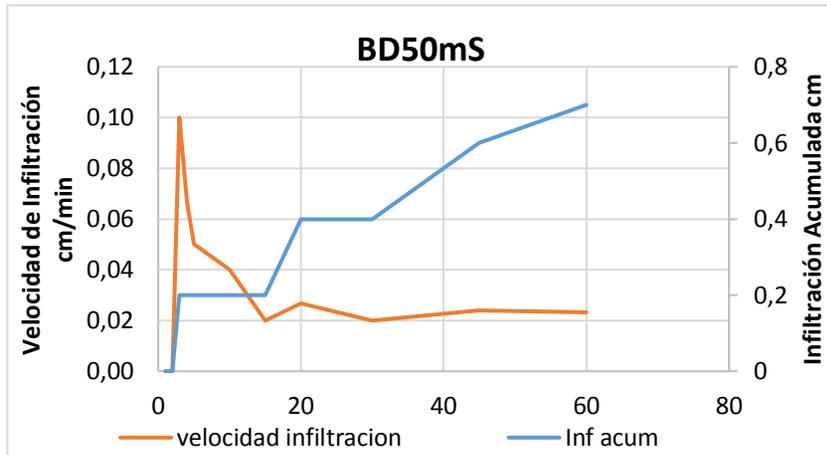
Anexo 3.2. Medida de infiltración en BD20mP.



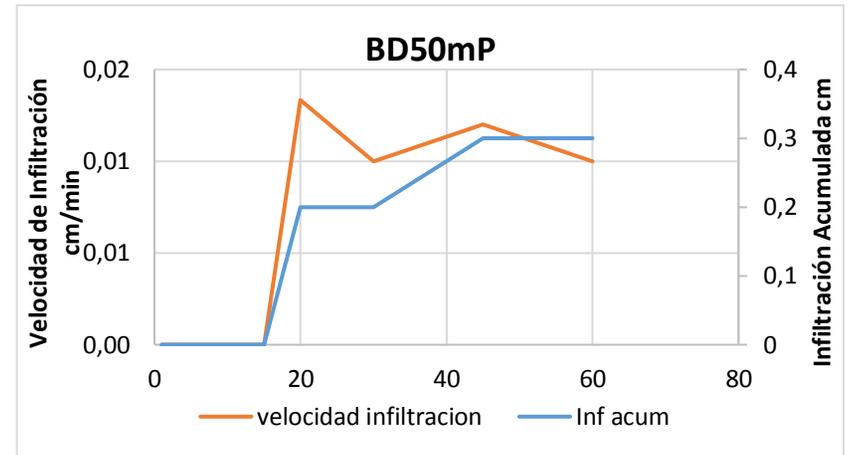
Anexo 3.3. Medida de infiltración en BI20mS.



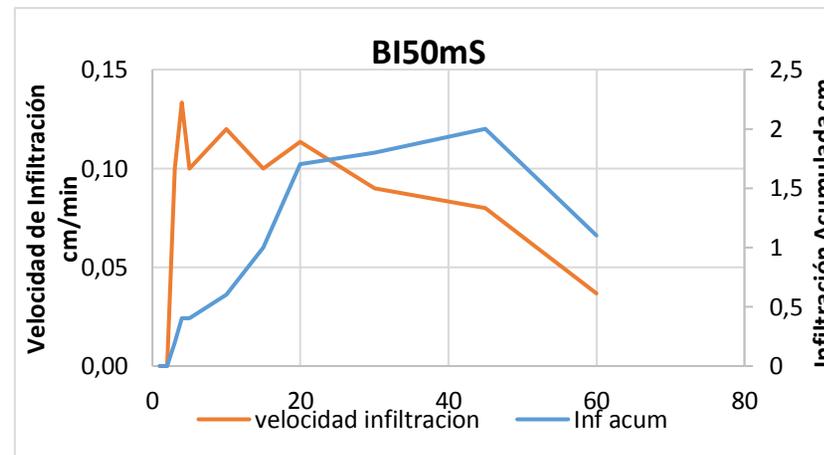
Anexo 3.4. Medida de infiltración en BI20mP.



Anexo 3.5. Medida de infiltración en BD50mS.



Anexo 3.6. Medida de infiltración en BD50mP.



Anexo 3.7. Medida de infiltración en BI50mS.

Anexo 4. Clases texturales de los suelos de la zona de recarga del río Plata.

N°	Código	PORCENTAJE			CLASE TEXTURAL
		ARENA	LIMO	ARCILLA	
1	PI20mS	33	40	27	Franco arcilloso
2	PI20mP	33	22	45	Franco arcilloso
3	PD20mS	45	30	25	Franco
4	PD20mP	34	24	42	Arcilla
5	BD20mS	50	15	35	Franco arcillo arenoso
6	BD20mP	35	43	22	Franco
7	BI20mS	55	25	20	Franco arcillo arenoso
8	BI20mP	60	8	32	Franco arcillo arenoso
9	PI50mS	42	17	41	Arcilla
10	PI50mP	40	48	12	Franco
11	PD50mS	65	13	22	Franco arcillo arenoso
12	PD50mP	60	13	27	Franco arcillo arenoso
13	BI50mS	46	34	20	Franco
14	BI50mP	55	23	22	Franco arcillo arenoso
15	BD50mS	50	28	22	Franco arcillo arenoso
16	BD50mP	37	23	40	Franco arcilloso

Anexo 5. Análisis de varianza test de Duncan.

ANÁLISIS DE VARIANZA							
		Cobertura		Profundidad		Textura	
Densidad aparente		0,731		0,0826		0,4009	
Densidad de raíces		0,0034		0,1655		0,9184	
Velocidad infiltración a 1min		0,2355		0,1125		0,8596	
Velocidad instantánea de infiltración		0,2251		0,3667		0,9811	
Densidad de raíces		Densidad aparente		Velocidad de infiltración		Velocidad instantánea	
Cobertura	Medias (cm/cm ³)	Cobertura	Medias (cm/cm ³)	Cobertura	Medias (cm/cm ³)	Cobertura	Medias (cm/cm ³)
Bosque	0,47b	Pasto	0,61b	Pasto	0,03b	Pasto	0,02b
Pasto	0,89a	Bosque	0,65a	Bosque	0,06a	Bosque	0,1a
Error: 0,0464 gl: 9		Error: 0,0805 gl: 10		Error: 0,0025 gl: 10		Error: 0,0168 gl: 10	

Anexo 6. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario (Libro VI anexo 1, Tabla 9. TULSMA 2015).

PARÁMETRO	EXPRESADA COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Parásitos Nemátodos Intestinales			Ausencia
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	200
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	2000
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/l	2
Grasas y Aceites	Película visible		Ausencia
Material Flotante	Visible		Ausencia
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	No menor al 80 % de concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
pH	pH		6,5 - 8,5
Relación Nitrógeno Fósforo Total			15:01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

Anexo 7. Valores de precipitación facilitados por la estación meteorológica Veracruz.

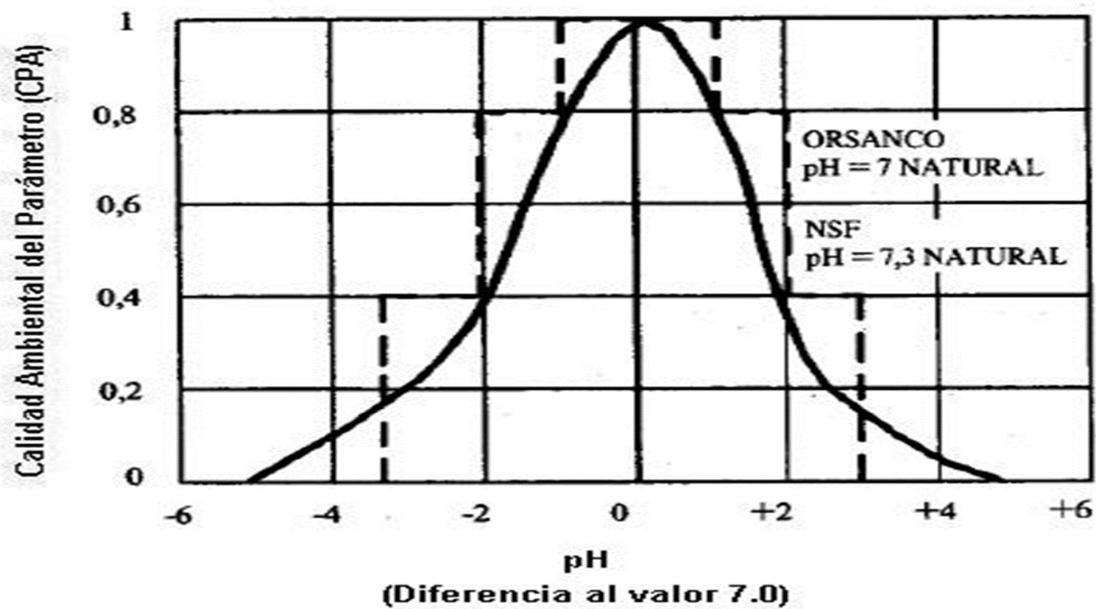
ESTACIÓN METEREOLÓGICA VERACRUZ
Valores de precipitación

Viernes 21/06/19	Precipitación	Sábado 22/06/19	Precipitación
7:00	0	7:00	0
8:00	0	8:00	1,5
9:00	0	9:00	0
10:00	0	10:00	0
11:00	0	11:00	4
12:00	0	12:00	7
13:00	0	13:00	0
14:00	0	14:00	0
15:00	0	15:00	1
16:00	0	16:00	0
17:00	0	17:00	0
18:00	1	18:00	1
19:00	1	19:00	0
20:00	1	20:00	0
21:00	1	21:00	0
22:00	1	22:00	0
23:00	1	23:00	0
0:00	2	0:00	0
1:00	0	1:00	0
2:00	0	2:00	0
3:00	0	3:00	1
4:00	0	4:00	2
5:00	4	5:00	0
6:00	4	6:00	0
7:00	0	7:00	0

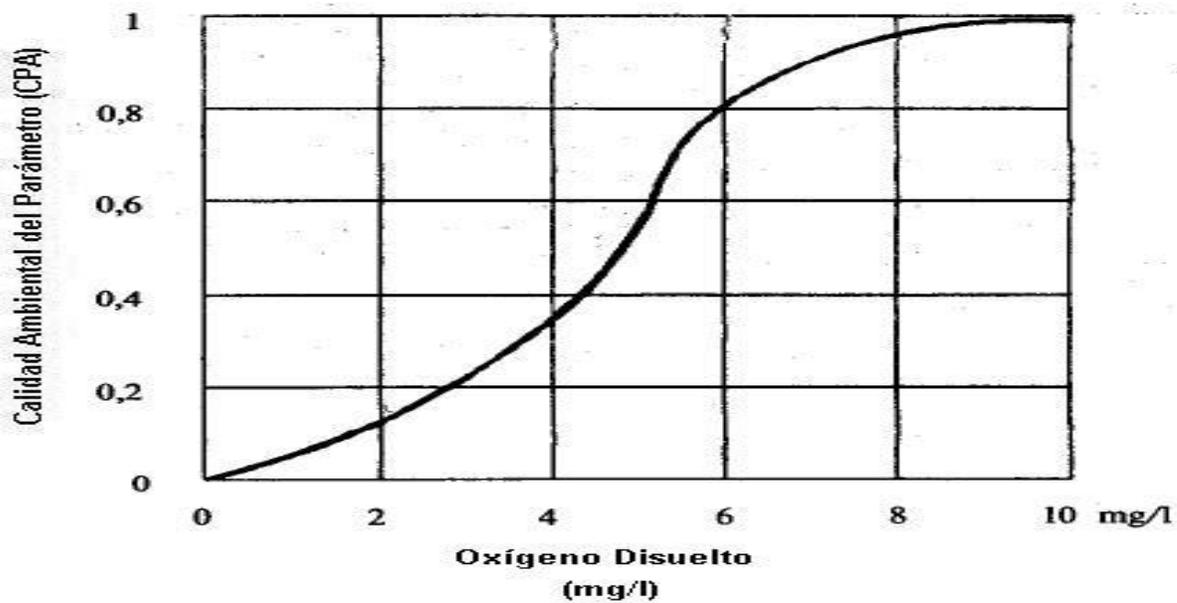
Anexo 8. Valores de precipitación facilitados por la estación meteorológica Veracruz.



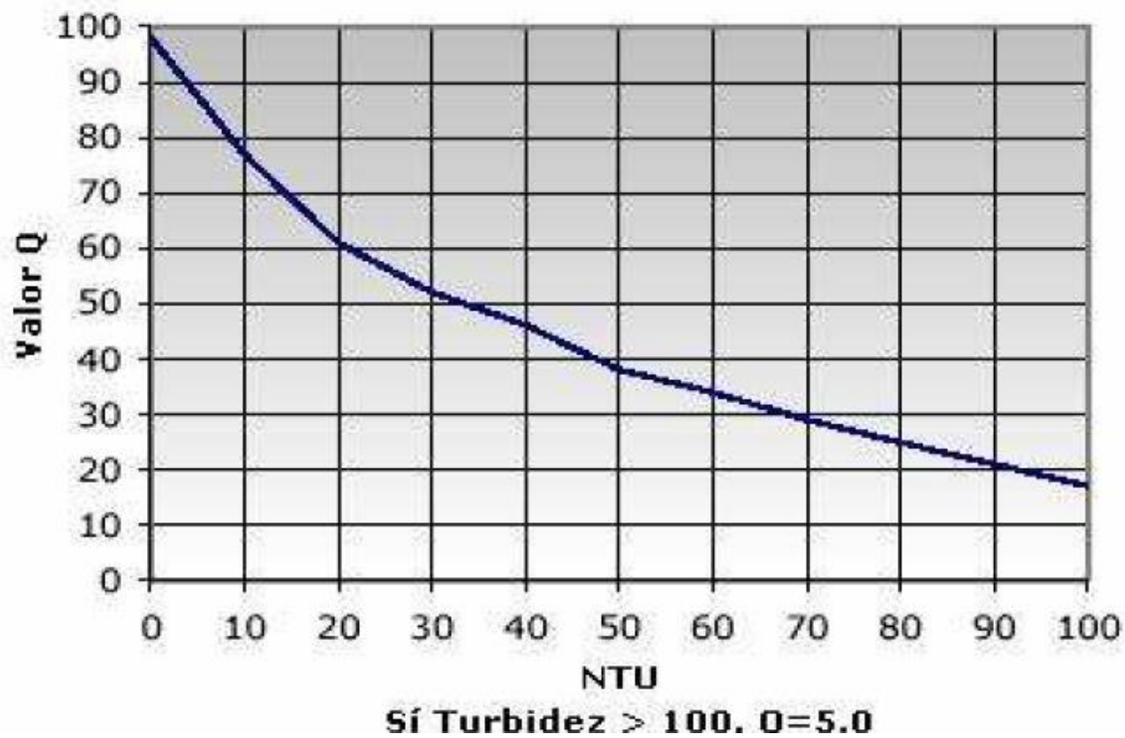
Anexo 9. Potencial de Hidrógeno



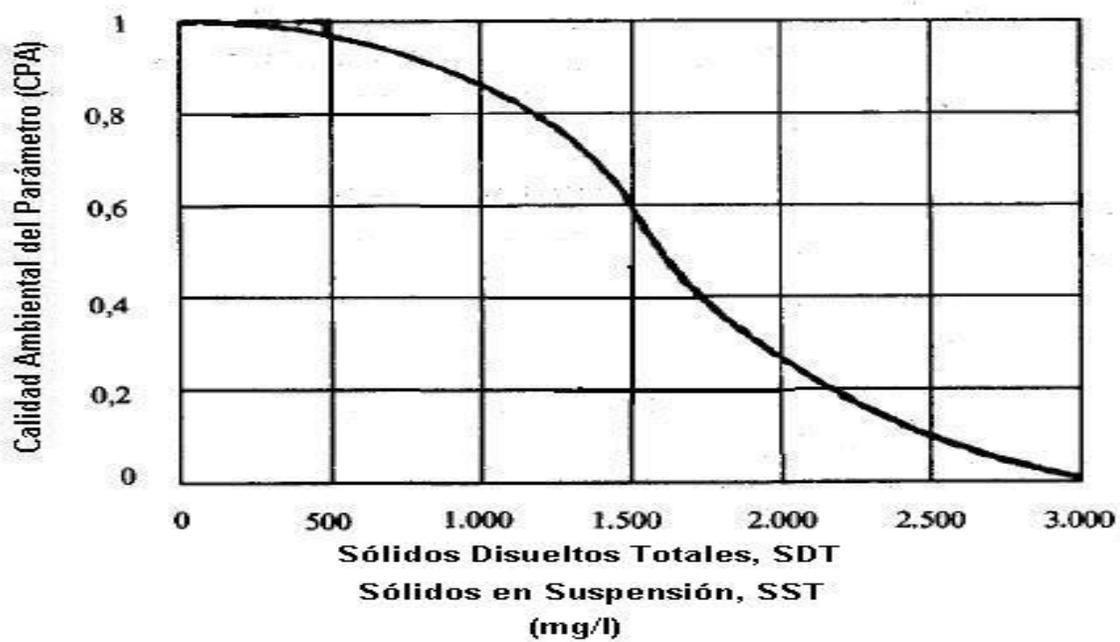
Anexo 10. Saturación de Oxígeno



Anexo 11. Turbidez



Anexo 12. Solidos Disueltos Totales (SDT)





Anexo 13. Medición de la altura del río Plata.



Anexo 14. Medición de la altura del río Plata en intervalos de 3 días.



Anexo 15. Medición del ancho de río Plata.



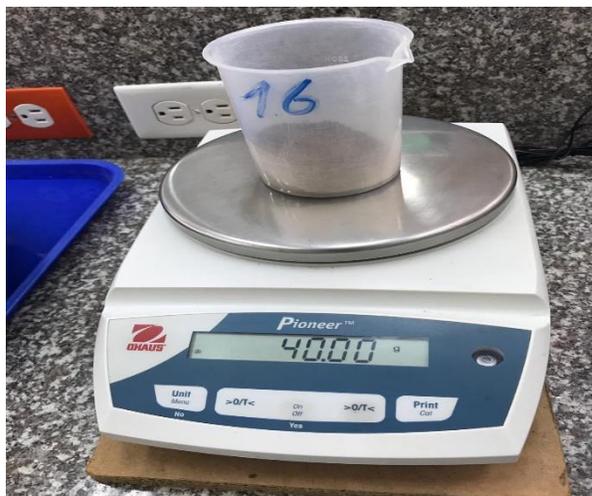
Anexo 16. Medición de batimetría en intervalos de 1 m.



Anexo 17. Aros de metal y plástico para la toma de muestras de suelo.



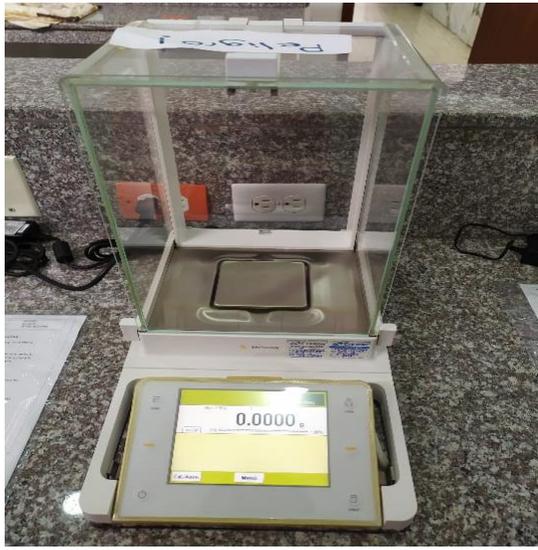
Anexo 18. Muestras de suelo respectivamente tamizadas



Anexo 19. Peso óptimo de muestra para el análisis.



Anexo 20. Homogenización de cada una de las muestras.



Anexo 21. Balanza analítica, utilizada para pesar crisoles.



Anexo 22. Crisoles de 100 ml colocados en el desecador para su enfriamiento total.



Anexo 23. Muestras de suelo aforadas a 1000 ml.



Anexo 24. Muestras de suelo listos para medir su temperatura y cantidad de arena.



Anexo 25. Filtración de 100 ml de muestra para el análisis de sólidos disueltos totales.



Anexo 26. Procedimiento para la determinación de sólidos sedimentable.



Anexo 27. Reactivo para la homogenización de las muestras de suelo.