



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO
EN SUELOS DE INTERVENCIÓN PARA REFORESTACIÓN DE LA
SUB CUENCA DEL RIO CUMBAZA, PROVINCIAS DE LAMAS Y SAN
MARTÍN, 2017”**

PRESENTADO POR:

BACH. ALEXANDRA FIORELLA SAAVEDRA GATICA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

Tarapoto – Perú

2017

DEDICATORIA

Esta Tesis se la dedico a mi Dios quién me guio por el buen camino, darme fuerzas para seguir a delante y no desmayar ante los problemas que se presentaban, enseñándome a sobrepasar los problemas con coraje, sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia porque por ellos soy lo que soy, a mi padre Richard Saavedra Saavedra y a mi madre Maruja Gatica Arévalo, por sus apoyos, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, se merecen todo esto.

ALEXANDRA FIORELLA SAAVEDRA GATICA

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mis tutores, quienes son un ejemplo de una combinación de saberes y disposiciones, de un modo singular de transmisión y extraordinario conocimiento. Gracias por el rigor, la inspiración y el ejemplo intelectual, la guía espiritual y la comprensión en todas las esferas de la vida es un conjunto de encuentros.

Agradezco al Ing. Rolando Cárdenas Soto, sin cuya colaboración este trabajo hubiera sido mucho más largo, complicado y menos rico intelectualmente, gracias por su colaboración intelectual, criterio y capacidad.

Gracias a las personas que, de una manera u otra, han sido claves en mi vida profesional y personal.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCION.....	x
CAPITULO I:PROBLEMA.....	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	13
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	14
CAPITULO II:MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. ANTECEDENTES.....	18
2.2. BASES TEÓRICAS.....	22
2.3. HIPÓTESIS.....	25
2.4. VARIABLES DE ESTUDIO.....	25
2.4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.....	26
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.....	27
3.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PIP CÓDIGO SNIP N° 309284.....	28
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	30

3.4.1. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE SCS O CN.....	30
3.4.2. VALORES DEL NÚMERO DE CURVA.....	32
3.4.3. CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE ANILLOS MUNTZ	33
3.4.4. PROCEDIMIENTO	37
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO.....	44
3.6.1 POBLACIÓN.....	44
3.6.2 MUESTRA	44
3.6.3 MUESTREO	45
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.7.1. TÉCNICAS	45
3.7.2. INSTRUMENTOS	45
3.7.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	46
CAPITULO IV:RESULTADOS	48
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	48
4.1.1 USO ACTUAL DEL SUELO DE INTERVENCIÓN PARA REFORESTACIÓN DEL PIP (OBJT 1).....	48
4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ESCORRENTÍA POR INFILTRACIÓN A TRAVÉS DEL NÚMERO DE CURVA (NC) (OBJET2).....	49
4.1.3 CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO POR EL MÉTODO DE ANILLOS MUNTZ. (OBJT 3).....	52
4.2 Discusión.....	53
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	56
ARTÍCULO CIENTÍFICO	60
ANEXOS.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01: Provincia y distritos que conforman la sub cuenca del río Cumbaza	27
Tabla N° 02: Límites de la sub cuenca del río Cumbaza	28
Tabla N° 03: Puntos extremos de la sub cuenca del río Cumbaza	28
Tabla N° 04: Clasificación de Número de las curvas de escurrimiento (SCS, 1991)	33
Tabla N° 05: Ejemplo de cálculos básicos para determinar la tasa de infiltración.....	40
Tabla N° 06: Distribución de puntos de muestro (10) según uso actual del suelo en las áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza	41
Tabla N° 07: Distribución de la ubicación de los 30 ensayos de infiltración en las áreas de intervención para reforestación Cumbaza	42
Tabla N° 08: Uso Actual del Suelo de 3,148.04 ha (Ver Anexo 01)	49
Tabla N° 09: Determinación de Número de Curva	50
Tabla N° 10: Cálculo de Infiltración (S en m ³) en áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza en la actualidad	51
Tabla N° 11: Tasa de Infiltración por Uso Actual de Suelo en áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01: Evolución de la tasa de infiltración.....	34
Figura N° 02: Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos. 2a) el flujo entra hacia el anillo interior 2b) El flujo abandona el anillo interior.....	35
Figura N° 03: Doble anillo de Muntz	36
Figura N° 04: Ubicación de los puntos de ensayos	39
Figura N° 05: Ubicación de los 10 puntos de Muestro con código por Uso Actual de Suelo.	43
Figura N° 06: Mapa de ubicación de áreas para recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y control de la erosión del suelo en la sub cuenca del río Cumbaza	48
Figura N° 07: Elección y ubicación de los Anillos Muntz. Frente Productivo Ganadero y Cafetalero (UTM 330276.83, 9298415.63)	71
Figura N° 08: Llenado de agua y toma de medidas (UTM 330276.83, 9298415.63).....	71
Figura N° 09: Llenado de agua y toma de medidas. Zonas Degradadas (UTM 338895.39, 9288263.02).....	72
Figura N° 10: Realización de medidas a intervalos regulares. Zonas Degradadas (UTM 338895.39, 9288263.02).....	72
Figura N° 11: Llenado de agua y toma de medidas. Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada (UTM 355443.78, 9271533.21).....	73
Figura N° 12: Elección y ubicación de los Anillos Muntz. Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada (UTM 355443.78, 9271533.21).....	73

RESUMEN

La infiltración es un parámetro básico en suelos que determina los tiempos de aplicación de las láminas de riego. A partir del mismo se calcula la velocidad de penetración del agua en concordancia con la humedad presente en el suelo y con las características físicas del mismo, permitiendo además ubicar texturalmente a los suelos. Es una herramienta valiosa que ayudará a cuantificar y monitorear la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica. El objetivo de esta investigación fue determinar la infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín. Se desarrolló una investigación básica con diseño correlacional. Los usos actuales del suelo fueron identificados según la Zonificación Ecológica y Económica de la sub cuenca del río Cumbaza, en estas zonas se seleccionó 30 puntos de muestro al azar usando las herramientas de software ArcGIS, en los que se midieron la infiltración empleando infiltrómetros de doble anillo. Las tasas medias de infiltración según el tipo de uso actual del suelo, son los suelos con cultivos estacionales en BST, producción de uva y cacao y bosque primarios alcanzan valores más altos con 11; 11,4 y 13,8 cm/h respectivamente. Los suelos con bosques presentaron una rápida infiltración, debido a que las plantaciones instaladas han mejorado la estructura del suelo facilitando el movimiento del agua dentro de él. La infiltración actual en las áreas de intervención (3148,04 ha) por reforestación es de 3'602511,055 m³ por precipitación. Para los siguientes años de ejecución del PIP aumentarían por la reforestación y buenas prácticas de uso del suelo, ya que las propiedades del suelo como la densidad aparente y la humedad gravimétrica son variables que influyen directa e inversamente sobre la tasa de infiltración.

Palabras clave: Infiltración, servicio ecosistémico, infiltró metro, reforestación.

ABSTRACT

The infiltration is a basic parameter in soils that determine the times of application of the irrigation sheets. From the same it is calculated the speed of the penetration of the water in agreement with the humidity present in the soil and with the physical characteristics of the same, allowing also the text to the floors. It is a valuable tool that helps to quantify and monitor the recovery of the ecosystem service of water regulation. The objective of this research was the infiltration of water resources in intervention soils for reforestation in the subbasin of the Cumbaza river, in the provinces of Lamas and San Martín. A basic research was developed with correlational design. Current land uses were identified according to the Ecological and Economic equation of the Cumbaza river basin. In these zones 30 dead points were selected using the tools of the ArcGIS software, in which the infiltration used by double ring infiltrators. The rates are mean of infiltration according to the type of real use of the soil, are the soils with seasonal crops in BST, grape production and primary cacao and forest reach higher values with 11; 11,4 and 13,8 cm / h respectively. The soils with the forests present a rapid infiltration, by which the installed plants have improved the structure of the ground facilitating the movement of the water inside him. The current infiltration in the intervention areas (3148,04 ha) by reforestation is 3'602511,055 m³ by precipitation. For the next years PIP implementation increased by reforestation and good land use practices, since soil properties such as bulk density and gravitational humidity are variables that directly and inversely influence the rate of infiltration

Key words: Infiltration, ecosystem service, infiltrometer, reforestation.

INTRODUCCIÓN

El proceso de infiltración es un componente importante del ciclo hidrológico, que se define como la entrada de agua hacia abajo, en la totalidad o parte del suelo, interviniendo para ello factores como: textura, presencia de costras, compactación, estructura, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, tipo de cobertura vegetal, densidad aparente, presencia de grietas y porosidad y cuyo uso de tierras por las actividades antrópicas modifica positiva o negativamente estos factores haciendo que la infiltración varíe y produzca impactos sobre la hidrología de una cuenca. Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos puede ser un buen indicador de la calidad y salud del suelo, ya que al transportar agua dentro del suelo constituye como medio principal para conservar actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo que recarga los acuíferos. Algunos resultados para el caso de tierras agrícolas revelaron que la mayor estabilidad de la estructura del suelo se relaciona con prácticas de labranza de conservación debido a que generan mayor número de macroporos y alta resistencia superficial al sellado.

En el ámbito internacional se han desarrollado investigaciones con el objeto de relacionar las diferentes propiedades del suelo con las prácticas de manejo realizadas, las que han servido para mejorar las técnicas de riego, minimizar la compactación del suelo, aplicar enmiendas orgánicas y realizar obras de conservación de agua como zanjas de infiltración, surcos en contornos y otras técnicas, que conservan la humedad del suelo al mismo tiempo que aportan agua a las fuentes subterráneas.

En el ámbito nacional y local son muy pocas las evaluaciones de las tasas de infiltración de agua a pesar de que la generación de esta información es muy valiosa para plantear y recomendar usos con fines de recarga hídrica, tecnificación de riego, incorporación de enmiendas del suelo y tipo de cubierta, posiblemente debido a que la medición directa de la infiltración es una tarea muy compleja, por ser laboriosa, lenta y costosa, dado su alta variabilidad espacial y temporal, y a la técnica de medición elegida para registro de información.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas regiones del mundo, los usos abusivos y erróneos y la contaminación amenazan cada vez más la disponibilidad y la calidad del agua; y se considera con frecuencia que los bosques influyen fuertemente en ambas. Además, el cambio climático altera la función reguladora de los flujos de agua ejercida por los bosques y condiciona la disponibilidad de los recursos hídricos (Bergkamp, Orlando y Burton, 2003). La relación entre los bosques y el agua es, por consiguiente, un asunto crítico que debe ser objeto de atención prioritaria.

Tanto en las zonas de aguas arriba como en las de aguas abajo, las cuencas hidrográficas forestales proporcionan una gran parte del agua que se destina a usos domésticos, agrícolas, industriales y ecológicos. Los encargados de la ordenación de tierras, bosques y aguas deben hacer frente al importante desafío de incrementar al máximo la amplia gama de servicios plurisectoriales brindados por los bosques sin menoscabar las funciones de los recursos hídricos y del ecosistema. Es pues urgente llegar a una comprensión más cabal de las interacciones entre los bosques y árboles y el agua a fin de estimular la toma de conciencia y la creación de capacidad en materia de hidrología forestal, y traducir los conocimientos y los resultados de las investigaciones en las políticas. De forma análoga, es menester desarrollar mecanismos institucionales para el refuerzo de acciones concertadas en el ámbito de los bosques y el agua, e implementar y poner en vigor los programas de acción nacionales y regionales.

La pérdida de árboles, que retienen el suelo con sus raíces, provoca que la erosión se continúe extendiendo en los trópicos. Muy pocas áreas tienen suelos de buena calidad, pero éstos son lavados rápidamente por las fuertes lluvias después de la tala. De este modo, los campos de cultivo se vienen abajo y la gente debe invertir en la importación de fertilizantes o decide talar una extensión adicional de bosque. El Perú pierde anualmente

120782 hectáreas de bosques a causa de la deforestación, advirtió el Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri). Entre el 2001 y 2014, San Martín, Loreto, Ucayali y Huánuco fueron los departamentos que acumularon más pérdidas de bosques con 359945 ha, 316175 ha, 269191 ha y 242018 ha respectivamente.

Después de que las fuertes lluvias tropicales caen sobre los bosques talados, el agua arrastra los suelos hacia los ríos y arroyuelos locales. Los ríos arrastran al suelo erosionado junto con la corriente, lo que causa problemas significativos. Los proyectos hidroeléctricos y la infraestructura para irrigación han perdido productividad debido a la sedimentación, mientras que las instalaciones industriales han tenido que suspender operaciones debido a la falta de agua. La sedimentación también eleva los lechos de los ríos, lo que incrementa la severidad de las inundaciones y crea bancos y barras de arena que dificultan la navegación en el río. El incremento en la carga de sedimento de los ríos ahoga a los huevos de los peces, lo que provoca una disminución en las tasas de eclosión. Cuando las partículas suspendidas llegan al océano, enturbian el agua, lo que provoca la disminución local de los arrecifes coralinos y afecta a la pesquería de la costa.

Además de dañar la pesquería industrial, la erosión inducida por la deforestación, destruye la infraestructura de los caminos y carreteras que cruzan a través del bosque. El gobierno en lugar de cerrar los caminos, los reconstruye repetidamente, utilizando dinero que podría ser ocupado más productivamente en otro lado.

Es por ello que el Gobierno Regional de San Martín a través del Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (PEHCBM) viene elaborando el expediente técnico del Proyecto de Inversión Público denominado “Recuperación de los Servicios Ecosistémico de Regulación Hídrica y Control de Erosión de Suelos en la Sub Cuenca del Rio Cumbaza, Provincias de San Martín y Lamas, Región San Martín”. La cual proyecta reforestar con especies forestales nativas 3148,04 ha, para solucionar el problema de

erosión del suelo ya que, en temporadas de lluvia, por la deforestación, se afecta a los servicios ecosistémico que provee la sub cuenca del río Cumbaza.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención por reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el uso actual del suelo en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín?
- ¿Es posible determinar la pérdida de escorrentía por infiltración en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín?
- ¿Cuál es la tasa de infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el uso actual del suelo en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín.
- Determinar la pérdida de escorrentía por infiltración en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín.
- Determinar la tasa de infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El proceso de infiltración, sujeto de este estudio, se refiere a la entrada vertical del agua en el perfil del suelo (USDA 2008). La infiltración es una variable clave de las características físicas del suelo, que influye en la recarga de acuíferos, la pérdida potencial de la capa superficial del suelo por la erosión, y marca la diferencia entre escorrentía de flujo lento y escorrentía de flujo rápido (Bonell 1998). Además, la infiltración es un buen indicador de la calidad del suelo.

El entendimiento de las relaciones entre la cobertura forestal y las propiedades físicas del suelo, como la infiltración, es fundamental para comprender las interacciones que dan pie a la utilización, provisión y calidad del agua en los trópicos (Hamilton et al. 1983; Calder 2002; Bruijnzeel 2004).

Tanto el uso (p. ej. forestal, pastizal, cultivo, urbano) como el manejo del suelo (p. ej. convencional u orgánico) afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, lo cual tiene diferentes impactos sobre su capacidad de infiltración y sobre su capacidad de almacenamiento de agua (Wood y Blackburn 1981; Fu et al. 2000; Shukla et al. 2003; Desoky 2011). Algunas actividades y prácticas humanas como la

urbanización, el cambio de la cobertura vegetal, la labranza continua y el pastoreo traen como consecuencia la compactación y la reducción de la estabilidad estructural del suelo, lo que a su vez trae efectos adversos sobre su densidad aparente, porosidad, y la escorrentía. Esto reduce las tasas de infiltración e incrementa también las probabilidades de erosión.

Una reducción substancial de la infiltración puede conducir a una escasez de agua incluso en zonas en donde las lluvias son generalmente abundantes, ya que el agua deja rápidamente el área a través de una rápida escorrentía superficial sin permitir una adecuada recarga de los acuíferos (FAO 1999; Bruijnzeel 2004), lo que incrementa a su vez el riesgo de inundaciones en las partes bajas (Salazar 2009). El conocimiento de estas relaciones es fundamental si se quiere minimizar el impacto de la erosión hídrica del suelo y garantizar altas tasas de infiltración (Desoky 2011).

Algunas prácticas del manejo forestal sostenible, como la reforestación, pueden ayudar a incrementar considerablemente las tasas de infiltración, la recarga hídrica, y la capacidad de retención de agua en los ecosistemas (Tejwani 1993; Mapa 1995; FAO 2003). En los trópicos la reforestación se hace con el objetivo de obtener un amplio rango de beneficios, entre los cuales se encuentran la restauración del balance hidrológico y el suministro de agua en calidad y cantidad (Mapa 1995; Ilstedt et al. 2007).

Según la información levantada en la Zonificación Ecológica Económica - ZEE elaborada en el 2007 por el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo - PEHCBM, se conoció que en el año 1977 la sub cuenca del río Cumbaza estaba conformada por 20,429 ha de bosque primario, mientras que para el año 2005 tan solo quedaban 8,500 ha de bosques es decir solo el 42% cuya reducción se originó por actividades agrícolas y ganaderas. El bosque primario existente se ubica en las cabeceras de la SCRC en las Quebradas Cumbacillo, Cachiyacu, Shilcayo, Ahuashiyacu y Pucayacu; dentro del Área de Conservación Cordillera Escalera – ACR CE y los territorios de las comunidades nativas. Asimismo, el caudal del río Cumbaza en los años 70 era de 10 - 35 m³/seg.,

como promedio anual y hoy en día fluctúa entre 15 - 20 m³/seg como promedio (SENAMHI, 2016).

En la actualidad, la sub cuenca del río Cumbaza, se encuentra en un proceso fuerte de degradación por parte de las poblaciones asentadas en las cabeceras de todas las microcuencas, ocasionando deforestación, disminución del agua y contaminación.

Los Pobladores del área de influencia y afectados son los distritos de las provincias de San Martín y Lamas, especialmente los caseríos, las localidades y anexos asentados en la parte baja de la sub cuenca del río Cumbaza, así mismo las poblaciones de la zona media y alta, quienes cuentan con el recurso natural como son los bosques y el recurso hídrico, no están siendo usados adecuadamente y por ende no generan recursos para el bienestar y mejora de la calidad de vida de esta zona.

La masiva deforestación en terrenos forestales y de protección (especialmente laderas, riberas y nacientes de agua), con fines “agrícolas” y para el cultivo de la coca, ha generado graves problemas a las poblaciones de los 10 distritos ubicados en la sub cuenca, entre ellos podemos mencionar la pérdida y/o reducción de las fuentes de agua, cambios en el clima, degradación y desertificación de grandes áreas, erosión de los suelos, pérdida de flora y fauna, entre otros; tampoco ha permitido salir de la situación de pobreza y extrema pobreza en que se encuentran estas poblaciones rurales ubicándose las zonas más pobres de la sub cuenca en áreas rurales de los distritos de Rumizapa y comunidades nativas en el distrito de San Roque de Cumbaza en la provincia de Lamas; y en las zonas rurales y urbano marginales de los distritos de Tarapoto, Morales, La Banda de Shilcayo, San Antonio de Cumbaza, Cacatachi, Juan Guerra y Shapaja en la provincia de San Martín. A pesar de lo anterior, muy pocos estudios se dirigen a evaluar los efectos de la reforestación sobre la capacidad de infiltración y sobre las propiedades del suelo, lo cual dificulta la modelación y el análisis de los procesos subyacentes asociados con las diferentes situaciones edáficas,

diferentes especies y los diferentes métodos de establecimiento (Mapa 1995; Ilstedt 2002; Ilstedt et al. 2004; Ilstedt et al. 2007).

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Gonzales, G.J. 2015. “Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis* spp., de 11 y 29 años, Parque Nacional Huascarán, Quebrada Quilcayhuanca, Huaraz, Ancash.”: Para medir la infiltración se empleó el método de cilindros infiltrómetros, el cual permitió determinar la velocidad y lámina de infiltración durante el tiempo de evaluación. Paralelamente se analizó la influencia que tienen las propiedades físico-químicas del suelo, así como la humedad inicial, la cantidad de la hojarasca presente, está según el grado de descomposición. Los resultados obtenidos nos permitieron, interpretar el comportamiento de la infiltración, para ello se trabajó en base al promedio de los resultados de las parcelas de cada área estudiada, esto para un análisis estadístico y comparaciones cuantitativas. La investigación demuestra, que al inicio de las pruebas, los bosques plantados con *Polylepis* spp, tienen una alta tasa de infiltración (BP_29 (278 cm/h); BM_11 (204 cm/h); BSM_11 (160 cm/h) en comparación al área Testigo (117 cm/h). También se concluye, que los suelos de los bosques plantados, presentan una lámina infiltrada superior al de suelos sin cobertura arbórea: BM_11 (15,8 cm); BP_29 (12,6 cm); BSM_11 (12 cm) y el Testigo con (10,5 cm). Esta investigación es un paso inicial, que debe ser complementada con estudios similares, para poder incrementar los conocimientos, sobre la importancia de los bosques plantados en las cabeceras de cuencas altoandinas y su influencia en el régimen hídrico y agua disponible.

Sánchez, R.M. 2014. “Infiltración en los suelos regados del valle Bonaerense del río Colorado, Argentina”: El objetivo de esta investigación fue determinar los coeficientes de las ecuaciones de infiltración en los suelos dominantes, así como la infiltración básica como herramienta de diseño. Las ecuaciones de infiltración acumulada, velocidad de infiltración e infiltración básica promedio obtenidas para los dos grupos texturales más dispares, muestran los límites en los que se encuentran el resto de los suelos existentes en el valle. Los valores de I_b (Infiltración básica) promedio de 2.08 cm.h⁻¹ (ZA) y 4.55 cm.h⁻¹ (SA)

corresponden a las categorías relativamente lenta y media respectivamente, mientras que el valor obtenido en suelos muy arenosos de 12.49 cm.h⁻¹ a la rápida, indicando la buena infiltración general de los suelos del área.

Mejía, N. 2014. “Efectos de la reforestación sobre la infiltración de agua en la microrregión hidrográfica Balalaica, Turrialba, Costa Rica”: Se comparó la tasa de infiltración de agua bajo cobertura de reforestación de *Pinus caribaea* y bajo cobertura de charral en siete fincas de la microrregión hidrográfica Balalaica, ubicada en el cantón de Turrialba, Costa Rica. En cada una de las fincas se realizaron tres pruebas bajo cobertura de reforestación y tres bajo charral mediante el método de inundación con el uso del infiltrómetro Turf Tec.

Paralelamente a cada punto de prueba se tomó una muestra de suelo para determinar posteriormente en laboratorio la densidad aparente y la humedad gravimétrica del suelo. También se registró la pendiente del terreno en cada cobertura.

Los datos de infiltración se ajustaron con la ecuación de Kostyakov y se analizaron bajo un diseño en bloques aleatorios con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados muestran que la tasa de infiltración bajo cobertura de reforestación es significativamente mayor que bajo cobertura de charral, con una media de 20,79 cm/h y 14,85 cm/h respectivamente ($p=0,0262$). Las covariables de densidad aparente, humedad gravimétrica y pendiente mostraron una correlación negativa con respecto a la tasa de infiltración; sin embargo, la humedad gravimétrica fue la única que presentó una influencia significativa ($p=0,0068$).

Gómez, G.C. 2014. “Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas”: El objetivo fue evaluar y determinar el uso del suelo con mayor tasa de infiltración en la subcuenca del río Shullcas en Huancayo. Se desarrolló una investigación básica con diseño correlacional. Los usos actuales de la tierra fueron identificados y demarcados, según la normativa peruana de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor; en estas zonas se seleccionó 31 puntos de muestreo al azar usando las herramientas de software ArcGIS, en los que se

midieron la infiltración empleando infiltrómetros de doble anillo, se registraron los tipos de cobertura vegetal y se tomaron muestras de suelo para analizar sus contenidos de arcilla, arena, limo y humedad; asimismo densidad aparente y porosidad en laboratorio . Resultados: Las tasas de infiltración promedio, según el tipo de uso de tierras, fueron: 14,04 cm /h para las tierras forestales; 12,42 cm /h para las tierras agrícolas y 2,07 cm /h para las tierras de pastoreo; además, solo el 12,63 % de la subcuenca del río Shullcas tiene infiltración mayor a 0,2 cm/h. Conclusiones: No existe diferencia estadística significativa entre la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas, pero sí existe diferencias de la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas respecto a la tasa de infiltración de tierras de pastoreo.

Martínez, J.F. 2010 “Evaluación de los Efectos de la Reforestación en la Reducción de la Erosión Hídrica Mediante la Aplicación Del Modelo Rmmf” Montes de Málaga, España: Las reforestaciones llevadas a cabo desde 1930 en la margen derecha del río Guadalmedina (Málaga) se llevaron a cabo para paliar los efectos de la erosión hídrica sobre una zona de montaña degradada por la actividad agrícola sobre relieves metamórficos. En la cuenca del arroyo de Melgarejos (148,3 ha; pendientes > 25%; altitud: 655-1.010 m s.n.m.) aflora el zócalo paleozoico metamórfico (filitas) del Sistema Interno de las Béticas. El clima es mediterráneo subhúmedo (precipitación: 692 mm; temperatura: 13,3° C).

El modelo RMMF (Morgan, 2001; López-Vicente y Navas, 2010) se aplicó a dos escenarios diferentes para obtener el volumen de escorrentía anual acumulada, así como la pérdida de suelo. El primer escenario corresponde a la etapa intermedia de reforestación (cartografía de la Junta de Andalucía, fotografía aérea de 1956) en la que coexistían nuevas zonas de pinar con antiguos campos agrícolas y pastos, en uso y en abandono. Los datos requeridos por el modelo (intercepción, cubierta y altura de la vegetación, cubierta, evapotranspiración, profundidad y cohesión del suelo, densidad aparente y contenido de agua a capacidad de campo) corresponden a los medidos por Martínez-Murillo y Senciales-González (2003).

El escenario previo a la reforestación se caracteriza por una elevada actividad erosiva, con elevadas tasas de pérdida de suelo en campos de almendros y olivos, e incluso en pastos (Tabla 1) (Fig. 1.c). En 1956, los usos del suelo y una reforestación no muy avanzada favorecían en algunas zonas la erosión laminar y la rápida concentración de la escorrentía en regueros y cárcavas, según se observa en la fotografía aérea. A partir de esta estimación en zonas agrícolas, la tasa de pérdida de suelo pudo ser superior a las 10 t ha⁻¹ y⁻¹ a escala de cuenca, antes del inicio de la reforestación (finales de los años 20), cuando la cuenca estaba completamente deforestada según fotografías de archivo.

Salazar, O. 2008. “Estudio de infiltración en el campo experimental de zonas áridas y semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas”: El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental de Zonas Áridas y Semiáridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El objetivo del estudio fue determinar la tasa de infiltración y algunos factores de vegetación e hidrológicas que la influyen. Se utilizaron simultáneamente dos simuladores de lluvia de diferente boquilla, para generar moderada y alta intensidad sobre parcelas de 0.1444 m², durante un tiempo de 40 min, colocándose de manera alterna en sitios con y sin cobertura vegetal. La intensidad de la lluvia (cm h⁻¹) se midió con dos pluviómetros y con lecturas cada 5 min. La tasa de escurrimiento (cm h⁻¹) se estimó con la relación del volumen recolectado (l) y el área de la parcela en cada periodo de tiempo. La tasa de infiltración (cm h⁻¹) se determinó por la diferencia de la intensidad de lluvia y la tasa de escurrimiento. Al final de las pruebas de simulación de lluvia se midió la cobertura interna y al exterior de la parcela, en dos transectos de línea de 20 cm y 10 m, respectivamente. Las variables hidrológicas consideradas del flujo superficial del agua fueron: agua en detención, tiempo de inicio del goteo y escurrimiento, tiempo de final de escurrimiento y goteo y volumen del agua de tránsito. Los datos de infiltración se analizaron estadísticamente en un diseño completamente al azar con arreglo de factores en dos niveles, intensidad aplicada y cobertura del suelo, para la separación de medias se utilizó la prueba Tukey con un 0.05 de significancia. Se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple para relacionar las variables de cobertura del suelo y se aplicó una correlación con las variables hidrológicas y las tasas

de infiltración de cada periodo de tiempo. Los resultados obtenidos indican que mientras exista mayor cantidad de agua en la superficie del suelo, la entrada de agua al suelo mantendrá valores altos. La tasa de infiltración mostró diferencias significativas con la aplicación de intensidad alta y moderada, pero no tuvo diferencias en los sitios bajo cobertura y de suelo desnudo. Con relación a la vegetación se observó que no presentan diferencias estadísticas significativas, es decir que el área de estudio presenta condiciones semejantes en relación a la cantidad de agua que penetra en los suelos. Las variables hidrológicas al realizar el análisis de correlación en diferente periodo de tiempo se encontraron que solo a 35 min. Se relaciona el final de escurrimiento y goteo a la tasa de infiltración. La no significancia estadística bajo cobertura y suelo desnudo y la falta de relación con variables de la cobertura vegetal de la infiltración en los sitios de estudio, implica la presencia de cierto grado de degradación y por ello, la necesidad de proteger y restaurar los suelos de esta región con prácticas de conservación de suelo y agua para incrementar las tasas de infiltración.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CAPTURA DEL AGUA Y EL POTENCIAL DE INFILTRACIÓN

La captura de agua o desempeño hidráulico es el servicio ambiental que producen las áreas arboladas al impedir el rápido escurrimiento del agua de lluvia precipitada, propiciando la infiltración de agua que alimenta los mantos acuíferos y la prolongación del ciclo del agua (Torres y Guevara 2002).

El potencial de infiltración de agua de un área arbolada depende de un gran número de factores como: la cantidad y distribución de la precipitación, el tipo de suelo, las características del mantillo, el tipo de vegetación y geomorfología del área, entre otros. Esto indica que la estimación de captura de agua debe realizarse para áreas específicas y con información muy fina sobre la mayor parte de las variables arriba señaladas (Torres y Guevara 2002).

Proceso por el cual el agua superficial se introduce en las capas internas del suelo, el proceso de infiltración es debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, pero en el intervienen fuerzas capilares o químicas. Esta agua infiltrada puede llegar a los acuíferos, ríos, lagos o al mar o bien puede volver a la superficie por capilaridad y evaporarse (Torres y Guevara 2002).

El agua dulce es esencial para toda vida sobre la Tierra y los bosques son esenciales para el agua dulce. Los bosques filtran, limpian el agua y evitan la erosión, amortiguando las lluvias fuertes, disminuyendo escurrimientos superficiales y por lo tanto, induciendo la infiltración que sostiene el aporte para los principales mantos acuíferos que provocan los escurrimientos conocidos como arroyos y ríos en cauces naturales que no arrastran suelos que provoquen los azolvamientos con consecuencias dramáticas por todos conocidas, a su vez, el agua transporta nutrientes disueltos y los distribuye por todo el suelo del bosque. Los bosques actúan como "esponjas", capaces de recoger y almacenar grandes cantidades del agua de lluvia. Los suelos forestales absorben cuatro veces más agua de lluvia que los suelos cubiertos por pastos y 18 veces más que el suelo desnudo (Marcano, 2011).

2.2.2. INTERCEPCIÓN DE LA LLUVIA

Los bosques y selvas tropicales interceptan el agua de la lluvia de manera muy eficiente, canalizándole lentamente por sus hojas, ramas y troncos hacia el suelo. De esta forma, detienen el escurrimiento pluvial y evita la saturación del suelo (Sundborg y Rapp, 1986, citado por Manson, R. 2004). Una vez llegado al suelo de estos ecosistemas, la densa hojarasca y suelos con un alto porcentaje de porosidad y materia orgánica actúan como esponjas para el agua de lluvia, permitiendo su lenta filtración hacia el sub suelo y la recarga de los mantos de acuíferos (Bruijnzeel, 1990). La remoción de bosques, particularmente en las partes altas de la cuenca interrumpe la captación del agua y detiene la descarga de los mantos acuíferos, lo que puede resultar en el aumento de ciclos de inundaciones y sequías (Manson, R., 2004).

El agua que no usan las plantas y que se infiltra en el suelo en las partes altas de los bosques para posteriormente dar lugar a corrientes temporales o permanentes en las partes bajas. En cuencas deforestadas aumenta el flujo del agua significativamente en los ríos (Bruijnzeel, 1990) así como la rapidez a la cual se eleva el nivel de los ríos justo después de una tormenta, la cual contribuye de manera importante al riesgo de inundaciones (Hewlett, 1982).

La cobertura vegetal tiene múltiples funciones dentro del ciclo hidrológico, especialmente la producción de agua dentro de una cuenca hidrográfica, influyendo directamente en la escorrentía superficial, regula el régimen hídrico y permite una mayor infiltración y por tanto impide máximas crecidas y mejora el estiaje en época seca. Su importancia es fundamental, puesto que actualmente se ha venido interviniendo en toda el área de la microcuenca y zonas aledañas a esta, provocando el cambio del uso del suelo, con el consecuente aceleramiento de los procesos erosivos, la disminución de la capacidad de la microcuenca para retener agua durante el período invernal y soltarla durante el tiempo de estiaje. (Manson, R. 2004)

2.2.3. USO Y COBERTURA ACTUAL DEL SUELO

El estudio de Uso y cobertura actual del suelo, define el uso que el hombre le da actualmente al suelo y la cobertura que se presenta, relacionada al aprovechamiento establecido. La cobertura del suelo está representada por la vegetación, cuerpos de aguas, construcciones físicas que ha realizado el hombre y en general todo lo biótico y abiótico que cubre la superficie de la tierra; mientras que el uso, hace referencia a cada una de las actividades que el hombre efectúa para aprovechar los recursos naturales con el propósito de satisfacer las necesidades de alimento, fibras, vivienda y trabajo. (Jorge H. 2002).

Según Heras (1992), la combinación apropiada de árboles y arbustos proporciona la protección adecuada para detener la escorrentía. Los múltiples obstáculos que se oponen a la marcha de las aguas (troncos de los árboles y tallos de los arbustos) reducen su velocidad a la cuarta parte.

El factor vegetación constituye entonces el regulador por excelencia de los procesos de erosión y las inundaciones, por lo que su consideración conjunta con los aspectos geológicos, geomorfológicos y dinámicos, es absolutamente necesaria para la evaluación de la estabilidad del paisaje (Barbeito y Ambrosino, 1999).

Actualmente en la sub cuenca del Cumbaza el 23.32% del área está ocupado por cultivos intensivos con asociación de purmas, el 17% con purmas y cultivos rotativos, el 14.92% con bosque primario, el 14.21% con cultivos estacionales en BST, el 8.17% con cultivos intensivos bajo riego, el 6.53% con producción de uva y cacao, el 5.86% con bosque secundario, el 4.80% con zonas degradadas, el 3.43% con centros poblados, el 0.59% con sistema agroforestal, el 0.57% con cuerpos de agua y el 0.52 con pastos. (Uso Actual de Suelo, ZEE CUMBAZA).

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1 Hipótesis Nula

La infiltración del recurso hídrico es igual en los diferentes usos de suelo de las áreas de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza.

2.3.2 Hipótesis Alterna

La infiltración del recurso hídrico es mayor en usos de suelos con bosques de las áreas de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza.

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

VARIABLE INDEPENDIENTE

- Uso actual de suelos

VARIABLE DEPENDIENTE

- Infiltración del recurso hídrico

2.4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADORES
Uso actual de suelos	El estudio de Uso y cobertura actual del suelo, define el uso que el hombre le da actualmente al suelo y la cobertura que se presenta, relacionada al aprovechamiento establecido. La cobertura del suelo está representada por la vegetación, cuerpos de aguas, construcciones físicas que ha realizado el hombre y en general todo lo biótico y abiótico que cubre la superficie de la tierra; mientras que el uso, hace referencia a cada una de las actividades que el hombre efectúa para aprovechar los recursos naturales con el propósito de satisfacer las necesidades de alimento, fibras, vivienda y trabajo. (Jorge H. 2002).	Cultivos Estacionales en BST, Cultivos Intensivos Bajo Riego, Producción de uva y cacao, Purmas y cultivos intensivos, Zonas Degradadas, etc.
Infiltración	La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia de suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación.	Tasa de infiltración pulgadas/hora o milímetros/hora

Fuente: Elaboración propia, 2017.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

La sub cuenca del río Cumbaza está localizada en la jurisdicción territorial de las provincias de San Martín y Lamas en la Región de San Martín. Está conformada por los siguientes distritos:

Tabla N° 01: Provincia y distritos que conforman la sub cuenca del río Cumbaza.

Provincia	Distrito	Área (ha)	%
Lamas	LAMAS	2710,45	4,75
	SAN ROQUE	9078,60	15,89
	RUMISAPA	3912,23	6,85
	CUÑUMBUQUI	865,38	1,52
San Martín	TARAPOTO	4538,58	7,95
	CACATACHI	4505,73	7,89
	JUAN GUERRA	5188,17	9,08
	MORALES	5239,11	9,17
	SAN ANTONIO DE CUMBAZA	7397,92	12,95
	BANDA DE SHILCAYO	11650,02	20,40
	SHAPAJA	2034	3,56
AREA TOTAL		57120,19	100

Fuente: Análisis de Riesgos de la Sub cuenca del río Cumbaza. PEHCBM, 2010.

Sus límites se muestran a continuación:

Tabla N° 02: Límites de la sub cuenca del río Cumbaza

Puntos	Limitaciones o colindantes
Este	CCNN Chunchiwi y ACR Cordillera Escalera
Oeste	Comunidades de Pucacaca, Maceda y La Perla de Río Mayo distrito de Zapatero)
Norte	Comunidades de Progreso, Santa Rosa y San José (distrito de La Banda de Shilcayo)
Sur	Río Mayo (distrito de Juan Guerra) y Quebrada de Shatuyacu (distrito de Shapaja)

Fuente: Equipo Proyecto ZEE-DMA-PEHCBM

La sub cuenca de río Cumbaza está enmarcada en los siguientes puntos extremos:

Tabla N° 03: Puntos extremos de la sub cuenca del río Cumbaza

Unidades UTM	Puntos Extremos		
	Norte	Sur	Oeste
X	333220	353745	330234
Y	9304945	9269343	9301327

Fuente: Equipo Proyecto ZEE-DMA-PEHCBM

3.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PIP CÓDIGO SNIP N° 309284

El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) aprobó en febrero del 2016 el primer proyecto “verde” en el país, el cual tiene un fuerte componente de responsabilidad

ambiental en distintas dimensiones que las ejecutoras deben no solo proponer, sino también implementarlas con participación de la población local. El Proyecto de Inversión Pública (PIP) denominado Recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y control de erosión de suelo en la subcuenca del río Cumbaza, provincia de San Martín y Lamas, región San Martín, tiene un presupuesto de 46 millones y medio aproximadamente y ha cumplido con todos los requisitos establecidos por el MEF desde agosto de 2015.

El PIP elaborado luego de un largo proceso de discusiones y trabajo multisectorial ha sido presentado por el Gobierno Regional de San Martín a través del Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Majo, unidad formuladora que contó con el apoyo de CEDISA en un primer momento que impulsó la elaboración de perfil de proyecto, posteriormente se continuó con el aporte de la Cooperación Alemana en el Perú, implementada por la GIZ a través del Programa ProAmbiente para el expediente, lo cual ha generado un avance rápido para seguir impulsando la recuperación de la sub cuenca del Cumbaza, zona proveedora de recurso hídrico para la población de Lamas, Tarapoto, Morales, La Banda de Shilcayo y zonas colindantes habitadas por más de 240 mil personas.

Actualmente se encuentra en la fase de expediente técnico y el PEHCBM viene realizando estudios básicos para complementar la información técnica específica del proyecto.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación corresponde al tipo cuantitativo y aplicativo por la naturaleza del tema, es decir, se recolectó datos en campo para analizar el comportamiento de la infiltración en diferentes coberturas de suelos en la cuenca del río Cumbaza, al mismo tiempo se hizo una descripción matemática a través del método del Número de Curva para tener una mejor comprensión del fenómeno.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es DESCRIPTIVA, pues ésta consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno con el fin de establecer su estructura o comportamiento, Arias, F. (1999). Por tanto el presente trabajo de investigación presenta un estudio detallado de la infiltración del recurso hídrico en suelos para reforestación en la sub cuenca.

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE SCS O CN

En este estudio se propone la aplicación de la teoría de la Curva Número en las áreas de intervención de PIP (3,148.04 has) para la obtención de la infiltración y la precipitación efectiva (escurrimiento). El modelo de infiltración, que tiene como finalidad determinar la cantidad de agua que escurre y la cantidad de agua que es absorbida por el suelo. Con el método de la Curva Numero o del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) se obtendrá la infiltración actual y por acciones de reforestación en la vida útil del proyecto.

El método del número de curva (CN) (Ven Te, 1984) fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. La metodología del número de la curva (CN), es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente.

Para el cálculo de la precipitación efectiva, un procedimiento utilizado, es el que se basa en el método propuesto por el Soil Conservation Service – SCS; para la formulación del método del número de curva , la altura de precipitación efectiva o escorrentía directa P_e es siempre menor o

igual a la profundidad de precipitación P; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a alguna retención potencial máxima S. Existe una cierta cantidad de precipitación la (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego de eso, la escorrentía potencial es la diferencia entre P e la.

La metodología del Número de Curva considera como variables en su determinación:

- La precipitación, representada en este caso por la precipitación para un período de tiempo previamente seleccionado.
- El complejo de suelo - hidrológico que considera la interrelación suelo - cobertura vegetal.
- La condición de humedad antecedente; de acuerdo con estas variables se fija un número de curva (CN) que representa tal interrelación

Esta metodología fue originalmente propuesta para la evaluación de la precipitación neta que podría generar una tormenta (Monsalve Sáenz, 1995), considerando el volumen de precipitación antecedente en un periodo de 5 a 30 días, con la finalidad de establecer el escurrimiento directo que puede esperarse como respuesta a una precipitación específica. Según este procedimiento, la escorrentía directa (Q) o precipitación efectiva, se expresa mediante la ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (\text{Ecuación 01})$$

Donde:

Q: Es la escorrentía directa o precipitación efectiva, en pulgadas.

P: Es la precipitación considerada, en pulgadas.

S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, interceptación y almacenamiento superficial.

Los estudios empíricos realizados por el SCS (Montserrat, Joaquín, & Teodoro, 1995) permitieron relacionar la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia, denominado número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100. Así un número de la curva CN = 100, indica que toda la lluvia escurre y un CN = 1, indica que toda la lluvia se infiltra.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Ecuación 02})$$

Donde:

CN: Número de Curva

S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, interceptación y almacenamiento superficial. (mm)

3.4.2. VALORES DEL NÚMERO DE CURVA

Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y de agua CN = 100; para superficies naturales CN.

Factores considerados para determinar el Número de Curva

El número de curva (CN) depende de ciertas propiedades productoras de escorrentía tales como:

- Utilización y tratamiento del suelo
- Tipo de suelo hidrológico
- Condiciones de la superficie del terreno, y
- Condición de humedad antecedente del suelo

Tipo de Cobertura del suelo

El SCS agrupa los usos del suelo con cobertura vegetal en cuatro grandes grupos: Agua, Residencial media, bosque y agricultura; adaptadas a las áreas estudiadas en Estados Unidos, y que en ocasiones presentan dificultades de ajuste a otros ámbitos o a otros territorios.

Tabla N° 04: Clasificación de Número de las curvas de escurrimiento (SCS, 1991)

Clasificación original SCS		Clasificación revisada (reclasificación)	
Número de Curva	Descripción	Número	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja densidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Tierra infértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Patizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Fuente: SCS, 1991.

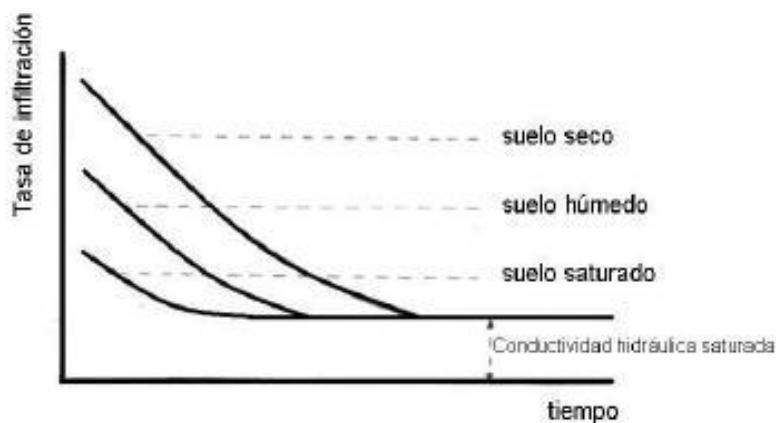
Existen diferentes métodos para determinar la cobertura del suelo entre los más comunes están: reconocimiento en campo, fotografías aéreas y mapas de uso del suelo. Para la presente investigación se utilizará el mapa de Uso Actual del Suelo de la ZEE Cumbaza, y se ubicará las áreas a intervenir por cada uso.

3.4.3. CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE ANILLOS MUNTZ

El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. Aunque es muy posible que al inicio de la experiencia el suelo esté seco o parcialmente húmedo y por lo tanto en condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, mayor cuanto más alta sea ésta.

El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior.

Figura N° 01: Evolución de la tasa de infiltración



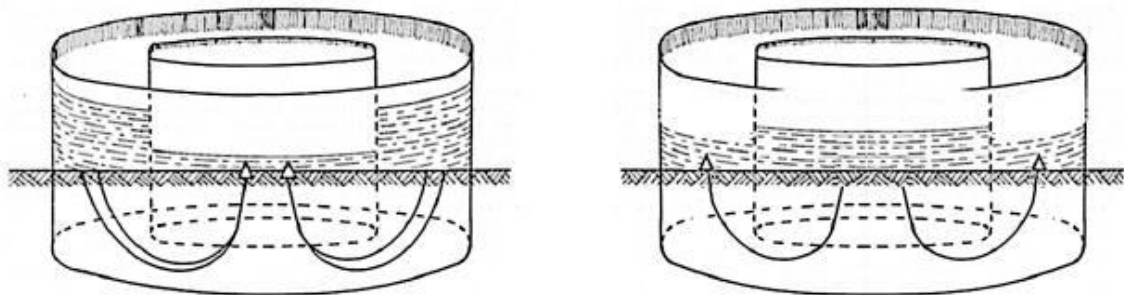
Lógicamente el tiempo de saturación será menor cuanto:

- mayor sea la humedad previa del suelo
- sea el tamaño individual de las partículas de suelo (textura)
- sea la cantidad y estabilidad de los agregados del suelo (estructura)
- sea el espesor del horizonte del suelo por el que circula el agua
- sea la altura de la lámina de agua en el anillo interior

La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado. Se debe tener en cuenta que las tasas de infiltración obtenidas con el método del doble anillo en condiciones de no saturación no son muy fiables y tampoco son indicativas del comportamiento del suelo en condiciones de campo no es habitual, ni aún siquiera cuando se riega a manta, que sobre la superficie del terreno haya una lámina de agua de varios cm de altura y sólo es así en condiciones excepcionales como las inundaciones o las grandes avenidas de agua.

El método original desarrollado por Muntz (Fernandez et.al., 1971) parte de la idea de que colocados los dos anillos y obtenida la situación de saturación, la diferencia de nivel del agua (H) en los anillos interior y exterior provoca un flujo de agua que será de entrada hacia el anillo interior (figura 2a) si la altura es mayor en el tubo exterior, o de salida si es inferior (figura 2b).

Figura N° 02: Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos. 2a) el flujo entra hacia el anillo interior 2b) El flujo abandona el anillo interior



En cualquier caso, además de la componente del flujo de agua QH debida a la diferencia de nivel H entre los dos anillos, el agua abandona ambos cilindros por la superficie del suelo en el que están instalados como consecuencia de su porosidad.

Por tanto, el flujo neto que abandona (o penetra en su caso) el anillo interior es en realidad el resultado de dos componentes: la componente debida a la diferencia de nivel de agua en los

anillos, el "leakage"; y la componente debida a la capacidad de absorción del suelo, la infiltración. El problema radica precisamente en poder aislar para cada condición de H la componente del flujo "leakage" de la componente de infiltración a partir del valor del flujo neto del tubo interior (valor objeto de la medición). Para ello se adopta la hipótesis de que la componente debida a la absorción es constante durante la realización de la experiencia y no resulta afectada por los cambios del nivel del agua en el cilindro interior. El anillo exterior también tiene como función el evitar la infiltración horizontal del agua por debajo del cilindro interior, de tal forma que las medidas se correspondan con seguridad al flujo vertical.

Los anillos utilizados pueden ser de hierro o de acero. En el modelo de mayor aceptación el equipo consta de dos juegos de 2 anillos cada uno de ellos. El diámetro del anillo pequeño es 30 cm. y el diámetro correspondiente al anillo externo es 60 cm.

Figura N° 03: Doble anillo de Muntz



Con este material se realizó simultáneamente tres ensayos en localizaciones próximas menores a 10 metros con características edáficas similares; de esta forma se conseguirá eliminar en mayor medida la influencia de la variabilidad espacial de los suelos que si únicamente realizas una prueba.

3.4.4. PROCEDIMIENTO

Deberán tomarse en consideración los siguientes aspectos:

- Elección de la ubicación de los anillos
- Colocación, llenado de agua y toma de medidas
- Mediciones y cálculos

Elección de la ubicación de los anillos

La bondad de los datos y la fiabilidad de los resultados obtenidos dependen en gran medida de la idoneidad del lugar elegido para su realización y de la conveniencia de la metodología usada. Los aspectos más relevantes a considerar en relación a la ubicación de los anillos son los siguientes:

- 1.- Encontrar una localización representativa del suelo a estudiar.
- 2.- Evitar ubicar los anillos en zonas compactadas. Los terrenos compactados por vehículos o personas presentan una tasa de infiltración menor que las zonas adyacentes (sobre todo en los suelos de textura fina).
- 3.- Tener cuidado y evitar compactar el suelo con las propias pisadas, tanto mientras se busca el lugar idóneo como durante la colocación de los anillos.
- 4.- En los suelos ricos en arcillas expansibles no instalar los anillos sobre las grietas de expansión-contracción. Cuando la textura del terreno es fina el tamaño de los poros es muy pequeño y la absorción del agua se ve más afectada por la estructura del suelo que en el caso de los suelos arenosos.
- 5.- La tasa de infiltración es particular para cada horizonte del suelo, asumiéndose homogénea en todo el espesor del mismo. En suelos con varios horizontes de características diferentes, el paso del frente húmedo de un horizonte a otro quedará reflejado en la tasa de infiltración medida.

Es muy importante no finalizar la experiencia si antes no se ha alcanzado una tasa de infiltración constante.

6.- Por último, cabe señalar que la tasa de infiltración puede sufrir variaciones estacionales como consecuencia de cambios en la composición del agua o en su temperatura, en el crecimiento de la vegetación, etc.

Colocación, llenado de agua y toma de medidas

Es muy importante realizar estas tres operaciones sin alterar el suelo. No se debe cambiar su porosidad natural. Puesto que los factores determinantes de la capacidad de absorción de los suelos son múltiples y fáciles de modificar es conveniente actuar siguiendo una serie de normas básicas:

1- Colocar los anillos sobre la ubicación elegida comprobando que no queden ni piedras ni raíces bajo el filo de ninguno de los ellos; puedan deformar los aros con facilidad.

2.- Asegurarse de que el cilindro interior esté totalmente centrado del exterior.

3.- Clavar los cilindros en el suelo a igual profundidad en todo su perímetro, y hacerlo además al mismo tiempo. Los anillos ladeados o que no han sido introducidos de forma homogénea presentan mayor riesgo de sufrir fugas de agua.

4.- Clavados los anillos comenzar a llenar cuidadosamente de agua ambos anillos, empezando siempre por el exterior. Resulta muy conveniente “tapizar” el suelo de, al menos, el anillo central con arena gruesa, grava o algún tipo de plástico. De esta forma se evitará que el impacto directo del agua sobre el suelo desnudo provoque la desagregación de las partículas y el sellado de los poros.

5.- Comprobar que no existan fugas de agua provocadas por la presencia de piedras o raicillas, si hubiera alguna, tápala con el mismo barro de alrededor.

6.- Mantener constante el nivel del agua, durante toda la experiencia deberás utilizar algún tipo de dispositivo dispensador del agua.

7.- Intentar mantener el mismo nivel del agua en el interior de ambos anillos. Como norma general el llenado inicial no debe sobrepasar los 10 cm, y tampoco debes dejar que el nivel

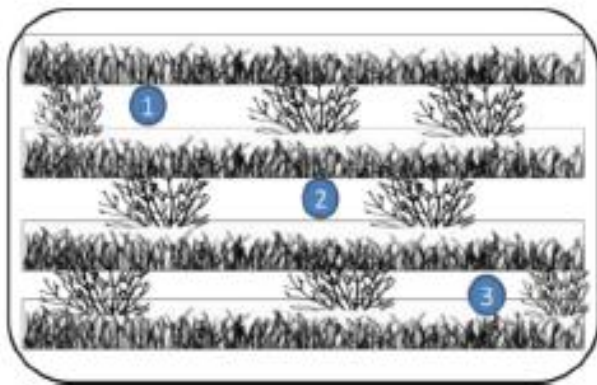
descienda a menos de 5 cm. Si el nivel en el anillo exterior es mayor que en cilindro central el agua tenderá a penetrar desde el suelo produciéndose errores de lectura.

8.- Realizar las medidas a intervalos regulares, ya sea de tiempo o de descenso de la lámina de agua en el interior del cilindro; de este modo es más fácil identificar cuándo la tasa de absorción permanece constante.

9.- Una vez alcanzada la tasa de infiltración constante, continuar las medidas hasta tener la absoluta certeza de que el agua está circulando por un mismo horizonte.

10.- Debido a la elevada variabilidad de los suelos y a los posibles errores asociados al método será necesario realizar más de una medida (Fig. 04); en cualquier caso, para estar seguros de que todos resultados de las pruebas son correctos deberán contrastarse con otras propiedades del suelo determinantes del movimiento del agua en el suelo como la textura, la estructura, el contenido en materia orgánica, etc.

Figura N° 04: Ubicación de los puntos de ensayos



Fuente: Gómez, 2014

Mediciones y cálculos

Para determinar la tasa de infiltración es necesario realizar algunos cálculos básicos, como se puede observar en el ejemplo Tabla N° 05.

Tabla N° 05: Ejemplo de cálculos básicos para determinar la tasa de infiltración.

Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia	Infiltración acumulada (cm)	F: Tasa de infiltración (cm/h)
0	10	0	0	0
1	9,8	0,2	0,2	12
3	9,6	0,2	0,4	8
5	9,5	0,1	0,5	6
10	9,4	0,1	0,6	3,6
15	9,3	0,1	0,7	2,8
20	9,1	0,2	0,9	2,7
25	8,9	0,2	1,1	2,64
30	8,7	0,2	1,3	2,6
40	8,3 9,6	0,4	1,7	2,55
50	9,2	0,4	2,1	2,52
60	8,8	0,4	2,5	2,5
75	8,2 9,7	0,6	3,1	2,48
90	9,1	0,6	3,7	2,467
120	8 9,9	1,1	4,8	2,4
150	8,7 9,9	1,2	6	2,4
180	8,7 9,9	1,2	7,2	2,4

Fuente: Gómez, 2014

Para calcular la tasa de infiltración se utilizó la siguiente fórmula:

$$F = \text{infiltración acumulada} / \text{tiempo acumulado} * 60 \quad (\text{Ecuación 03})$$

Donde:

F=Tasa de infiltración, en cm/h (Columna 5)

Infiltración acumulada en cm (Columna 4)

Tiempo acumulado, en min (Columna 1)

Cuando a intervalos iguales de tiempo y lecturas constantes se obtiene la tasa de infiltración, para este ejemplo 2.4 cm/h.

No es estrictamente necesario acudir a ensayos directos de infiltración o permeabilidad, ya que el propósito es encontrar la infiltración en las 3148.04 ha usando el Número de Curva, cuyos valores según el tipo el uso de suelo. Sin embargo este estudio consideró hacer los ensayos de infiltración para comparar los resultados con los grupos hidrológicos del suelo y su

granulometría. Según estudios de infiltración en cuencas del territorio peruano, la relación de puntos de muestreo son de 15 por cada 100 km² (10000 ha); las áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza (**Código SNIP N° 309284**) son de 3148,04 ha (31.4804 km²), lo que correspondería realizar 5 puntos de muestreo. Para el presente estudio se consideró aplicar 10 puntos de muestreo y por cada punto (03) tres ensayos de infiltración usando el método de doble anillo infiltrómetro o anillos de Muntz.

Tabla N° 06: Distribución de puntos de muestro (10) según uso actual del suelo en las áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza.

N°	Uso Actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %	Puntos de Muestreo	Ensayos Infiltración
1	Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5	1	3
2	Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9	1	3
3	Producción de Uva y cacao	366,7	11,6	1	3
4	Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2	2	6
5	Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7	1	3
6	Zonas Degradadas	143,9	4,6	1	3
7	Bosque Primario	189,6	6,0	1	3
8	Bosque Secundario	79,3	2,5	0	0
9	Centros Poblados	4,7	0,1	0	0
10	Cuerpos de Agua	10,4	0,3	0	0
11	Pastos	11,8	0,4	0	0
12	Sistemas Agroforestales	27,5	0,9	0	0
13	Frente Productivo Ganadero y Cafetalero	216,6	6,9	1	3
14	Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada	392,1	12,5	1	3
TOTAL		3148.04	100,0	10,0	30,0

Fuente: Elaboración propia, 2017.

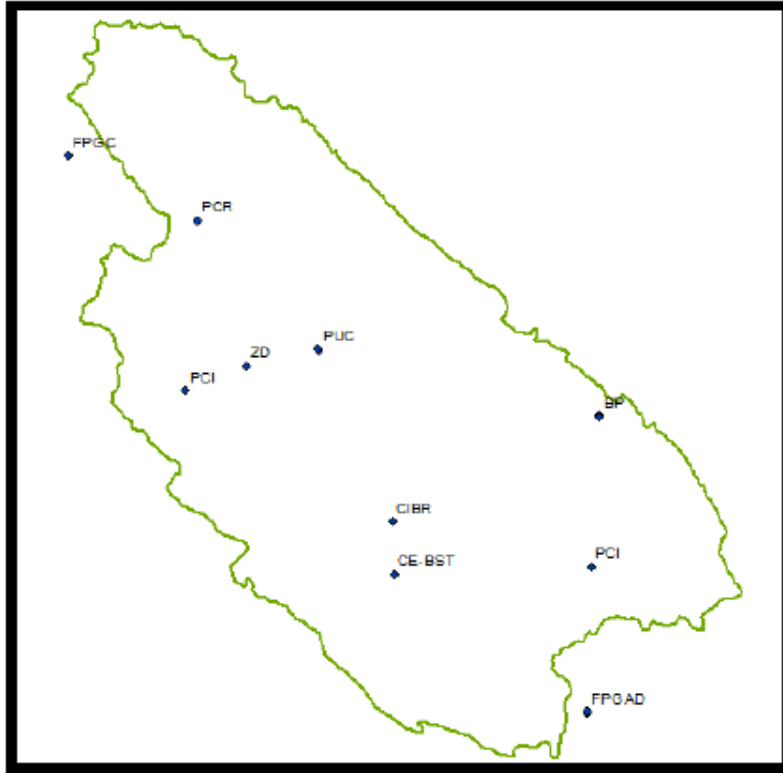
Como se ve en la tabla anterior se ha considerado hacer un total de 10 puntos de muestreo, de la cuales 2 pertenecen a Purmas y Cultivos intensivos debido a que posee más área (22.2%) respecto a las demás. En Bosque Secundario, Centros Poblados, Cuerpos de Agua, Pastos y Sistema Agroforestal, no se consideró muestrear debido a que son el grupo con menor área del total (menos del 5%). Una vez obtenido la cantidad de puntos de muestreo por uso actual del suelo, se elaboró la siguiente tabla de ubicación de los 30 ensayos de infiltración.

Tabla N° 07: Distribución de la ubicación de los 30 ensayos de infiltración en las áreas de intervención para reforestación Cumbaza.

PUNTO DE MUESTRO	CODIGO	USO ACTUAL DE SUELO - ZEE CUMBAZA	N° ENSAYOS DE INFILTRACIÓN	UBICACIÓN UTM WGS 84	
				ESTE	NORTE
1	CE-BST	Cultivos Estacionales en BST	1	346068,35	9278202,40
			2	346078,40	9278207,96
			3	346066,50	9278192,48
2	CIBR	Cultivos Intensivos Bajo Riego	4	345999,03	9280736,19
			5	346004,65	9280745,62
			6	345990,76	9280733,38
3	PUC	Producción de uva y cacao	7	342396,85	9289061,58
			8	342405,90	9289063,80
			9	342384,63	9289067,46
4	PCI	Purmas y Cultivos Intensivos	10	335960,53	9287064,62
5			11	335969,63	9287064,61
			12	335956,93	9287058,04
			13	355629,94	9278561,52
			14	355619,68	9278560,20
			15	355614,39	9278555,24
6	PCR	Purmas y cultivos Rotativos	16	336500,16	9295297,76
			17	336502,15	9295311,25
			18	336510,48	9295292,60
7	ZD	Zonas Degradadas	19	338895,39	9288263,02
			20	338903,31	9288255,66
			21	338908,09	9288259,52
8	BP	Bosques Primario	22	355988,39	9285828,12
			23	355993,31	9285837,65
			24	355986,64	9285819,23
9	FPGC	Frente Productivo Ganadero y cafetalero	25	330276,83	9298415,63
			26	330283,98	9298420,39
			27	330282,39	9298434,15
10	FPGAD	Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada	28	355445,10	9271510,72
			29	355438,16	9271520,64
			30	355443,78	9271533,21

Fuente: Elaboración propia, 2017

Figura N° 05: Ubicación de los 10 puntos de Muestro con código por Uso Actual de Suelo.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del diseño de la investigación se obtendrá toda la información necesaria y requerida para aceptar o rechazar la hipótesis.

En la investigación se utilizó el diseño no experimental, transeccional y descriptivo. No experimental porque no se pueden manipular las variables, los datos a reunir se obtendrán de campo (suelos de intervención para reforestación) y transeccional ya que la recolección de datos se realizará en un solo tiempo.

La investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación sino que se observan situaciones ya existentes no provocadas intencionalmente. (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

Los estudios no experimentales pueden ser de dos tipos, transeccionales y longitudinales. Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia o interrelación en un momento dado (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p.270).

Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en lo que se manifiestan una o más variables dentro del enfoque cuantitativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p.270). El procedimiento consiste en medir o ubicar a un grupo de personas, objetos, situaciones, contextos, fenómenos en una variable o concepto y proporcionar su descripción (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

3.6 POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

3.6.1 POBLACIÓN

Uso actual de suelos de la sub cuenca del río Cumbaza que comprende un área de 57120,19 ha.

3.6.2 MUESTRA

En 3148.04 ha de suelos de intervención para reforestación del PIP.

3.6.3 MUESTREO

El muestreo aplicado es el muestreo no probabilístico por conveniencia.

Para la determinación de la Tasa de Infiltración se seleccionaron 10 puntos por conveniencia de las 3 148,04 ha de áreas de intervención para reforestación.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TÉCNICAS

Observación experimental: Una de las técnicas más usadas en este tipo de investigación, es el uso de guías de observación, cuaderno de notas, etc., técnica que permite interrelacionarse directamente con elementos que son materia del trabajo de investigación

Análisis documental.

3.7.2. INSTRUMENTOS

Tal y como su denominación lo indica, son todos aquellos medios destinados a recoger información de la realidad circundante, pudiendo éste ser la sociedad o la naturaleza, desde una balanza en las ciencias naturales, hasta un cuestionario u observación en las ciencias sociales. Estos instrumentos permiten al investigador recolectar los datos, los que luego serán, analizados e interpretados. Deben cumplir con los siguientes objetivos:

- Recoger la información que el investigador necesita.
- Establecer el grado de precisión a través de las preguntas que se formulan
- Determinar el tipo de informantes.

Ficha de datos: Instrumentos preparados por el investigador, para recopilar y anotar la información que complementará la observación de los hechos, como por ejemplo costo de los libros, establecimiento de fotocopiadoras entre otros.

3.7.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Selección de un instrumento de recolección de datos como; la ficha de registro.
2. Aplicación y tabulación del instrumento (Anillo de Muntz).
3. Preparar las observaciones, registros y mediciones obtenidas.

3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Es la técnica que consiste en la recolección de los datos primarios de entrada, que son evaluados y ordenados, para obtener información útil, que luego serán analizados por el usuario final, para que pueda tomar las decisiones o realizar las acciones que estime conveniente.

Las etapas para el Procesamiento de Datos son las siguientes:

Entrada:

Los datos deben ser obtenidos y llevados a un bloque central para ser procesados. Los datos en este caso, denominados de entrada, son clasificados para hacer que el proceso sea fácil y rápido.

Proceso:

Durante el proceso se ejecutarán las operaciones necesarias para convertir los datos en información significativa. Cuando la información esté completa se ejecutará la operación de salida, en la que se prepara un informe que servirá como base para tomar decisiones.

Salida:

En todo el procesamiento de datos se plantea como actividad adicional, la administración de los resultados de salida, que se puede definir como los procesos necesarios para que la información útil llegue al usuario.

La función de control asegura que los datos estén siendo procesados en forma correcta.

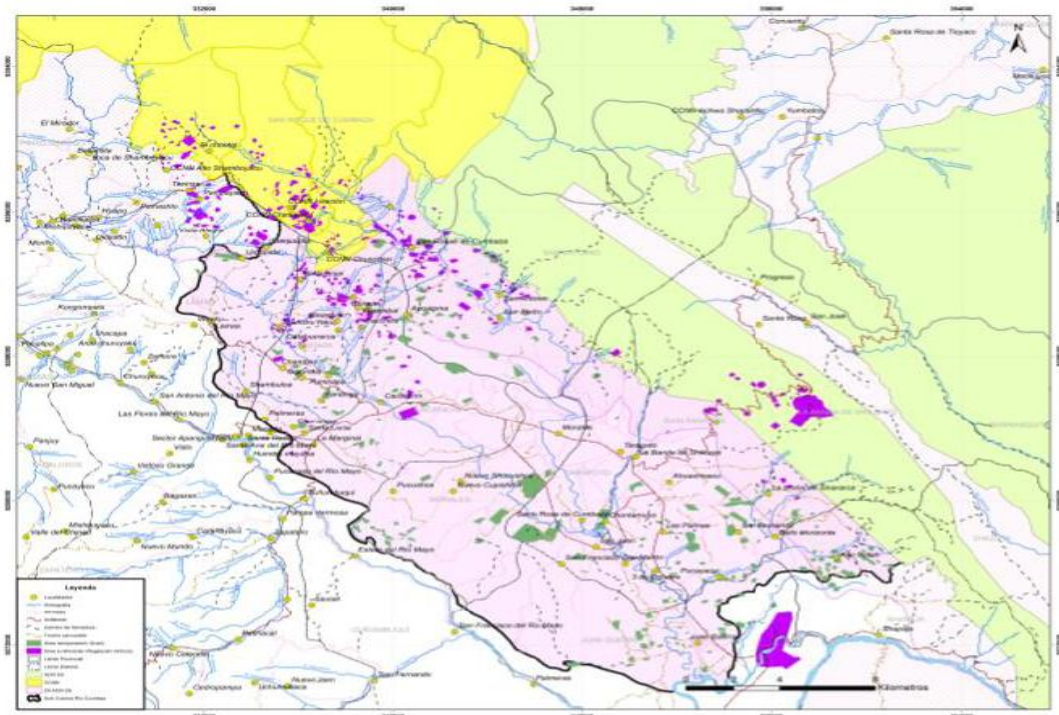
CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 USO ACTUAL DEL SUELO DE INTERVENCIÓN PARA REFORESTACIÓN DEL PIP (OBJT 1)

Las áreas de intervención y potenciales a reforestar son las áreas consideradas en el proyecto que suma a 3 148,04 ha, para la recuperación del servicio de regulación hídrica y control de la erosión del suelo.

Figura N° 06: Mapa de ubicación de áreas para recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y control de la erosión del suelo en la subcuenca del río Cumbaza.



Fuente: DMA – PECHBM

Tabla N° 08: Uso Actual del Suelo de 3,148.04 ha (Ver Anexo 01).

Cobertura del Suelo en Áreas de Intervención del PIP Cumbaza		
Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %
Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9
Producción de Uva y cacao	366,7	11,6
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7
Zonas Degradadas	143,9	4,6
Bosque Primario	189,6	6,0
Bosque Secundario	79,3	2,5
Centros Poblados	4,7	0,1
Cuerpos de Agua	10,4	0,3
Pastos	11,8	0,4
Sistemas Agroforestales	27,5	0,9
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	6,9
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	12,5
TOTAL	3148,04	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La data sobre el uso actual de esas áreas se recoge de la ZEE San Martín ya que están fuera del límite de la cuenca y por tal la ZEE Cumbaza no tiene esa información.

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ESCORRENTÍA POR INFILTRACIÓN A TRAVÉS DEL NÚMERO DE CURVA (NC) (OBJET2)

La ZEE del Cumbaza cuenta con la Clasificación de Uso Actual del Suelo (cobertura) de tal manera que se agrupó las 3.148,04 ha en 14 usos, y con la ayuda de la Tabla N° 04 se determinó el Número de curva en la siguiente tabla.

Tabla N° 09: Determinación de Número de Curva.

DETERMINACION DE NUMERO DE CURVA (NC)				
Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %	Área (m2)	NC
Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5	4245000	82
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9	2166000	82
Producción de Uva y cacao	366,7	11,6	3667000	82
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2	6975400	71
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7	3668000	71
Zonas Degradadas	143,9	4,6	1439000	52
Bosque Primario	189,6	6,0	1896000	42
Bosque Secundario	79,3	2,5	793000	43
Centros Poblados	4,7	0,1	47000	22
Cuerpos de Agua	10,4	0,3	104000	11
Pastos	11,8	0,4	118000	81
Sistemas Agroforestales	27,5	0,9	275000	52
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	6,9	2166000	82
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	12,5	3921000	82
TOTAL	3148,04	100,0	314804000	61.1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Una vez obtenido el Número de Curva, a partir de la ecuación 02, se calcula “S” que viene a ser la diferencia potencial máxima entre P y Q, que representa proporcionalmente la **pérdida de escorrentía por infiltración** (mm, 1 mm: 1 litro por metro cuadrado); y con este resultado podemos encontrar la Infiltración por cada clasificación en las áreas (3,148.04 ha = 31480400 m²) de intervención para reforestación del PIP Cumbaza. (Tabla N° 10).

Tabla N° 10: Cálculo de Infiltración (S en m³) en áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza en la actualidad.

Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %	Área (m2)	NC	S(L/m2)	S(L/Area Uso)	S(m3)
Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5	4245000	82	55,8	236684634,1	236684,6
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9	2166000	82	55,8	120767707,3	120767,7
Producción de Uva y cacao	366,7	11,6	3667000	82	55,8	204457609,8	204457,6
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2	6975400	71	103,7	723673188,7	723673,2
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7	3668000	71	103,7	380542084,5	380542,1
Zonas Degradadas	143,9	4,6	1439000	52	234,5	337390153,8	337390,2
Bosque Primario	189,6	6,0	1896000	42	350,8	665044571,4	665044,6
Bosque Secundario	79,3	2,5	793000	43	336,7	267001255,8	267001,3
Centros Poblados	4,7	0,1	47000	22	900,5	42325636,36	42325,6
Cuerpos de Agua	10,4	0,3	104000	11	2055,1	213729454,5	213729,5
Pastos	11,8	0,4	118000	81	59,6	7,030,469,136	7030,5
Sistemas Agroforestales	27,5	0,9	275000	52	234,5	64476923,08	64476,9
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	6,9	2166000	82	55,8	120767707,3	120767,7
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	12,5	3921000	82	55,8	218619658,5	218619,7
TOTAL	3148,04	100,0	314804000	61.1	332,7	3602511055	3,602,511,055

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.1.3 CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO POR EL MÉTODO DE ANILLOS MUNTZ. (OBJ 3)

Tabla N° 11: Tasa de Infiltración por Uso Actual de Suelo en áreas de intervención para reforestación del PIP Cumbaza.

PUNTO DE MUESTRO	USO ACTUAL DE SUELO - ZEE CUMBAZA	N° ENSAYOS DE INFILTRACIÓN	UBICACIÓN UTM WGS 84		Tasa de Infiltración (F=cm/h)	Promedio (F=cm/h)
			ESTE	NORTE		
1	Cultivos Estacionales en BST	1	346068,35	9278202,40	11,2	11,0
		2	346078,40	9278207,96	10,5	
		3	346066,50	9278192,48	11,3	
2	Cultivos Intensivos Bajo Riego	4	345999,03	9280736,19	7,5	8,0
		5	346004,65	9280745,62	8,1	
		6	345990,76	9280733,38	8,3	
3	Producción de uva y cacao	7	342396,85	9289061,58	11,3	11,4
		8	342405,90	9289063,80	10,2	
		9	342384,63	9289067,46	12,6	
4	Purmas y Cultivos Intensivos	10	335960,53	9287064,62	1,3	3,2
		11	335969,63	9287064,61	6,6	
		12	335956,93	9287058,04	1,8	
5	Purmas y Cultivos Intensivos	13	355629,94	9278561,52	1,6	3,6
		14	355619,68	9278560,20	4,8	
		15	355614,39	9278555,24	4,5	
6	Purmas y cultivos Rotativos	16	336500,16	9295297,76	1,3	2,9
		17	336502,15	9295311,25	4,2	
		18	336510,48	9295292,60	3,2	
7	Zonas Degradadas	19	338895,39	9288263,02	5,4	4,5
		20	338903,31	9288255,66	6,4	
		21	338908,09	9288259,52	1,8	
8	Bosques Primario	22	355988,39	9285828,12	14,1	13,8
		23	355993,31	9285837,65	14,5	
		24	355986,64	9285819,23	12,8	
9	Frente Productivo Ganadero y	25	330276,83	9298415,63	8,6	6,6
		26	330283,98	9298420,39	4,6	
		27	330282,39	9298434,15	6,7	
10	Frente Productivo Ganadero y	28	355445,10	9271510,72	8,4	7,2
		29	355438,16	9271520,64	9,1	
		30	355443,78	9271533,21	4,2	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.2 Discusión

Por acciones de reforestación en la vida útil del PIP, en el primer año, el Número de Curva permanecerá como en la actualidad. A partir del segundo año de ejecución del proyecto se proyecta un decrecimiento del 5% anual del NC en las áreas hasta el año 8, ya que las especies que se usarán para reforestar son especies de rápido crecimiento entre 5 y 10 años, a partir de entonces el NC se mantendría estable.

Otro aspecto importante a considerar es que el método SCS prioriza el resultado de la Escorrentía Directa o Precipitación Efectiva, es por ello que S es un valor teórico que los autores que lo formularon recomiendan no alterar la ecuación. Es por ello que el Valor S depende directamente del Número de Curva y la vez ésta misma, de la cobertura del suelo, pendiente entre otros. Pero para motivos del PIP, el servicio ecosistémico de regulación hídrica presenta dos aspectos importantes: el volumen de agua que “se produce” y que está en función del balance entre la precipitación y la evaporación, y la regulación hídrica, que está relacionada al almacenamiento (infiltración). Este último aspecto es el que nos proporciona, en mayor o menor grado, un caudal relativamente constante, a pesar de la entrada irregular de la precipitación. A mayor capacidad de regulación, mayores serán los caudales base, y mayor será el tiempo que el cauce se mantiene con agua antes de llegar a secarse.

Los suelos con cultivos intensivos, rotativos y purmas presentaron las menores tasas de infiltración y alcanzaron un tiempo mayor en comparación con las demás. Esto se debe a que presentan una cobertura vegetal constituida mayormente por gramíneas del tipo pajonal que forman capas gruesas y altas, con hojas punzocortantes cuando están maduras, asociadas a gramíneas pegadas al piso tipo césped, usados para el pastoreo de ganado en forma continua y simultánea, sin ningún criterio técnico; donde se practica comúnmente quema del pajonal con la finalidad de aprovechar los rebrotes; dichas prácticas reduce la tasa de infiltración en estas tierras ya que se debilita la estructura y se obstruyen los poros por la carga animal y la quema.

CONCLUSIONES

El parámetro hidrológico del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, NC, está en función de distintas variables relacionadas con las características físicas de la cuenca, para resultados más confiables es necesario trabajar a nivel de toda el área de la cuenca, no hay estudios sobre infiltración en solo determinadas áreas de una cuenca, ya que toda el área en general influencia en la infiltración y la determinación de caudales (oferta hídrica).

La infiltración actual en las áreas de intervención por reforestación es de 3602511.055 m³ por precipitación (Tabla N° 10). Para los siguientes años de ejecución del PIP aumentarían por la reforestación y buenas prácticas de uso del suelo, ya que las propiedades del suelo como la densidad aparente y la humedad gravimétrica son variables que influyen directa e inversamente sobre la tasa de infiltración.

En la Tabla N° 11 se presenta las tasas medias de infiltración según el tipo de uso actual del suelo, son los suelos con cultivos estacionales en BST, producción de uva y cacao y bosque primarios alcanzan valores más altos con 11, 11.4 y 13.8 cm/h respectivamente. Los suelos con bosques presentan una rápida infiltración, debido a que las plantaciones instaladas han mejorado la estructura del suelo facilitando el movimiento del agua dentro de él. Así también, la presencia de capas de hojarasca sobre la superficie del suelo del bosque retarda el escurrimiento superficial y proporciona más tiempo para la infiltración.

Incluso cuando el objetivo principal de la reforestación no es la conservación de los recursos hídricos, los datos recabados en este estudio demuestran que los árboles plantados tienen un efecto positivo sobre la tasa de infiltración. Esto también contribuye a la reducción de la erosión hídrica y del riesgo potencial de inundaciones en las partes bajas, todas estas son problemáticas comunes de las cuencas amazónicas de nuestro país.

RECOMENDACIONES

Será necesario continuar investigando el tema, considerando el efecto de otras especies forestales sobre la infiltración de agua y su relación con otras variables como la actividad biológica y el contenido de materia orgánica bajo diferentes condiciones edáficas.

Los efectos de la intensidad y duración de las precipitaciones, y el papel de la interceptación vertical y horizontal de plantaciones de diferentes especies forestales sobre la infiltración y la recarga hídrica, merecen también ser estudiados.

Esto permitirá generar información valiosa para tomar mejores decisiones en cuanto al establecimiento y manejo de proyectos de reforestación en los trópicos, considerando como un objetivo principal o secundario la protección y el mantenimiento de los cada vez más escasos recursos hídricos.

El comportamiento no saturado del suelo resulta de gran importancia en los procesos de infiltración. Debido a esto, resulta recomendable mejorar las técnicas de identificación de las relaciones entre succión, humedad y permeabilidad. Para esto se plantea como trabajo futuro, la implementación de experimentos sobre el suelo en estudio que permitan mejorar la caracterización de estas relaciones.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Arias, F. (1999). El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración. Tercera edición. Caracas – Venezuela: Editorial Episteme, C.A.

Barbeito, O. y Ambrosino, S. 1999. Evaluación Geomorfológica de la amenaza por crecientes repentina. En Gonzalez M.A. y Bejerman N.J. (eds.) Libro Peligrosidad Geológica en Argentina, Metodología de análisis y Mapeo, Estudio de casos, ASAGAI, Publicación Especial 4: 272-279, Buenos Aires

Bergkamp, G., Orlando, B. and Burton, I. (2003). Change. Adaptation of Water Management to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 53 pp.

Bonell, M. 1998. Possible impacts of climate variability and change on tropical forest hydrology. In. 1998. Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems. Springer. p. 75-132

Bruijnzeel, L.A. (1990). Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review. Humid Tropics Programme, IHP-UNESCO.

Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? Agriculture, ecosystems & environment 104(1): 185-228.

Calder, I.R. 2002. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions Land Use and Water Resources Research 2(2): 1-12.

Desoky, M.S. 2011. Impact of land-use and land-management on the water infiltration capacity of soils on a catchment scale Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina. 184 p.

Dripps, W.; Anderson, M.P.; Potter, K.W. 2001. Temporal and spatial variability of natural groundwater recharge, University of Wisconsin Water Resources Institute.

FAO. 1999. The Contribution of Blue Water and Green Water to the Multifunctional Character of Agriculture and Land. Background Paper 6:

FAO. 2003. Sustainable use and management of freshwater resources: the role of forests, in Sustainable use and management of freshwater resources: the role of forests (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/y7581e/y7581e09.htm>

FAO. 2013. Forests and water international momentum and action Rome, 84 p. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/017/i3129e/i3129e.pdf>

Fu, B.; Chen, L.; Ma, K.; Zhou, H.; Wang, J. 2000. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China *Catena* 39(1): 69-78.

Gómez, G.C. 2014. "Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. Universidad Continental, México.

Hamilton, L.S.; King, P.N.; Center, E.-W. 1983. Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses or conversions, Westview Press Boulder.

Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2003). Metodología de la Investigación. 3ra. Edición. México. Mc. Graw Hill.

HEWLETT. 1992. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal Hydrol.* 55:3-23

Ilstedt, U. 2002. Soil Degradation and Rehabilitation in Humid Tropical Forests, (Sabah, Malaysia). Department of Forest Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.

Ilstedt, U.; Malmer, A.; Nordgren, A.; Liau, P. 2004. Soil rehabilitation following tractor logging: early results on amendments and tilling in a second rotation *Acacia mangium* plantation in Sabah, Malaysia *Forest Ecology and Management* 194(1): 215-222.

Ilstedt, U.; Malmer, A.; Verbeeten, E.; Murdiyarso, D. 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis *Forest Ecology and Management* 251(1): 45-51.

Jorge H. 2002. Uso y cobertura actual del suelo, índice de protección hidrológica y flora. T.P. 13048 de Minagricultura, Ibagué, Colombia.

Le Maitre, D.; Scott, D.; Colvin, C. 1999. Review of information on interactions between vegetation and groundwater *Water SA* 25(2): 137-152. <http://hdl.handle.net/10204/524>

Manson, R. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1): 3–20.

Mapa, R.B. 1995. Effect of reforestation using *Tectona grandis* on infiltration and soil water retention *Forest Ecology and Management* 77(1): 119-125.

MARCANO, J. 2011 Importancia de los Bosques: El Agua. Página de internet <http://www.jmarcano.com/bosques/importancia/agua.html> Consulta septiembre 2016

Mejía, N. 2014. "Efectos de la reforestación sobre la infiltración de agua en la microrregión hidrográfica Balalaica, Turrialba, Costa Rica". Departamento de Investigación Forestal Aplicada ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras CATIE 2-7170 30 501 Turrialba, Costa Rica

Montserrat, F., Joaquín, R., & Teodoro, E. (1995). Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería del Agua*, 43-58.

Owor, M.; Taylor, R.; Tindimugaya, C.; Mwesigwa, D. 2009. Rainfall intensity and groundwater recharge: empirical evidence from the Upper Nile Basin Environmental Research Letters 4(3): 035009.

PEHCBM, 2010. Consultoria: "Análisis de Riesgos de la Sub cuenca del río Cumbaza" – Dirección de Medio Ambiente. Gobierno Regional de San Martín.

Salazar, R. 2009. Tropical Forest Plantations. In Owens, J.N.; Lunday, H.G. eds. 2009. Forests and Forest Plants. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). p. 4. Disponible en <http://www.eolss.net/samplechapters/c10/E5-03-05-05.pdf>

Sánchez, R.M. 2014. "Infiltración en los suelos regados del valle Bonaerense del río Colorado, Argentina". XXIV Congreso argentino de la ciencia del suelo. B

Shukla, M.; Lal, R.; Owens, L.; Unkefer, P. 2003. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio Soil Science 168(3): 167-177.

Tejwani, K.G. 1993. Water Management Issues: Population, Agriculture and Forests – A Focus on Watershed Management, Cambridge University Press. 496-525 p. (Hydrology and Water Management in the Humid Tropics. Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management) <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511564468.027>

Torres, R., J.M. y A. Guevara S. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Gaceta Ecológica INE n. 63

USDA (United States Department of Agriculture). 2008. Soil Quality Indicators, Infiltration, 2 p.

Ven Te, C. (2001). Handbook of Applied Hydrology. EEUU: McGraw Hill Book Company

Wood, M.K.; Blackburn, W.H. 2003. Grazing Systems: Their Influence on Infiltration Rates in the Rolling Plains of Texas Journal of Range Management 34(4):331-335.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

“DETERMINACIÓN DE LA INFILTRACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN SUELOS DE INTERVENCIÓN PARA REFORESTACIÓN DE LA SUB CUENCA DEL RIO CUMBAZA, PROVINCIAS DE LAMAS Y SAN MARTÍN, 2017”

RESUMEN

La infiltración es un parámetro básico en suelos que determina los tiempos de aplicación de las láminas de riego. A partir del mismo se calcula la velocidad de penetración del agua en concordancia con la humedad presente en el suelo y con las características físicas del mismo, permitiendo además ubicar texturalmente a los suelos. Es una herramienta valiosa que ayudará a cuantificar y monitorear la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica. El objetivo de esta investigación fue determinar la infiltración del recurso hídrico en suelos de intervención para reforestación en la sub cuenca del río Cumbaza, provincias de Lamas y San Martín. Se desarrolló una investigación básica con diseño correlacional. Los usos actuales del suelo fueron identificados según la Zonificación Ecológica y Económica de la sub cuenca del río Cumbaza, en estas zonas se seleccionó 30 puntos de muestro al azar usando las herramientas de software ArcGIS, en los que se midieron la infiltración empleando infiltrómetros de doble anillo. Las tasas medias de infiltración según el tipo de uso actual del suelo, son los suelos con cultivos estacionales en BST, producción de uva y cacao y bosque primarios alcanzan valores más altos con 11; 11,4 y 13,8 cm/h respectivamente. Los suelos con bosques presentaron una rápida infiltración, debido a que las plantaciones instaladas han mejorado la estructura del suelo facilitando el movimiento del agua dentro de él. La infiltración actual en las áreas de intervención (3148,04 ha) por reforestación es de 3'602511,055 m³ por precipitación. Para los siguientes años de ejecución del PIP aumentarían por la reforestación y buenas prácticas de uso del suelo, ya que las propiedades del suelo como la densidad aparente y la humedad gravimétrica son variables que influyen directa e inversamente sobre la tasa de infiltración.

Palabras clave: Infiltración, servicio ecosistémico, infiltrómetro, reforestación.

DETERMINATION OF THE INFILTRATION OF WATER RESOURCES IN SOILS OF INTERVENTION FOR THE REFORESTATION OF THE CUMBAZA RIVER SUB-BASIN, PROVINCES DE LAMAS AND SAN MARTIN IN THE YEAR 2017

ABSTRACT

The infiltration is a basic parameter in soils that determine the times of application of the irrigation sheets. From the same it is calculated the speed of the penetration of the water in agreement with the humidity present in the soil and with the physical characteristics of the same, allowing also the text to the floors. It is a valuable tool that helps to quantify and monitor the recovery of the ecosystem service of water regulation. The objective of this research was the infiltration of water resources in intervention soils for reforestation in the subbasin of the Cumbaza river, in the provinces of Lamas and San Martín. A basic research was developed with correlational design. Current land uses were identified according to the Ecological and Economic equation of the Cumbaza river basin. In these zones 30 dead points were selected using the tools of the ArcGIS software, in which the infiltration used by double ring infiltrators The rates are mean of infiltration according to the type of real use of the soil, are the soils with seasonal crops in BST, grape production and primary cacao and forest reach higher values with 11; 11,4 and 13,8 cm / h respectively. The soils with the forests present a rapid infiltration, by which the installed plants have improved the structure of the ground facilitating the movement of the water inside him. The current infiltration in the intervention areas (3148,04 ha) by reforestation is 3'602511,055 m³ by precipitation. For the next years PIP implementation increased by reforestation and good land use practices, since soil properties such as bulk density and gravitational humidity are variables that directly and inversely influence the rate of infiltration.

Key words: Infiltration, ecosystem service, infiltrometer, reforestation.

INTRODUCCIÓN

El proceso de infiltración es un componente importante del ciclo hidrológico, que se define como la entrada de agua hacia abajo, en la totalidad o parte del suelo, interviniendo para ello factores como: textura, presencia de costras, compactación, estructura, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, tipo de cobertura vegetal, densidad aparente, presencia de grietas y porosidad y cuyo uso de tierras por las actividades antrópicas modifica positiva o negativamente estos factores haciendo que la infiltración varíe y produzca impactos sobre la hidrología de una cuenca. Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos puede ser un buen indicador de la calidad y salud del suelo, ya que al transportar agua dentro del suelo constituye como medio principal para conservar actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo que recarga los acuíferos. Algunos resultados para el caso de tierras agrícolas revelaron que la mayor estabilidad de la estructura del suelo se relaciona con prácticas de labranza de conservación debido a que generan mayor número de macroporos y alta resistencia superficial al sellado.

En el ámbito internacional se han desarrollado investigaciones con el objeto de relacionar las diferentes propiedades del suelo con las prácticas de manejo realizadas, las que han servido para mejorar las técnicas de riego, minimizar la compactación del suelo, aplicar enmiendas orgánicas y realizar obras de conservación de agua como zanjas de infiltración, surcos en contornos y otras técnicas, que conservan la humedad del suelo al mismo tiempo que aportan agua a las fuentes subterráneas.

En el ámbito nacional y local son muy pocas las evaluaciones de las tasas de infiltración de agua a pesar de que la generación de esta información es muy valiosa para

plantear y recomendar usos con fines de recarga hídrica, tecnificación de riego, incorporación de enmiendas del suelo y tipo de cubierta, posiblemente debido a que la medición directa de la infiltración es una tarea muy compleja, por ser laboriosa, lenta y costosa, dado su alta variabilidad espacial y temporal, y a la técnica de medición elegida para registro de información.

METODO DE LA INVESTIGACIÓN

Cálculo de la Infiltración por el Método de SCS o CN

En este estudio se propone la aplicación de la teoría de la Curva Número en las áreas de intervención de PIP (3 148,04 has) para la obtención de la infiltración y la precipitación efectiva (escurrimiento). El modelo de infiltración, que tiene como finalidad determinar la cantidad de agua que escurre y la cantidad de agua que es absorbida por el suelo. Con el método de la Curva Número o del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) se obtendrá la infiltración actual y por acciones de reforestación en la vida útil del proyecto.

Para el cálculo de la precipitación efectiva, un procedimiento utilizado, es el que se basa en el método propuesto por el Soil Conservation Service – SCS; para la formulación del método del número de curva, la altura de precipitación efectiva o escurrimiento directo P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escurrimiento se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escurrimiento, luego de eso, la escurrimiento potencial es la diferencia entre P e I_a . La metodología del Número de Curva considera como variables en su determinación:

$$S = \frac{2}{3}$$

- La precipitación, representada en este caso por la precipitación para un período de tiempo previamente seleccionado.
- El complejo de suelo - hidrológico que considera la interrelación suelo - cobertura vegetal.
- La condición de humedad antecedente; de acuerdo con estas variables se fija un número de curva (CN) que representa tal interrelación

Donde:

CN: Número de Curva

S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, interceptión y almacenamiento superficial. (mm)

Esta metodología fue originalmente propuesta para la evaluación de la precipitación neta que podría generar una tormenta (Monsalve Sáenz, 1995), considerando el volumen de precipitación antecedente en un periodo de 5 a 30 días, con la finalidad de establecer el escurrimiento directo que puede esperarse como respuesta a una precipitación específica. Según este procedimiento, la escorrentía directa (Q) o precipitación efectiva, se expresa mediante la ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad \text{Ecuación 01}$$

Donde:

Q: Es la escorrentía directa o precipitación efectiva, en pulgadas.

P: Es la precipitación considerada, en pulgadas.

S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, interceptión y almacenamiento superficial.

Los estudios empíricos realizados por el SCS (Montserrat, Joaquín, & Teodoro, 1995) permitieron relacionar la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia, denominado número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100. Así un número de la curva CN = 100, indica que toda la lluvia escurre y un CN = 1, indica que toda la lluvia se infiltra.

Ecuación 02

Valores del número de curva

Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y de agua CN = 100; para superficies naturales CN.

Tipo de Cobertura del suelo

El SCS agrupa los usos del suelo con cobertura vegetal en cuatro grandes grupos: Agua, Residencial media, bosque y agricultura; adaptadas a las áreas estudiadas en Estados Unidos, y que en ocasiones presentan dificultades de ajuste a otros ámbitos o a otros territorios. (Ecuación 01)

Clasificación original SCS		Clasificación revisada (reclasificación)	
Número de Curva	Descripción	Número	Descripción
11	Agua a cielo abierto	1	Agua
90	Humedales leñosos		
95	Humedales herbáceos		
21	Poblados en espacios abiertos	2	Residencial media
22	Poblados de baja densidad		
23	Poblados de mediana densidad		
24	Poblados de alta densidad		
41	Bosques secos	3	Bosque
42	Bosques verdes		
43	Bosques mixtos		
31	Tierra infértil	4	Agricultura
52	Arbustos/matorrales		
71	Patizales/herbáceas		
81	Pasto/heno		
82	Cultivos		

Fuente: SCS, 1991.

Existen diferentes métodos para determinar la cobertura del suelo entre los más comunes están: reconocimiento en campo, fotografías aéreas y mapas de uso del suelo. Para la presente investigación se utilizará el mapa de Uso Actual del

Suelo de la ZEE Cumbaza, y se ubicará las áreas a intervenir por cada uso.

Cálculo de la Tasa de Infiltración por el Método de Anillos Muntz

El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. Aunque es muy posible que al inicio de la experiencia el suelo esté seco o parcialmente húmedo y por lo tanto en condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, mayor cuanto más alta sea ésta.

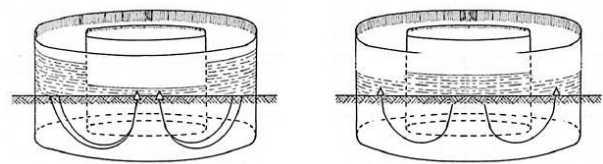
El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior.

La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado. Se debe tener en cuenta que las tasas de infiltración obtenidas con el método del doble anillo en condiciones de no saturación no son muy fiables y tampoco son indicativas del comportamiento del suelo en condiciones de campo no es habitual, ni aún siquiera cuando se riega a manta, que sobre la superficie del terreno haya una lámina de agua de varios cm de altura y sólo es así en condiciones excepcionales como las inundaciones o las grandes avenidas de agua.

El método original desarrollado por Muntz (Fernandez et.al., 1971) parte de la idea de que colocados los dos anillos y obtenida la situación de saturación, la diferencia de nivel del

agua (H) en los anillos interior y exterior provoca un flujo de agua que será de entrada hacia el anillo interior (figura 2a) si la altura es mayor en el tubo exterior, o de salida si es inferior (figura 2b).

Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos. 2a) el flujo entra hacia el anillo interior 2b) El flujo abandona el anillo interior



Procedimiento

Deberán tomarse en consideración los siguientes aspectos:

- Elección de la ubicación de los anillos
- Colocación, llenado de agua y toma de medidas
- Mediciones y cálculos

Elección de la ubicación de los anillos

La bondad de los datos y la fiabilidad de los resultados obtenidos dependen en gran medida de la idoneidad del lugar elegido para su realización y de la conveniencia de la metodología usada. Los aspectos más relevantes a considerar en relación a la ubicación de los anillos son los siguientes:

- 1.- Encontrar una localización representativa del suelo a estudiar.
- 2.- Evitar ubicar los anillos en zonas compactadas. Los terrenos compactados por vehículos o personas presentan una tasa de infiltración menor que las zonas adyacentes (sobre todo en los suelos de textura fina).

3.- Tener cuidado y evitar compactar el suelo con las propias pisadas, tanto mientras se busca el lugar idóneo como durante la colocación de los anillos.

4.- En los suelos ricos en arcillas expansibles no instalar los anillos sobre las grietas de expansión-contracción. Cuando la textura del terreno es fina el tamaño de los poros es muy pequeño y la absorción del agua se ve más afectada por la estructura del suelo que en el caso de los suelos arenosos.

5.- La tasa de infiltración es particular para cada horizonte del suelo, asumiéndose homogénea en todo el espesor del mismo. En suelos con varios horizontes de características diferentes, el paso del frente húmedo de un horizonte a otro quedará reflejado en la tasa de infiltración medida.

Es muy importante no finalizar la experiencia si antes no se ha alcanzado una tasa de infiltración constante.

6.- Por último cabe señalar que la tasa de infiltración puede sufrir variaciones estacionales como consecuencia de cambios en la composición del agua o en su temperatura, en el crecimiento de la vegetación, etc.

Colocación, llenado de agua y toma de medidas

Es muy importante realizar estas tres operaciones sin alterar el suelo. No se debe cambiar su porosidad natural. Puesto que los factores determinantes de la capacidad de absorción de los suelos son múltiples y fáciles de modificar es conveniente actuar siguiendo una serie de normas básicas:

1.- Colocar los anillos sobre la ubicación elegida comprobando que no queden ni piedras ni raíces bajo el filo de ninguno de los ellos; puedan deformar los aros con facilidad.

2.- Asegurarse de que el cilindro interior esté totalmente centrado del exterior.

3.- Clavar los cilindros en el suelo a igual profundidad en todo su perímetro, y hacerlo además al mismo tiempo. Los anillos ladeados o que no han sido introducidos de forma homogénea presentan mayor riesgo de sufrir fugas de agua.

4.- Clavados los anillos comenzar a llenar cuidadosamente de agua ambos anillos, empezando siempre por el exterior.

Resulta muy conveniente “tapizar” el suelo de, al menos, el anillo central con arena gruesa, grava o algún tipo de plástico. De esta forma se evitará que el impacto directo del agua sobre el suelo desnudo provoque la desagregación de las partículas y el sellado de los poros.

5.- Comprobar que no existan fugas de agua provocadas por la presencia de piedras o raicillas, si hubiera alguna, tápala con el mismo barro de alrededor.

6.- Mantener constante el nivel del agua, durante toda la experiencia deberás utilizar algún tipo de dispositivo dispensador del agua.

7.- Intentar mantener el mismo nivel del agua en el interior de ambos anillos. Como norma general el llenado inicial no debe sobrepasar los 10 cm, y tampoco debes dejar que el nivel descienda a menos de 5 cm. Si el nivel en el anillo exterior es mayor que en cilindro central el agua tenderá a penetrar desde el suelo produciéndose errores de lectura.

8.- Realizar las medidas a intervalos regulares, ya sea de tiempo o de descenso de la lámina de agua en el interior del cilindro; de este modo es más fácil identificar cuándo la tasa de absorción permanece constante.

9.- Una vez alcanzada la tasa de infiltración constante, continuar las medidas hasta tener la absoluta certeza de que el agua está circulando por un mismo horizonte.

10.- Debido a la elevada variabilidad de los suelos y a los posibles errores asociados al método será necesario realizar más de una medida (Fig. 04); en cualquier caso, para estar seguros de que todos resultados de las pruebas son correctos deberán contrastarse con otras propiedades del suelo determinantes del movimiento del agua en el suelo como la textura, la estructura, el contenido en materia orgánica, etc.

Como se ve en la tabla anterior se ha considerado hacer un total de 10 puntos de muestreo, de la cuales 2 pertenecen a Purmas y Cultivos intensivos debido a que posee más área (22,2%) respecto a las demás. En Bosque Secundario, Centros Poblados, Cuerpos de Agua, Pastos y Sistema Agroforestal, no se consideró muestrear debido a que son el grupo con menor área del total (menos del 5%). Una vez obtenido la cantidad de puntos de muestreo por uso actual del suelo, se elaboró la siguiente tabla de ubicación de los 30 ensayos de infiltración.

Distribución de la ubicación de los 30 ensayos de infiltración en las áreas de intervención para reforestación Cumbaza.

PUNTO DE MUESTRO	CODIGO	USO ACTUAL DE SUELO - ZEE CUMBAZA	N° ENSAYOS DE INFILTRACIÓN	UBICACIÓN UTM WGS 84	
				ESTE	NORTE
1	CE-BST	Cultivos Estacionales en BST	1	346068,35	9278202,40
			2	346078,40	9278207,96
			3	346066,50	9278192,48
2	CIBR	Cultivos Intensivos Bajo Riego	4	345999,03	9280736,19
			5	346004,65	9280745,62
			6	345990,76	9280733,38
3	PUC	Producción de uva y cacao	7	342396,85	9289061,58
			8	342405,90	9289063,80
			9	342384,63	9289067,46
4	PCI	Purmas y Cultivos Intensivos	10	335960,53	9287064,62
			11	335969,63	9287064,61
			12	335956,93	9287058,04
5	PCI	Purmas y Cultivos Intensivos	13	355629,94	9278561,52
			14	355619,68	9278560,20
			15	355614,39	9278555,24
6	PCR	Purmas y cultivos Rotativos	16	336500,16	9295297,76
			17	336502,15	9295311,25
			18	336510,48	9295292,60
7	ZD	Zonas Degradadas	19	338895,39	9288263,02
			20	338903,31	9288255,66
			21	338908,09	9288259,52
8	BP	Bosques Primario	22	355988,39	9285828,12
			23	355993,31	9285837,65
			24	355986,64	9285819,23
9	FPGC	Frente Productivo Ganadero y cafetalero	25	330276,83	9298415,63
			26	330283,98	9298420,39
			27	330282,39	9298434,15
10	FPGAD	Frente Productivo Ganadero y Agricultura	28	355445,10	9271510,72
			29	355438,16	9271520,64
			30	355443,78	9271533,21

Fuente: Elaboración propia, 2017.

RESULTADOS

Áreas potenciales a Reforestar

Las áreas de intervención y potenciales a reforestar son las áreas consideradas en el proyecto que suma a 3 14,04 ha, para la recuperación del servicio de regulación hídrica y control de la erosión del suelo.

Uso actual del suelo de intervención para reforestación del PIP

Cobertura del Suelo en Áreas de Intervención del PIP Cumbaza		
Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %
Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9
Producción de Uva y cacao	366,7	11,6
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7
Zonas Degradadas	143,9	4,6
Bosque Primario	189,6	6,0
Bosque Secundario	79,3	2,5
Centros Poblados	4,7	0,1
Cuerpos de Agua	10,4	0,3
Pastos	11,8	0,4
Sistemas Agroforestales	27,5	0,9
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	6,9
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	12,5
TOTAL	3148,04	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2017

*La data sobre el uso actual de esas áreas se recoge de la ZEE San Martín ya que están fuera del límite de la cuenca y por tal la ZEE Cumbaza no tiene esa información.

Determinación de la pérdida de escorrentía por infiltración a través del Número de Curva (NC)

La ZEE del Cumbaza cuenta con la Clasificación de Uso Actual del Suelo (cobertura) de tal manera que se agrupó las 3148,04 ha en 14 usos, y con la ayuda de la Tabla N° 04 se determinó el Número de curva en la siguiente tabla.

DETERMINACION DE NUMERO DE CURVA (NC)				
Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	Área %	Área (m2)	NC
Cultivos Estacionales en BST	424,5	13,5	4245000	82
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	6,9	2166000	82
Producción de Uva y cacao	366,7	11,6	3667000	82
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	22,2	6975400	71
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	11,7	3668000	71
Zonas Degradadas	143,9	4,6	1439000	52
Bosque Primario	189,6	6,0	1896000	42
Bosque Secundario	79,3	2,5	793000	43
Centros Poblados	4,7	0,1	47000	22
Cuerpos de Agua	10,4	0,3	104000	11
Pastos	11,8	0,4	118000	81
Sistemas Agroforestales	27,5	0,9	275000	52
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	6,9	2166000	82
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	12,5	3921000	82
TOTAL	3148,04	100,0	314804000	61.1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Una vez obtenido el Número de Curva, a partir de la ecuación 02, se calcula "S" que viene a ser la diferencia potencial máxima entre P y Q, que representa proporcionalmente la **pérdida de escorrentía por infiltración** (mm, 1 mm: 1 litro por metro cuadrado); y con este resultado podemos encontrar la Infiltración por cada clasificación en las áreas (3 148,04 ha = 31480400 m2) de intervención para reforestación del PIP Cumbaza.

Uso actual del Suelo - ZEE Cumbaza	Área (has)	NC	S(L/m2)	S(m3)
Cultivos Estacionales en BST	424,5	82	55,8	236684,6
Cultivos Intensivos Bajo Riego	216,6	82	55,8	120767,7
Producción de Uva y cacao	366,7	82	55,8	204457,6
Purmas y cultivos Intensivos	697,54	71	103,7	723673,2
Purmas y Cultivos Rotativos	366,8	71	103,7	380542,1
Zonas Degradadas	143,9	52	234,5	337390,2
Bosque Primario	189,6	42	350,8	665044,6
Bosque Secundario	79,3	43	336,7	267001,3
Centros Poblados	4,7	22	900,5	42325,6
Cuerpos de Agua	10,4	11	2055,1	213729,5
Pastos	11,8	81	59,6	7030,5
Sistemas Agroforestales	27,5	52	234,5	64476,9
Frente Productivo Ganadero y Cafetalero*	216,6	82	55,8	120767,7
Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada*	392,1	82	55,8	218619,7
TOTAL	3148,04	61.1	332,7	3,602,511,055

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cálculo de la Tasa de Infiltración del recurso hídrico por el Método de Anillos Muntz.

PUNTO DE MUESTRO	USO ACTUAL DE SUELO - ZEE CUMBAZA	N° ENSAYOS DE INFILTRACIÓN	UBICACIÓN UTM WGS 84		Tasa de Infiltración (F=cm/h)	Promedio (F=cm/h)
			ESTE	NORTE		
1	Cultivos Estacionales en BST	1	346068,35	9278202,40	11,2	11,0
		2	346078,40	9278207,96	10,5	
		3	346066,50	9278192,48	11,3	
2	Cultivos Intensivos Bajo Riego	4	345999,03	9280736,19	7,5	8,0
		5	346004,65	9280745,62	8,1	
		6	345990,76	9280733,38	8,3	
3	Producción de uva y cacao	7	342396,85	9289061,58	11,3	11,4
		8	342405,90	9289063,80	10,2	
		9	342384,63	9289067,46	12,6	
4	Purmas y Cultivos Intensivos	10	335960,53	9287064,62	1,3	3,2
		11	335969,63	9287064,61	6,6	
		12	335956,93	9287058,04	1,8	
5	Purmas y Cultivos Rotativos	13	355629,94	9278561,52	1,6	3,6
		14	355619,68	9278560,20	4,8	
		15	355614,39	9278555,24	4,5	
6	Zonas Degradadas	16	336500,16	9295297,76	1,3	2,9
		17	336502,15	9295311,25	4,2	
		18	336510,48	9295292,60	3,2	
7	Bosques Primario	19	338895,39	9288263,02	5,4	4,5
		20	338903,31	9288255,66	6,4	
		21	338908,09	9288259,52	1,8	
8	Frente Productivo Ganadero y Ganadero y	22	355988,39	9285828,12	14,1	13,8
		23	355993,31	9285837,65	14,5	
		24	355986,64	9285819,23	12,8	
9	Frente Productivo Ganadero y	25	330276,83	9298415,63	8,6	6,6
		26	330283,98	9298420,39	4,6	
		27	330282,39	9298434,15	6,7	
10	Frente Productivo Ganadero y	28	355445,10	9271510,72	8,4	7,2
		29	355438,16	9271520,64	9,1	
		30	355443,78	9271533,21	4,2	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

DISCUSION

Por acciones de reforestación en la vida útil del PIP, en el primer año, el Número de Curva permanecerá como en la actualidad. A partir del segundo año de ejecución del proyecto se proyecta un decrecimiento del 5% anual del NC en las áreas hasta el año 8, ya que las especies que se usarán para reforestar son especies de rápido

crecimiento entre 5 y 10 años, a partir de entonces el NC se mantendría estable.

Otro aspecto importante a considerar es que el método SCS prioriza el resultado de la Escorrentía Directa o Precipitación Efectiva, es por ello que S es un valor teórico que los autores que lo formularon recomiendan no alterar la ecuación. Es por ello que el Valor S depende directamente del Número de Curva y la vez ésta misma, de la cobertura del suelo, pendiente entre otros. Pero para motivos del PIP, el servicio ecosistémico de regulación hídrica presenta dos aspectos importantes: el volumen de agua que “se produce” y que está en función del balance entre la precipitación y la evaporación, y la regulación hídrica, que está relacionada al almacenamiento (infiltración). Este último aspecto es el que nos proporciona, en mayor o menor grado, un caudal relativamente constante, a pesar de la entrada irregular de la precipitación. A mayor capacidad de regulación, mayores serán los caudales base, y mayor será el tiempo que el cauce se mantiene con agua antes de llegar a secarse.

Los suelos con cultivos intensivos, rotativos y purmas presentaron las menores tasas de infiltración y alcanzaron un tiempo mayor en comparación con las demás. Esto se debe a que presentan una cobertura vegetal constituida mayormente por gramíneas del tipo pajonal que forman capas gruesas y altas, con hojas punzocortantes cuando están maduras, asociadas a gramíneas pegadas al piso tipo césped, usados para el pastoreo de ganado en forma continua y simultánea, sin ningún criterio técnico; donde se practica comúnmente quema del pajonal con la finalidad de aprovechar los rebrotes; dichas prácticas reduce la tasa de infiltración en estas tierras ya que se debilita la estructura y se obstruyen los poros por la carga animal y la quema.

CONCLUSIONES

El parámetro hidrológico del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, NC, está en función de distintas variables relacionadas con las características físicas de la cuenca, para resultados más confiables es necesario trabajar a nivel de toda el área de la cuenca, no hay estudios sobre infiltración en solo determinadas áreas de una cuenca, ya que toda el área en general influencia en la infiltración y la determinación de caudales (oferta hídrica).

La infiltración actual en las áreas de intervención por reforestación es de 3602511,055 m³ por precipitación (Tabla N° 10). Para los siguientes años de ejecución del PIP aumentarían por la reforestación y buenas prácticas de uso del suelo, ya que las propiedades del suelo como la densidad aparente y la humedad gravimétrica son variables que influyen directa e inversamente sobre la tasa de infiltración.

En la Tabla N° 11 se presenta las tasas medias de infiltración según el tipo de uso actual del suelo, son los suelos con cultivos estacionales en BST, producción de uva y cacao y bosque primarios alcanzan valores más altos con 11, 11,4 y 13,8 cm/h respectivamente. Los suelos con bosques presentan una rápida infiltración, debido a que las plantaciones instaladas han mejorado la estructura del suelo facilitando el movimiento del agua dentro de él. Así también, la presencia de capas de hojarasca sobre la superficie del suelo del bosque retarda el escurrimiento superficial y proporciona más tiempo para la infiltración.

Incluso cuando el objetivo principal de la reforestación no es la conservación de los recursos hídricos, los datos recabados en este estudio demuestran que los árboles

plantados tienen un efecto positivo sobre la tasa de infiltración. Esto también contribuye a la reducción de la erosión hídrica y del riesgo potencial de inundaciones en las partes bajas, todas estas son problemáticas comunes de las cuencas amazónicas de nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (1999). El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración. Tercera edición. Caracas – Venezuela: Editorial Episteme, C.A.

Barbeito, O. y Ambrosino, S. 1999. Evaluación Geomorfológica de la amenaza por crecientes repentina. En Gonzalez M.A. y Bejerman N.J. (eds.) Libro Peligrosidad Geológica en Argentina, Metodología de análisis y Mapeo, Estudio de casos, ASAGAI, Publicación Especial 4: 272-279, Buenos Aires

Bergkamp, G., Orlando, B. and Burton, I. (2003). Change. Adaptation of Water Management to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 53 pp.

Bonell, M. 1998. Possible impacts of climate variability and change on tropical forest hydrology. In. 1998. Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems. Springer. p. 75-132

Bruijnzeel, L.A. (1990). Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review. Humid Tropics Programme, IHP-UNESCO.

Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? Agriculture, ecosystems & environment 104(1): 185-228.

Calder, I.R. 2002. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions Land Use and Water Resources Research 2(2): 1-12.

Desoky, M.S. 2011. Impact of land-use and land-management on the water infiltration capacity of soils on a catchment scale Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina. 184 p.

Dripps, W.; Anderson, M.P.; Potter, K.W. 2001. Temporal and spatial variability of natural groundwater recharge, University of Wisconsin Water Resources Institute.

FAO. 1999. The Contribution of Blue Water and Green Water to the Multifunctional Character of Agriculture and Land. Background Paper 6:

FAO. 2003. Sustainable use and management of freshwater resources: the role of forests, in Sustainable use and management of freshwater resources: the role of forests (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/y7581e/y7581e09.htm>

FAO. 2013. Forests and water international momentum and action Rome, 84 p. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/017/i3129e/i3129e.pdf>

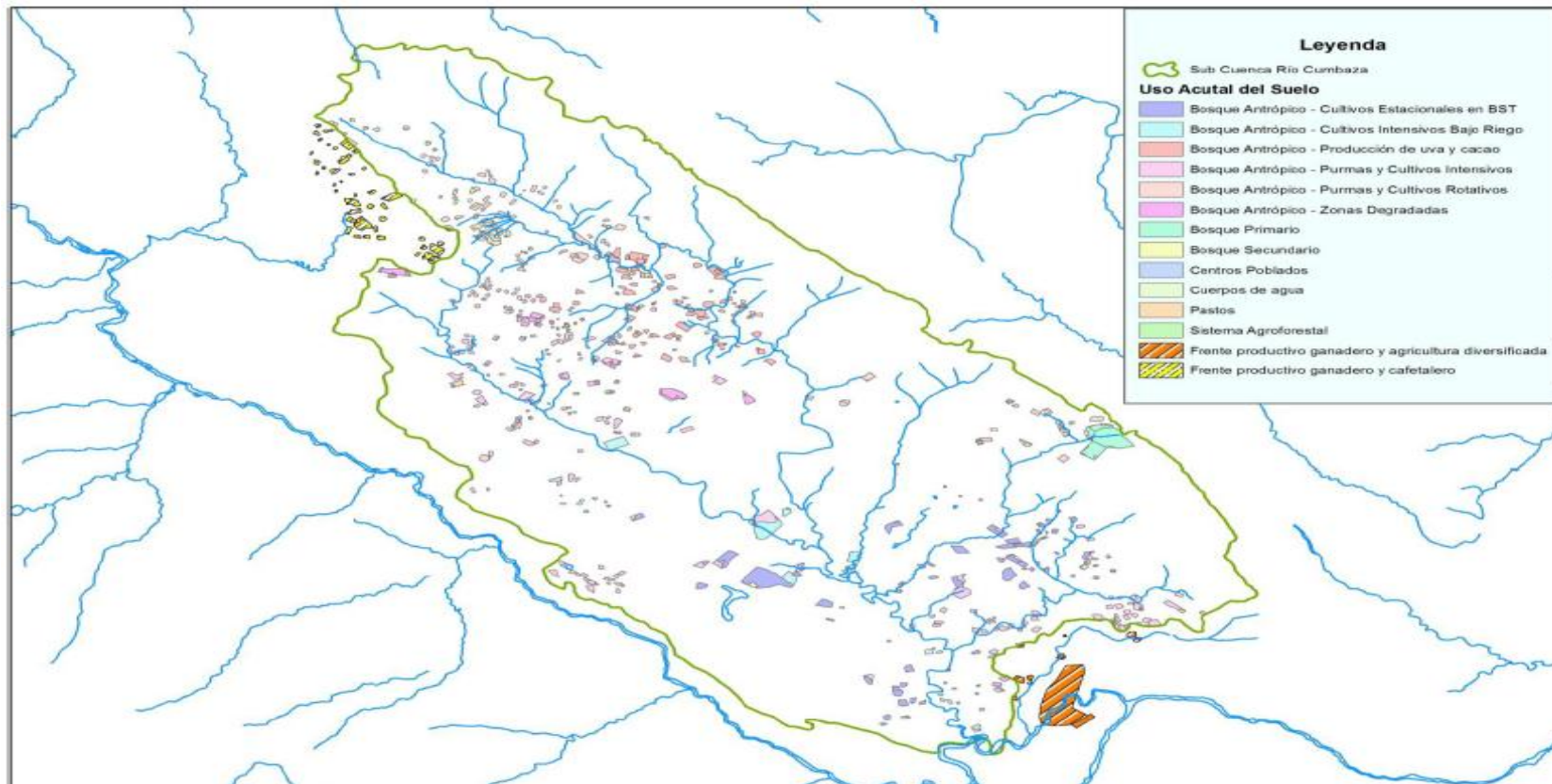
Fu, B.; Chen, L.; Ma, K.; Zhou, H.; Wang, J. 2000. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China Catena 39(1): 69-78.

Gómez, G.C. 2014. "Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la

- subcuenca del río Shullcas. Universidad Continental, México.
- Hamilton, L.S.; King, P.N.; Center, E.-W. 1983. Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses or conversions, Westview Press Boulder.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2003). Metodología de la Investigación. 3ra. Edición. México. Mc. Graw Hill.
- HEWLETT. 1992. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal Hydrol.* 55:3-23
- Ilstedt, U. 2002. Soil Degradation and Rehabilitation in Humid Tropical Forests, (Sabah, Malaysia). Department of Forest Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.
- Ilstedt, U.; Malmer, A.; Nordgren, A.; Liau, P. 2004. Soil rehabilitation following tractor logging: early results on amendments and tilling in a second rotation *Acacia mangium* plantation in Sabah, Malaysia *Forest Ecology and Management* 194(1): 215-222.
- Ilstedt, U.; Malmer, A.; Verbeeten, E.; Murdiyarto, D. 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis *Forest Ecology and Management* 251(1): 45-51.
- Jorge H. 2002. Uso y cobertura actual del suelo, índice de protección hidrológica y flora. T.P. 13048 de Minagricultura, Ibagué, Colombia.
- Le Maitre, D.; Scott, D.; Colvin, C. 1999. Review of information on interactions between vegetation and groundwater *Water SA* 25(2): 137-152. <http://hdl.handle.net/10204/524>
- Manson, R. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1): 3–20.
- Mapa, R.B. 1995. Effect of reforestation using *Tectona grandis* on infiltration and soil water retention *Forest Ecology and Management* 77(1): 119-125.
- MARCANO, J. 2011 Importancia de los Bosques: El Agua. Página de internet <http://www.jmarcano.com/bosques/importancia/agua.html> Consulta septiembre 2016
- Mejía, N. 2014. "Efectos de la reforestación sobre la infiltración de agua en la microrregión hidrográfica Balalaica, Turrialba, Costa Rica". Departamento de Investigación Forestal Aplicada ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras CATIE 2-7170 30 501 Turrialba, Costa Rica.

ANEXOS

1. Mapa de uso actual del suelo (3,148.04 ha)



2. Ensayos de Infiltración

Figura N° 07: Elección y ubicación de los Anillos Muntz. Frente Productivo Ganadero y Cafetalero (UTM 330276.83, 9298415.63).



Figura N° 08: Llenado de agua y toma de medidas (UTM 330276.83, 9298415.63).



Figura N° 09: Llenado de agua y toma de medidas. Zonas Degradas (UTM 338895.39, 9288263.02).



Figura N° 10: Realización de medidas a intervalos regulares. Zonas Degradas (UTM 338895.39, 9288263.02)



Figura N° 11: Llenado de agua y toma de medidas. Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada (UTM 355443.78, 9271533.21).



Figura N° 12: Elección y ubicación de los Anillos Muntz. Frente Productivo Ganadero y Agricultura Diversificada (UTM 355443.78, 9271533.21).

