



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación sobre un sistema fluvial en el Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:

Mena Bailón Beatriz Carolina

DIRECTOR DE TESIS: DR. GERARDO CRUZ FLORES

ASESOR: M. en C. ELOISA ADRIANA GUERRA HERNÁNDEZ



Ciudad de México, Diciembre de 2018

PROYECTO PAPIME-PE 215016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"
DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.**

Comunico a usted que la alumna **MENA BAILÓN BEATRIZ CAROLINA**, con número de cuenta **308224829**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **04 de diciembre de 2018** a las **17:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE Biól. ELVIA GARCÍA SANTOS

VOCAL Dr. GERARDO CRUZ FLORES

SECRETARIO M. en C. ELOISA ADRIANA GUERRA HERNÁNDEZ

SUPLENTE Dra. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ

SUPLENTE M. en C. ALMA BELLA LÓPEZ LÓPEZ

El título de la tesis que presenta es: **Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación sobre un sistema fluvial en el Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia.**

Opción de titulación: Tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad de México, a 15 de noviembre de 2018

DR. VICENTE JESÚS HERNÁNDEZ ABAD
DIRECTOR

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"
DIRECCIÓN



VÓ. BO.

M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

**“Lo que sabemos es una gota de agua, lo que ignoramos es
el océano”**

Isaac Newton

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de que el más grande sueño que tenía se volviera realidad, de abrazar todo el conocimiento que me pudo brindar durante casi toda mi vida, ayudarme a abrir mi mente y ser una mejor persona, **¡GRACIAS!**

A mi madre **Martha Bailón**, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado, darme todo el amor incondicional posible y estar siempre aquí conmigo.

Al **Dr. Gerardo Cruz Flores** por aceptarme en su equipo de trabajo en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, apoyarme en mi formación académica en la recta final de este proceso, por ser un gran maestro, una persona tan cálida y gentil, y sobre todo por ser mi amigo.

A la **M. en C. Eloisa Adriana Guerra Hernández**, por apoyarme en la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales **Biól. Elvia García Santos, Dra. Rosalva García Sanchez** y **M. en C. Alma Bella López López** por brindarme su valioso tiempo y sus aportes a mi trabajo.

A todos mis maestros que he tenido la oportunidad de ser testigo de su saber y compartir su conocimiento conmigo, y por ser parte de mi formación profesional en esta hermosa carrera.

A la Dirección General de Asuntos de Personal Académico por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo (**PAPIME-PE 215016**).

DEDICATORIAS

A mis padres, Martha Bailón y Martín Mena, por creer en mí en todo lo que puedo llegar a ser. A mis hermanos, César, Claudia, Angelica y Ana, por ser la mejor compañía en esta vida. A mis amigos de toda la vida, gracias por estar siempre para mí. A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal por hacer más ameno el trabajo.

A todas las personas que han estado conmigo en este largo camino, y que han sido parte de innumerables aventuras, sin ustedes no habría sido lo mismo.

“Lo más importante es siempre creer en uno mismo, pero una pequeña ayuda de los demás es una gran bendición”

-Iroh

ÍNDICE

Índice de Figuras	VIII
1. RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
2. INTRODUCCIÓN	1
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 Suelos	3
3.1.1 Propiedades Físicas	3
3.2 Infiltración	8
3.3 Vegetación	13
3.4 Ambientes ribereños	14
3.5 Análisis de la vegetación ribereña	16
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. SUPUESTOS E HIPÓTESIS	17
6. OBJETIVO	18
7. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
7.1 Suelos	21
7.2 Clima	23
7.3 Hidrografía	24
7.4 Vegetación	24
8. MÉTODO	27
8.1 Delimitación de la zona de estudio y muestreo	27
8.3 Determinación de la velocidad de infiltración	31
8.4 Determinación del estado de la vegetación.	33
8.5 Análisis en laboratorio	33
8.6 Análisis estadísticos	35
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
9.1 Cascada La Ranita: sitio altitudinal uno (3962 msnm)	38

9.2 Buenavista: sitio altitudinal dos (3309 msnm)	41
9.3 Santiago Xalitziñtla: sitio altitudinal tres (2679 msnm)	44
9.4 San Nicolás de los Ranchos: sitio altitudinal cuatro (2419 m snm)	46
9.5 Propiedades físicas y químicas de los suelos ribereños	48
9.6 Velocidad de Infiltración en suelos ribereños	61
9.7 Grado de perturbación de la Vegetación (Índice QBR)	68
10. CONCLUSIONES	74
11. BIBLIOGRAFÍA	76
11.1 Páginas web	83
ANEXO I	85
ANEXO II	88
ANEXO III	91

Índice de Figuras

FIGURA 1. Clasificación del suelo de acuerdo a su textura	4
FIGURA 2. Curvas de infiltracion según la textura del suelo	4
FIGURA 3. Proceso de infiltración y los diferentes tipos de escorrentía y evapotranspiración en la vegetación	8
FIGURA 4. Relación de la vegetación y la erosión hídrica	14
FIGURA 5. Representación de una zona ribereña	15
FIGURA 6. Mapa donde se muestra la ubicación espacial del Parque Nacional Izta-Popo en el centro del país	20
FIGURA 7. Franjas de vegetacion dependiendo de la altitud. Esquema de las franjas ecológicas y su vegetación característica	25
FIGURA 8. Posición espacial y la unión de los sitios por el afluente de régimen permanente que se tomaron en el estudio	28
FIGURA 9. Diagrama para el muestreo de suelo e infiltración de agua.	29
FIGURA 10. Muestreo de campo. Toma de muestra de suelo (a). Determinación de parámetros generales (b).	30
FIGURA 11. Medición del proceso de infiltración en dos sistemas vegetales diferentes; a) sistema forestal, b) parcela de cultivo.	31
FIGURA 12. Representación de mecanismo del infitrometro de doble anillo.	32
FIGURA 13. Métodos realizados en el laboratorio. Determinacion de Textura (a, c y e); determinación de M.O (b); pH (d).	33
FIGURA 14. Diagrama de flujo e las actividades realizadas en el presente estudio.	36
FIGURA 15. localización espacial del sitio Cascada La Ranita	38
FIGURA 16. Vista panorámica del sitio (autor).	39
FIGURA 17. Cascada La Ranita (arriba) y la vegetación predominante, Zacatonal Montano (abajo).	40
FIGURA 18. Localiación espacial del sitio Buenavista	41
FIGURA 19. Caídas de árboles sobre el trayecto del río (arriba) aspecto general del río (abajo).	42

FIGURA 20. Buenavista. Avistamiento del río y de la vegetación que lo rodea.	43
FIGURA 21. Localización y vista espacial del sitio Santiago Xalitzintla	44
FIGURA 22. Aparición de un camino en úmbria impidiendo el muestro posterior (arriba). Apariencia del afluente en Santiago Xalitzintla (abajo).	45
FIGURA 23. Localización y vista espacial del sitio San Nicolás de los Ranchos	46
FIGURA 24. San Nicolás de los Ranchos, apariencia de ambas exposiciones y vegetación presente.	47
FIGURA 25. Porcentaje de MOS en los suelos estudiados. Distancias ; 5S = solana a 5 m de amplitud del río; 1S = solana a 1 m de amplitud del río; 1U = úmbria a 1 m de amplitud del río; 5U = úmbria a 5 m de amplitud del río.	50
FIGURA 26. Distribución de los datos del porcentaje materia orgánica. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás.	51
FIGURA 27. Valores de densidad real (DR) , densidad aparente (DA) y materia orgánica del suelo (MOS). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.	52
FIGURA 28. Relación del pH y el espacio poroso (EP). CLR: Cascada la Ranita; BV: Buenavista; SX: Santiago Xalitzintla; SN: San Nicolás.	53
FIGURA 29. Porcentajes de Humedad del suelo (PHumS) y Espacio Poroso (EP). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.	54
FIGURA 30. Conductividad eléctrica y pH en el suelo estudiado. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.	55
FIGURA 31. Porcentaje de las fracciones minerales y el contenido de MOS en los suelos de los 4 sitios del estudio. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.	56
FIGURA 32. Agua higroscópica en los suelos del estudio, mostrando las diferencias que se encontraron en las amplitudes y exposiciones solares. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás.	58
FIGURA 33. Porcentajes de agua capilar en el suelo de los sitios. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos. 1 m S= 1 metro de amplitud en ladera solana; 5 m S= 5 metros de amplitud en ladera solana; 1 m U= 1 metro de amplitud en ladera umbría; 5 m U= 5 metros de amplitud en ladera umbría.	59
FIGURA 34. Porcentajes de agua capilar en el suelo de los sitios. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos. 1 m S= 1 metro de	

amplitud en ladera solana; 5 m S= 5 metros de amplitud en ladera solana; 1 m U= 1 metro de amplitud en ladera umbría; 5 m U= 5 metros de amplitud en ladera umbría. 59

FIGURA 35. Relación de los cuatro parametros Agua Higroscópica (AH), Agua Capilar (AC), Materia Orgánica del Suelo (MOS), Capacidad de Campo (CC) y Arcilla. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN=San Nicolás de los Ranchos. 60

FIGURA 36. Gráfico de las infiltraciones en La Cascada La Ranita en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río. 62

FIGURA 37. Gráfico de las infiltraciones en Buenavista en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río. 63

FIGURA 38. Gráfico de las infiltraciones en Santiago Xalitzintla en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río 64

FIGURA 39. Gráfico de las infiltraciones en San Nicolás de los Ranchos en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río. 65

FIGURA 40. Promedios totales de las infiltraciones del estudio en solana y umbría. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos. 66

FIGURA 41. Puntuaciones obtenidas del índice QBR en la calidad de la vegetación raparia, en las exposiciones de Solana y Umbría. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolas de los Ranchos. 68

FIGURA 42. Estado de la vegetación según el Índice QBR (Google Earth, 2017). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolas de los Ranchos. 72

Índice de Cuadros

CUADRO 1. Tasas de infiltración para diferentes texturas de suelos	5
CUADRO 2. Relación general entre la densidad aparente del suelo y crecimiento radical, en base a la textura del suelo	6
CUADRO 3. Sistema de clasificación climática de Köeppen, modificada por Enriqueta García	23
CUADRO 4. Los diferentes tipos de vegetación y el área que ocupan dentro del Parque Nacional Izta-Popo	26
CUADRO 5. Nombres asignados para los sitios de estudio con los datos espaciales	27
CUADRO 6. Los principales parámetros que se midieron en el estudio	34
CUADRO 7 . Aspectos generales de los sitios de muestreos	37
CUADRO 8. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo	48
CUADRO 9. Valores de materia orgánica en suelos volcanicos y no volcánicos	49
CUADRO 10. Promedios de las medidas de infiltración en cada estación	61
CUADRO 11. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Cascada la Ranita en umbría y solana	69
CUADRO 12. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Buenavista en umbría y solana	70
CUADRO 13. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Santiago Xalinzintla en umbría y solana	71
CUADRO 14. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio San Nicolás de los Ranchos en umbría y solana	72

1. RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de evaluar tanto la infiltración de agua en suelos ribereños con diferente tipo de vegetación y uso de suelo como las propiedades físicas (densidad real, densidad aparente, textura, % de espacio poroso) y químicas (materia orgánica) que influyen en la infiltración.

Se estudiaron cuatro sitios: Cascada La Ranita, Buenavista, Santiago Xalitziñtla y San Nicolás de los Ranchos. En cada uno se realizó su caracterización ecológica y para la determinación de parámetros físicos y químicos en Laboratorio, se delimitaron transecto de 30 m de largo y 10 m de amplitud, tomando muestras de suelo a 0 m, 15 m y 30 m en amplitudes de 1 m y 5 m. Las mediciones de infiltración, se realizaron a 15 m sobre el transecto a dos distancias de amplitud, 1 m y 5 m, tanto en umbría como en solana. Para evaluar grado de perturbación de la vegetación se empleo el índice de calidad de bosque de ribera (QBR). Con los resultados de los análisis de campo y laboratorio se realizaron pruebas estadísticas de correlación de Pearson, análisis de varianza y de comparación de medias de Tukey.

El sitio Cascada La Ranita, a 3962 m snm presenta uso de suelo Forestal y el zacatonal montano (géneros *Festuca sp* y *Muhlenbergia sp*) que domina el paisaje con presencia de Bosque de pino (*Pinus hartwegii*) en laderas altas de ambas exposiciones. El suelo es clasificado como Andosol vítrico, con clase textural Arena Franca, 8.14% de materia orgánica, DA 1.5 g/cm³, y 29.4 % de espacio poroso. Es un humedal natural con arroyo somero, intermitentemente subterráneo, donador de agua, el índice QBR indica una excelente calidad vegetativa, con categoría AZUL. El sitio Buenavista a 3300 m snm con uso de suelo Forestal ecoturístico, con presencia de alta densidad de coníferas, arbustos y herbáceas, tiene como dominante a *Pinus hartwegii* y algunos individuos de *Abies religiosa*. La clase del suelo reportado es Andosol vítrico, material parental de andesitas. Su clasificación textural arena franca, 7.96% de materia orgánica, DA de 0.78 g/cm³ y 62.61 % de espacio poroso. El índice QBR indica que es “Bosque ligeramente perturbado, calidad buena” con categoría VERDE. Santiago Xalitziñtla se ubica a 2679 m snm, el uso de suelo es agrícola forestal, el sitio esta rodeado por cultivos de maíz principalmente. A lo largo del cauce se conserva una franja de vegetación donde se encuentra *Salvia elegans*, *Senecio sp.*, *Salix sp.*, *Geranium sp.*, *Alchemilla sp.*, algunos helechos de dos género *Asplenium sp.* y *Cheilanthes sp.* Se clasificó el suelo como fluvisol mólico, con material parental riolita y andesita. La textura de arena franca, y 3.2 % de materia orgánica, DA 0.83 g/cm³ y 64 % de espacio poroso. El índice QBR indica que hay “Inicio de alteración importante, calidad intermedia” con categoría AMARILLA. San Nicolás de los Ranchos, sitio más bajo, ubicado a 2419 m snm, con uso de suelo agrícola urbano. La vegetación es relicto de Bosque de Encino y domina la vegetación secundaria, predominan especies oportunistas ruderales, y a los alrededores están parcelas de cultivo, principalmente de maíz y haba, y algunos árboles frutales introducidos. Tiene un suelo de tipo fluvisol háplico, de material geológico Riolita con tipo textural arena franca, 3.16 % de materia orgánica, DA 1.2 g cm³ y 48.17 % de espacio poroso. El índice QBR asigna el color NARANJA en lado de solana, que significa “Alteración fuerte, mala calidad”, y ROJO en umbría “Degradación extrema, pésima calidad”.

La infiltración mínima de agua en exposición Solana fue de 192.2 cm³/h en Cascada la Ranita y la máxima de 4697.12 cm³/h en Santiago Xalitziñtla. Respecto a umbría la infiltración min fue de 126.5 cm³ en CLR y la máxima de 2731.9 cm³/h en SX. Los suelos de uso Forestal-agrícola, como los de Santiago Xalitziñtla, tuvieron mayor tasa de infiltración de agua, pero también retienen menos agua. Cascada La Ranita y Buenavista con vegetación forestal y como sitios más conservados, poseen menores tasas de infiltración al compararse con Santiago Xalitziñtla y San Nicolás, que presentaron tasas altas de infiltración, debido a la humedad, la vegetación ribereña y las propiedades físicas y químicas de cada sitio.

La infiltración mostró correlación negativa significativa con, porcentaje de humedad en el suelo ($r = -0.718$, $p \leq 0.0001$); contenidos de arcillas en el suelo ($r = 0.658$, $p \leq 0.0007$); con DR ($r = -0.5309$, $p = 0.0005$), con DA ($r = 0.5134$, $p = 0.002$) y con el EP ($r = 0.6913$, $p \leq 0.0001$).

ABSTRACT

The study was conducted with the objective of evaluating both the infiltration of water in riverside soils with different types of vegetation and land use as well as physical properties (real density, apparent density, texture, % of porous space) and chemical (organic matter) that influence infiltration.

Four sites were studied: Cascada La Ranita, Buenavista, Santiago Xalitziñtla and San Nicolás de los Ranchos. In each one, an ecological characterization was carried out and for the determination of physical and chemical parameters in the Laboratory, a transect of 30 m long and 10 m wide was delimited, taking soil samples at 0 m, 15 m and 30 m in amplitudes of 1 m and 5 m. Infiltration measurements were performed at 15 m on the transect at two amplitude distances, 1 m and 5 m, both in north-facing and south-facing. To assess the degree of disturbance of the vegetation, the riparian forest quality index (QBR) was used. With the results of the field and laboratory analyzes, statistical tests of Pearson correlation, analysis of variance and comparison of average of Tukey were performed.

The Cascada La Ranita site, at 3962 m above sea level, presents the use of forest land and the montane zacatonal (genera *Festuca sp.* and *Muhlenbergia sp.*) dominating the landscape with the presence of pine forest (*Pinus hartwegii*) on the upper slopes of both exhibitions. The soil is classified as a vitric andosol, with a textural class of sandy loam, 8.14% of organic matter, AD 1.5 g cm⁻³, and 29.4% of porous space. It is a natural wetland with shallow stream, intermittently underground, donor of water, the QBR index indicates an excellent vegetative quality, with a BLUE category. The Buenavista site at 3300 m above sea level with ecotourist forest land use, with a high density of conifers, shrubs and herbaceous plants, dominates *Pinus hartwegii* and some individuals of *Abies religiosa*. The class of the soil reported is vitric andosol, parental material of andesites. Its textural classification sandy loam, 7.96% of organic matter, AD of 0.78 g cm⁻³ and 62.61% of porous space. The QBR index indicates that it is a "slightly disturbed forest, good quality" with GREEN category. Santiago Xalitziñtla is located at 2679 m asl, these site presents agricultural forest as land use, and it is surrounded by corn crops mainly. Along the riverbed there is a strip of vegetation where *Salvia elegans*, *Senecio sp.*, *Salix sp.*, *Geranium sp.*, *Alchemilla sp.*, some ferns of two genus *Asplenium sp.* and *Cheilanthes sp.* The soil was classified as mollic fluvisol, with rhyolite and andesite parent material. The texture of free sand, and 3.2% of organic matter, AD 0.83 g cm⁻³ and 64% of porous space. The QBR index indicates that there is "Start of a significant alteration, intermediate quality" with YELLOW category. San Nicolás de los Ranchos, lowest site, located at 2419 m asl, with use of urban agricultural land. The vegetation is relict of Bosque de Encino and dominates the secondary vegetation, opportunistic ruderal species predominate, and in the surroundings there are plots of crop, mainly of corn and bean, and some fruit trees introduced. It has a háplico fluvisol type soil, Ríolita geological material with sandy loam textural type, 3.16% organic matter, AD 1.2 g cm⁻³ and 48.17% porous space. The QBR index assigns the color ORANGE on the south-facing, which means "Strong alteration, poor quality", and RED on north-facing "Extreme degradation, terrible quality".

The minimal infiltration of water in south-facing exposure was 192.2 cm³ / h in Cascada la Ranita and the maximum of 4697.12 cm³ / h in Santiago Xalitziñtla. Regarding north-facing, the minimal infiltration was 126.5 cm³ / h in CLR and the maximum of 2731.9 cm³ / h in SX. Soils of forest-agricultural use, such as those of Santiago Xalitziñtla, had a higher rate of water infiltration, but they also retain less water. Cascada La Ranita and Buenavista with forest vegetation and as more conserved sites, have lower infiltration rates when compared with Santiago Xalitziñtla and San Nicolás, which showed high rates of infiltration, due to humidity, riparian vegetation and the physical and chemical properties of each site.

Infiltration showed a significant negative correlation with, soil moisture percentage ($r = -0.718$, $p < 0.0001$); clay content in the soil ($r = 0.658$, $p < 0.0007$); with RD ($r = -0.5309$, $p = 0.0005$), with AD ($r = 0.5134$, $p = 0.002$) and with the PS ($r = 0.6913$, $p < 0.0001$).

2. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y orgánicos), líquidos y gases, sobre la superficie de los terrenos, presenta horizontes o capas, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones, y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en una ambiente natural (NOM-021-SEMARNAT-2000).

El agua y los gases contenidos en el suelo son porciones mutuamente excluyentes y complementarias que están asociadas a la porosidad del suelo, la cual deriva de los tipos de poros que se clasifican como poros no capilares y poros capilares. Los primeros no retienen fuertemente el agua por capilaridad después de la lluvia y están normalmente llenos de aire, mientras los segundos contienen el agua que queda después de que la mayor parte de desagüe libre se ha efectuado, se conoce como la capacidad de campo (Kramer, 1974; Lewis *et al.*, 2003). La mayoría de las características propias de los suelos influyen fuertemente en la infiltración, o entrada descendente del agua en ellos y es uno de los procesos más importantes del ciclo hidrológico en su fase edáfica. Durante la precipitación, el agua de lluvia se infiltra en el suelo a una velocidad máxima que depende de las características del suelo y de su grado de saturación (Chow *et al.*, 1994, citado en Zapata-Sierra y Manzano-Aguigliero, 2008). Cualquier precipitación que supere dicha velocidad máxima quedará sobre el suelo y podrá contribuir a la escorrentía. Estos dos fenómenos se ven afectados con la vegetación presente en dicho suelo.

México posee una gama diversa de climas y paisajes, en el centro del país los principales tipos de vegetación que dominan el paisaje de los sistemas montañosos son los bosques que como cobertura forestal son un recurso necesario para muchas funciones biológicas, químicas, físicas de los seres vivos por lo que intervienen en una interacción positiva con el agua en una necesidad mutua ya que sin bosque se pierde cantidad y calidad de agua y sin agua los bosques no pueden crecer porque a través de ella absorben nutrientes (Ortíz-Arrona *et al.*, 2005). Los ríos, lagos y cuerpo de agua en general, cumplen funciones esenciales para la preservación de los ecosistemas y las relaciones territoriales, teniendo una dependencia estrecha y recíproca con la vegetación ribereña.

Ésta última se reconoce como sistema vegetal cercano a cursos y cuerpos de agua, y es una transición entre hábitats terrestres y acuáticos en sus diferentes estratos verticales, incluido herbáceo. Weisberg *et al.*, (2013) dan cuenta del papel ecológico significativo que cumple esa vegetación en la conservación de los servicios ecosistémicos asociados a las riberas (Naiman, Allan & Guevara, citado en Romero *et al.*, 2014).

En general las corrientes superficiales de las regiones de clima húmedo se han originado en alta montaña, sitios donde ocurre la formación de más del 50% de los ríos del mundo, por una parte debido a la fusión de los glaciares y por otro lado, a las aguas que se mueven libremente pendiente abajo, abriendo algunas veces surcos, en las zonas altas los cuales se hacen profundos y llegan a convertirse en ríos intermitentes que corren durante las lluvias y a los cuales se les da el nombre de torrentes y cañadas. Como el proceso de la erosión se produce durante cada período de lluvias, algunos torrentes profundizan su cauce hasta alcanzar la zona de saturación permanente de las aguas subterráneas y, al ser alimentados por estas, los torrentes se convierten en corrientes constantes o ríos (Marrero, 1960).

En México el estudio de los ecosistemas terrestres y acuáticos se ha tratado de forma independiente y pocas veces se considera su interacción en zonas ribereñas, que como ecosistemas naturales; limitan los márgenes fluviales, tienen un eficiente poder amortiguador que contribuye a la absorción y retención de elementos como nitrógeno y fósforo que son transportados por las escorrentías. El factor vegetación de las zonas ribereñas, es de suma importancia porque gracias a su cobertura, se atenúa la erosión del suelo, se mejora la infiltración, amortigua la temperatura del río, ayuda al ciclaje de nutrientes y aumenta la retención de carbono en forma de biomasa (Ceccon, 2003; Granados *et al.*, 2005).

La multifuncionalidad de los sistemas ribereños es ampliamente aceptada pero ha sido poco abordada en estudios ecológicos y edáficos porque son los factores edáficos los que fuertemente influyen en la infiltración. Esta situación es la que motiva a la realización de éste estudio que consiste en la evaluación de la capacidad de los suelos para permitir la infiltración de agua, pluvial o glacial, relacionándola con las propiedades físicas y químicas de suelos adyacentes a arroyos de régimen permanente en un sistema hidrológico descendente sobre un gradiente altitudinal que recorre sitios con distintos tipos de vegetación y que tiene la finalidad de

determinar la calidad actual en términos hidrológicos de regiones ribereñas del Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Suelos

El suelo es un recurso no renovable y es el sistema clave para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres debido a las importantes funciones que cumple como: reciclar nutrientes, transferir energía, almacenar y liberar agua, etc. (Larson y Pierce, 1991, citado en Figueroa, 2017).

El suelo se compone de cuatro fracciones: Las partículas minerales, la materia orgánica no viviente, la disolución del suelo y el aire que ocupan los espacios porosos dentro del suelo. La buena calidad física y química del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, proporciona el anclaje que permite a las raíces sostener a las plantas en posición erecta, y actúa como depósito para el agua (Rojas, 2012). Gran parte del éxito de las plantas en cualquier región depende de lo adecuado del suelo como ámbito para el crecimiento y funcionamiento de las raíces.

3.1.1 Propiedades Físicas

Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad de un suelo para permitir en su seno el paso del agua, sin que dicho tránsito altere su estructura. Como regla general podemos considerar que a menor tamaño de partícula, menor permeabilidad, y para una granulometría semejante (arenas, por ejemplo) a mejor gradación, mayor permeabilidad. En cuanto al quimismo, en el caso de arcillas y limos, la presencia de ciertos cationes (sodio, potasio) es un factor que disminuye la permeabilidad en relación a otros (calcio, magnesio). El tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de infiltración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de percolación (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y número de poros guarda estrecha relación con la textura y la estructura del suelo (FAO, 2016).

Textura

La textura del suelo es una propiedad física que está relacionada con el tamaño de partículas minerales. Puntualmente es la proporción relativa de los diversos grupos de tamaños de partículas de un suelo que pueden separarse por medios químicos y mecánicos (Guerra-Hernández & Cruz-Flores, 2014). La textura se refiere al porcentaje en peso de cada una de las tres fracciones minerales; arena, limo y arcilla (Figura 1).

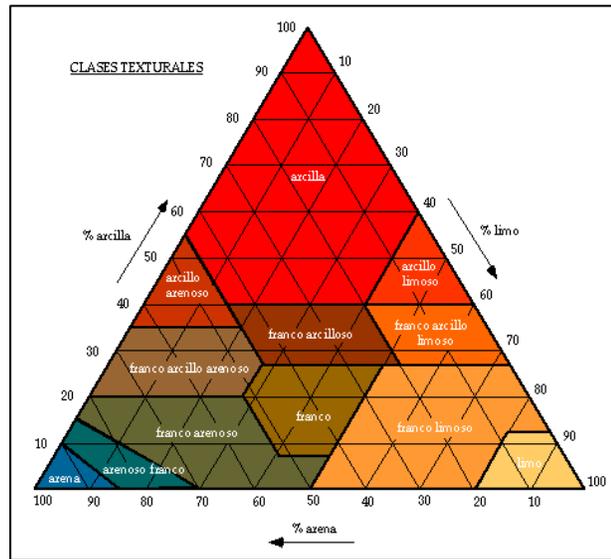


FIGURA 1. Clasificación del suelo de acuerdo a su textura (USDA, 2014).

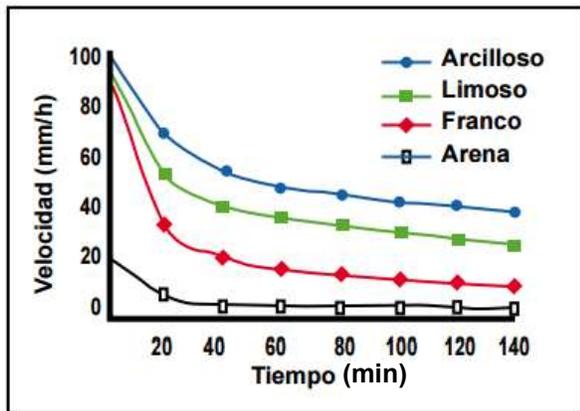


FIGURA 2. Curvas de infiltración según la textura del suelo (Pizarro *et al.*, 2005)

Entre las partículas del suelo las arcillas, junto con la materia orgánica, son importantes por su capacidad para almacenar agua y nutrientes, ya que su área superficial por unidad de masa es grande y está cargada eléctricamente de manera que los nutrientes y las moléculas de agua son retenidos y pueden ser utilizados por las plantas aunque, como desventaja, los suelos con alto contenido de arcillas tienen poca aireación. Las partículas grandes constituyen el esqueleto del

suelo a ellas se les deben la mayor parte de su peso ayudan a conseguir una buena aireación y permeabilidad. La textura como propiedad maestra del suelo, afecta directamente su estructura, porosidad y densidad (Jaramillo 2002; Cruz, 2006).

Al inicio de la infiltración de agua en el suelo seco la velocidad es alta, pero va disminuyendo paulatinamente en el tiempo (figura 2), o sea que si se aplica agua a determinada superficie del suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber el agua, y el exceso se acumula sobre la superficie o escurre si las condiciones de pendiente lo permiten (Pizarro *et al.*, 2005).

CUADRO 1. Tasas de infiltración para diferentes texturas de suelos (Pizarro *et al.*, 2005).

Textura del suelo	Tasa de infiltración (mm/h)
Arenosa	50
Franco-arenosa	12
Franca	25
Franco-arcillosa	7

Pizarro y colaboradores (2005) reportan los valores típicos de velocidad de infiltración en el suelo según la textura (Cuadro 1). Se observa que a mayor porcentaje de arena en el suelo, mayor será la velocidad de infiltración, esto se debe a que la arena no tiene la capacidad de retener el agua, como en el caso de las arcillas, la arena por el contrario ayuda al drenaje de agua creando poros en el suelo.

Tensión de humedad del suelo

La medición de la humedad del suelo y de la fuerza con que la retiene, constituye un aspecto importante del manejo de las cuencas hidrográficas y de la hidrología. La apreciación de esta fuerza, que suele denominarse tensión de la humedad del suelo (FAO, 2015).

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza la capacidad de campo (CC), se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible a aproximadamente 0.1 bares de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión. La

tensión de humedad es importante ya que tiene que ver con el agua disponible en el suelo para las plantas. A medida de que las plantas agotan el agua, la tensión aumenta.

Las plantas utilizan el agua del suelo hasta que el nivel de humedad alcanza el punto de marchitamiento permanente (PMP). Una vez que el suelo llega al PMP, las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren. Aunque por debajo del PMP todavía hay agua higroscópica, esta agua está retenida tan fuertemente por las partículas del suelo que las raíces de la planta no pueden extraerla (Martin, 2010).

Densidad

Relación entre masa del suelo secado en horno de 105 ° a 110° y la unidad de volumen y no considera el espacio poroso. Se expresa en g cm^{-3} .

Densidad Aparente

La densidad aparente (DA) es la relación de la masas del suelo en las condiciones de campo sin alterar la estructura original (Guerra-Hernández & Cruz-Flores, 2014), la DA varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandibles (Taboada & Álvarez, 2008, citado por Rojas, 2012).

CUADRO 2. Relación general entre la densidad aparente del suelo y crecimiento radical, en base a la textura del suelo (USDA, 1999).

Textura del suelo	Densidad aparentes ideales (g cm^{-3})	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radical (g cm^{-3})	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radical (g cm^{-3})
Arena, areno-franco	<1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa, franco	<1.40	1.63	>1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-limosa	<1.40	1.60	>1.75
Limosa, franco-limosa	<1.30	1.60	>1.75
Limosa-limosa, franco-arcillo-limosa	<1.40	1.55	>1.65
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	<1.40	1.55	>1.65
Arcillosa-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35- 45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.58
Arcillosa (> 45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.47

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo como se muestra en el cuadro 2. Esta condición puede ser alterada por el cultivo; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y clima, por ejemplo el impacto de las gotas de lluvia (Arskead *et al.*, 1996, citado en USDA, 1999). Los estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo.

Densidad real

La densidad de partícula depende de la composición, cantidad de minerales y contenido de materia orgánica. La densidad de partícula siempre es mayor que la de la materia orgánica por su contenido de minerales primarios (Guerra-Hernández & Cruz-Flores, 2014).

La naturaleza porosa del suelo genera la posibilidad de evaluar una densidad real que no considera el espacio poroso y siempre es mayor que la densidad aparente. La densidad real (DR) de un suelo mineral presenta poca diferencia, en comparación con la densidad de los distintos minerales que la componen. Esto significa que la DR es un atributo heredado de los minerales que lo integran y varía entre los distintos suelos por provenir de diferentes fuentes mineralógicas (Guerra-Hernández, & Cruz-Flores, 2014).

3.1.2 Propiedades Químicas

Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por todos los organismos vivos del suelo y por los restos de organismos muertos en diversos estadios de descomposición. El contenido de carbono orgánico de un suelo está compuesto por una mezcla heterogénea de sustancias simples y complejas que contienen carbono. Las fuentes de materia orgánica son los residuos de cultivos, abono animal y vegetal, compost y otros materiales orgánicos. La pérdida de materia orgánica obedece a la menor presencia de organismos en descomposición o un aumento de la descomposición como resultado de modificaciones en factores naturales o antropogénicos. La materia orgánica es un componente esencial de un suelo sano; la pérdida de ésta da lugar a suelos degradados.

La MOS es una fuente de alimentos para la fauna del suelo y contribuye a la biodiversidad de suelo actuando como depósito de nutrientes del suelo tales como nitrógeno, fósforo y azufre; de hecho, es el elemento más importante para la fertilidad del suelo. El carbono orgánico del suelo incide en la estructura del suelo y mejora el entorno físico, lo que hace que las raíces penetren con mayor facilidad.

La MOS absorbe agua (puede retener hasta seis veces su peso en agua), por lo que es vital para la vegetación en suelo naturalmente secos y arenosos. Los suelos que contienen materia orgánica tienen una buena estructura que mejora la infiltración del agua ya que reduce la compactación, la erosión, la desertificación y el desprendimiento de suelo (SoCo, 2009).

3.2 Infiltración

Definición.

La infiltración es el movimiento de agua desde la superficie del suelo hacia abajo, que tiene lugar después de una lluvia o de un riego y es favorecida por la permeabilidad del suelo. En una primera etapa que satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie y posteriormente, superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos (FAO, 2016). El agua que se infiltra a través de la superficie del suelo y que no es retenida como humedad del suelo, se mueve hacia los manantiales y cauces como corrientes subsuperficiales o penetra a la capa freática y alcanza eventualmente el cauce como agua subterránea como se muestra en la figura 3 (Ward y Trimble, 2004; citado en Blanco, 2009).

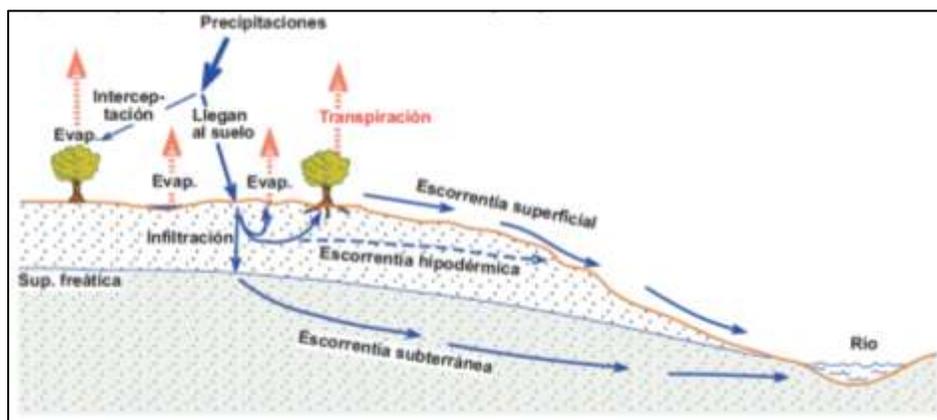


FIGURA 3. Proceso de infiltración y los diferentes tipos de escorrentía y evapotranspiración en la vegetación (Tomada de Sánchez, 2011).

Dinámica de infiltración

En un suelo no saturado, la infiltración vertical ocurre por la acción de los gradientes gravitacionales y mátrico (o succión); al principio, los gradientes de succión son mucho mayores que el gravitacional (Kramer, 1974; Osorno, 2006).

Al infiltrar el agua y humedecer el perfil del suelo, el gradiente mátrico decrece, dado que la diferencia en carga de presión (entre la superficie del suelo saturado y el interior del perfil del suelo no humedecido), se divide entre un incremento de distancia; este procedimiento continua hasta que el gradiente mátrico en la parte superficial del perfil comienza a ser insignificante, dejando el gradiente gravitacional constante y solamente permanecerá la fuerza de movimiento descendente del agua (INIA, 1982; citado en Osorno, 2006).

La cantidad de lluvia que entra al suelo (infiltración) será gobernada por la intensidad de la tormenta de lluvia en relación con la tasa de infiltración del suelo. La excesiva labranza y la pérdida de materia orgánica a menudo resultan en una tasa de infiltración reducida debido a la pérdida de porosidad de la superficie. La tasa a la cual la lluvia se infiltra dentro del suelo es influenciada por la abundancia, estabilidad y dimensión de los poros en la superficie del suelo, su contenido de agua y por la continuidad de los poros de transmisión dentro de la zona radical (FAOd, 2005).

Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración se define como "...la entrada vertical del agua, de la superficie hacia el interior del suelo, en una unidad de tiempo". La velocidad de infiltración es el agua que la superficie de los estratos del suelo pueden absorber cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica, y es la que determina la relación entre la velocidad de infiltración y la velocidad a la que el agua puede ser aplicada a la superficie sin que haya escurrimiento (De la Peña, 1977; Osorno, 2006).

Capacidad de infiltración

Una superficie compacta permite menos infiltración. El impacto de la lluvia reduce la infiltración, en especial en suelos dispersables con facilidad (arenosos) e influye en forma directa sobre la infiltración, pero no sobre la capacidad de infiltración. La superficie del suelo con capa vegetativa tiene más velocidad de infiltración que los suelos sin cubierta vegetal (Osorno 2006).

Los suelos cálidos absorben más agua que los fríos (López-López, 2010). En los suelos arcillosos, el agrietamiento producido por el secado también aumenta la infiltración en las etapas iniciales, hasta que el suelo se expande de nuevo y la infiltración disminuye. En general la velocidad de infiltración es mas baja en suelos húmedos que en suelos secos (Cerdà, 1995; Osorno, 2006).

Factores que afectan la capacidad de infiltración

Uno de los factores que afectan la infiltración es el que depende de las características del medio permeable, el cual es afectado por las condiciones de la superficie por lo que se puede tener la disgregación y arrastre de materiales finos por el agua y la compactación de la superficie por medio de las gotas de agua las cuales hacen a un suelo tener baja capacidad de infiltración (Sau, 1996).

La labranza afecta la velocidad de infiltración. Inmediatamente después de la labranza puede manifestarse una mejor infiltración, debido la destrucción de costras superficiales o de zonas compactadas. La labranza afloja el suelo, sin embargo también rompe agregados y deteriora la estructura del suelo creando el potencial para el desarrollo de la compactación, encostramiento superficial y pérdida de los poros continuos conectados con la superficie. Suelos compactos poseen menos espacio poroso, lo que determina menores velocidades de infiltración. Suelos que tienden a formar costras superficiales, que sellan la superficie del suelo, pueden presentar velocidades de infiltración severamente aminoradas (USDA, 1999).

El coeficiente de infiltración de agua en el suelo es importante en su conexión con el reabastecimiento al suelo mediante lluvia.

El proceso de la infiltración depende de un gran número de factores, entre los que destacan:

- Textura del suelo
- Contenido de humedad inicial
- Contenido de humedad a saturación
- Cobertura vegetal
- Uso de suelo
- Aire atrapado
- Lavado de material fino
- Compactación
- Temperatura, sus cambios y diferencias
- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego
- Características hidráulicas del suelo
- Formación de costras superficiales
- Trabajos agrícolas

(Porta *et al.*, 1994; Narro, 1994; Ortíz, 1984; citado en Osorno, 2006).

Pendiente y exposición

Los aspectos topográficos influyen sobre la infiltración directamente porque condicionan el proceso al modificar el comportamiento hidrológico superficial de los suelos. La pendiente favorece la formación de escorrentía al reducir la profundidad de los charcos y con ello la reducción de las tasas de infiltración (Cerdà, 1995).

Indirectamente la topografía influye sobre la infiltración al determinar las tasas de actuación de los procesos edáficos. Situaciones concretas como las laderas con exposición norte benefician el desarrollo de suelos con una mejor agregación y mayores contenidos en materia orgánica, y por lo tanto con elevadas capacidades de infiltración. Las laderas con exposición sur en el hemisferio norte se ven sometidas a fuertes alternancias térmicas, lo que facilita la degradación de los suelos con mayor rapidez que en las laderas norte (López-López, 2014).

La exposición es un factor topográfico de gran importancia al determinar los procesos hidrogeomorfológicos en las latitudes medias y altas, y por lo tanto las forma de relieve (Cerdà, 1995). La importancia de la orientación de las laderas condiciona el número de horas de sol recibidas por el suelo, y junto a otros factores, determinaran los regímenes de humedad, el nivel de materia orgánica, agregación, cubierta vegetal, etc. Lopez-Lopez (2014) afirma que la exposición de ladera y posición en catena modifican las características de vegetación, suelo y clima. Así mismo, el lomo de solana obtuvo temperaturas más altas y menor humedad, contrario al lomo umbría. Sin embargo, el efecto de la exposición sobre la hidrofobicidad, infiltración e intemperismo del suelo no es evidente.

Importancia de infiltración

La lluvia que se infiltra dentro del suelo forma parte del agua del suelo, de la cual puede ser usada por las plantas para la transpiración, por otra parte vuelve a la atmosfera a través de la evaporación desde la superficie del suelo y otra (sí hay suficiente infiltración) puede pasar más debajo de la zona radical como agua subterránea (FAOd, 2005).

El agua de lluvia que escurre sobre la superficie del suelo desciende rápidamente hacia los cursos de los ríos, contribuyendo a los flujos máximos y es siempre motivo de preocupación. La escorrentía no es solamente un desperdicio del agua de lluvia que podría haber contribuido a la producción agrícola y al abastecimiento de las aguas subterráneas, sino que frecuentemente causa inundaciones o daños a los caminos y tierras agrícolas y erosiona el suelo que es redepositado en el cauce de los ríos y en los embalses aguas abajo (Ceccon, 2003; FAO, 2016).

Factores Bióticos

La actividad biológica tiene efectos importantes en los valores de la infiltración, densidad aparente y curva de retención de humedad, principalmente, debido a un incremento en la macroestructura del suelo por el desarrollo, de lombrices, o un decremento en la porosidad por el desarrollo de algas y bacterias (Flores & Alcalá, 2010).

3.3 Vegetación

La vegetación de un lugar es reflejo del clima que posee. Cuando el hombre destruye la vegetación talando el bosque y llevando a cabo actividades que la afecta, le quita al suelo su principal defensa e inmediatamente las aguas empiezan a deslizarse sobre la superficie, arrastrando suelo, cuanto más lluvioso mayor cantidad de suelo.

La cobertura, estructura y composición de la vegetación influyen de manera fundamental en el control de la entrada de energía al ecosistema acuático (Carrasco *et al.*, 2014). Dichas características de la vegetación y de los cultivos frenan el recorrido del agua con el cual el agua tiene más tiempo para infiltrarse, las características de la pendiente igual influyen al aumentar o disminuir el tiempo de permanencia del escurrimiento sobre la superficie (Sau, 1996).

La vegetación presente en el suelo, frena el recorrido del agua por lo que tiene más tiempo para infiltrarse. Las ramas y las hojas de los árboles contribuyen a reducir la intensidad de la precipitación o la velocidad del agua según cae y permitir una mayor infiltración en el suelo. Cuanto más vegetación haya, menor será el escurrimiento (FAO, 2016).

Zapata–Sierra y Manzano–Agugliaro (2008) documentan que existe una influencia de la vegetación sobre la infiltración del agua en el suelo. Jiménez *et al.*, (2006) en un trabajo con Andosoles observaron una relación de dependencia entre la cobertura de la vegetación y la infiltración de agua. La vegetación modifica el proceso de la infiltración de diferentes formas; interceptando parcialmente el agua de lluvia y, junto con el posterior escurrimiento desde el dosel vegetal, modificando la intensidad y el diámetro de gota del agua que cae al suelo, explican Calder *et al.*, (1996) y Rutter *et al.*, (1972).

Las gotas tienen una menor cantidad de energía cinética al impactar desde menor altura y producen una menor alteración en la capa superficial del suelo, manteniendo un alto valor de la permeabilidad, que no se mantendría si el suelo recibiese el impacto de las gotas con toda su energía inicial. Así, como se muestra en la figura 4, la presencia de cubierta vegetal implica una capacidad mayor de infiltración y de protección ante la erosión hídrica (Zapata-Sierra & Manzano-Agugliaro, 2008).

Según Sau (1996) los suelos difieren por su estructura y capacidad para mantener la disponibilidad de agua para las plantas dependiendo de factores propios del suelo como la textura, la profundidad, el contenido de materia orgánica, la actividad biológica, densidad aparente, porosidad, capilaridad, entre otros. Dentro de las características del terreno a la textura y la estructuración el tipo de textura se puede tener idea de la cantidad de poros que serán rellenos y la estructura a la distribución de estos poros.

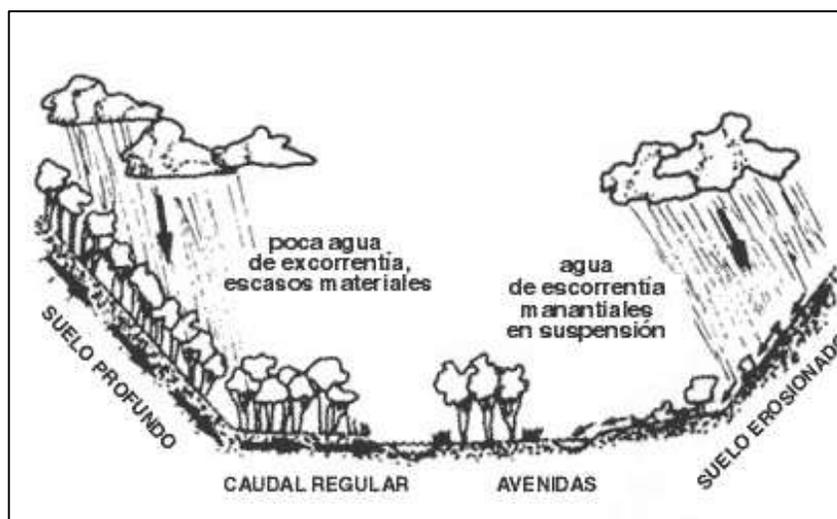


FIGURA 4. Relación de la vegetación y la erosión hídrica

3.4 Ambientes ribereños

El término “zona riparia” (ambientes ribereños) designa la región de transición y de interacciones entre los medios terrestres y acuático (Cruz-Flores & Hernandez-Guerra, 2014). Esta zona se caracteriza por una flora y fauna cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido en agua y la granulometría del suelo. Estas zonas tienen una capacidad de absorber y almacenar elementos. La creación de corredores vegetales a lo largo de los ríos es uno de los medios que permiten restaurar la calidad de las aguas superficiales. Los ríos que atraviesan los bosques están rodeados por una vegetación riparia, que controla la temperatura y la luminosidad del agua, aumenta la estabilidad de las orillas y proporciona

cantidades importantes de detritos vegetales, los cuales reducen la velocidad de la corriente, frenan las crecidas y crean zonas de calma, favorables a la instalación de muchas especies animales (figura 5).

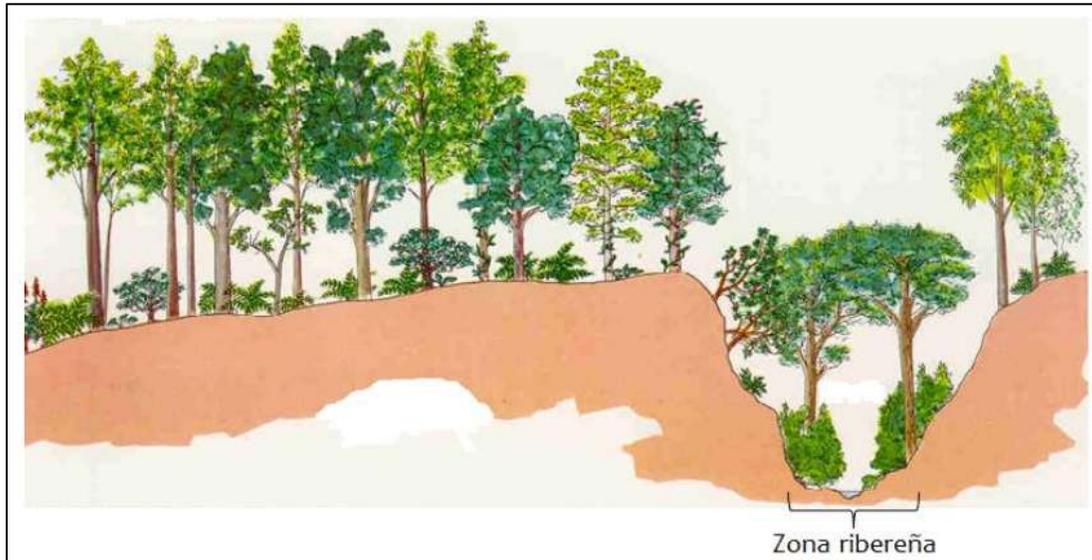


FIGURA 5. Representación de una zona ribereña (Escalante, 2013).

Los bosques riparíos tienen otro rasgo que los hace importantes: con frecuencia son excepcionalmente fértiles y productivos. Las áreas riparias que yacen en las planicies de inundación de las zonas montañosas, generalmente, demuestran ser ricas en nutrientes, debido a que siempre que una corriente de agua escapa de sus bancos, deja un depósito de sedimentos tras de sí y, con el tiempo, se crea un rico suelo aluvial, la clase de suelo que hace populares a los valles de los ríos entre los campesinos. El agua que fluye a través de una zona riparia facilita el reciclamiento de los nutrientes y, así, el desarrollo de las plantas mediante el movimiento del oxígeno a través del suelo y la remoción del bióxido de carbono, así como de los productos metabólicos residuales (Granados *et al.*, 2005)

A pesar de su importancia en el mantenimiento de la biodiversidad regional y en la generación de servicios ambientales, la vegetación ribereña en México ha sido relativamente poco estudiada. Rzedowski (2010) la describe como la vegetación que se desarrolla a lo largo de las corrientes de agua permanentes o semipermanentes, generalmente formada por árboles de hoja perenne (Camacho *et al.*, 2006).

Esta vegetación desempeña diversas funciones ecosistémicas, entre las que destacan: (a) la estabilización del suelo de márgenes y orillas, aumentando su resistencia a la erosión, (b) la retención de la escorrentía procedente de la cuenca, (c) la utilización de parte importante de los nutrientes disueltos en ella, evitando la eutrofización de las aguas del cauce, (d) la retención de sedimentos, que redundan en la mayor calidad del agua del cauce, y (e) la mejora del paisaje y su valor recreativo (González del Tánago & García de Jalón, 1998, citado en Camacho *et al.*, 2006).

“La vegetación de ribera es capaz, a través de su sistema radical, de modificar la composición química de las aguas que llegan al río. La tupida red de raíces de las plantas ribereñas absorbe los nutrientes disueltos en el agua para su propio beneficio y con ello disminuye la carga orgánica del ecosistema acuático, frenando los fenómenos de eutrofización” (Arcos & Messerli, 2008; citado en Peraza, 2009).

3.5 Analisis de la vegetación ribereña

Entre los aspectos a considerar para cuantificar y calificar la “calidad ecológica” de los ecosistemas acuáticos, las riberas constituyen uno de los más importantes. Las razones son obvias, y bien por una parte sus valores naturales, la posibilidad de diversificar el paisaje incorporando elementos biogeográficos en cierta manera anómalos a su capacidad para incidir sobre la calidad ambiental del ecosistema acuático que rodea. Además, la vegetación ribereña juega un papel esencial en la retención y atenuación de los efectos destructores de las avenidas de agua (M. Suárez, *et al.*, 2002).

El QBR es un índice de aplicación rápida y sencilla, que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas. El QBR es una medida de las diferencias existentes entre el estado real de las riberas y su estado potencial, de modo que el nivel de calidad es máximo sólo cuando las riberas evaluadas no presentan alteraciones debidas a la actividad humana (Agència Catalana de l’Aigua, 2006).

4. JUSTIFICACIÓN

En el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y en los macizos forestales de su zona de influencia, el estado actual de los recursos naturales ha sido producto de dos formas de extracción y aprovechamiento; por un lado, el conjunto de actividades agrícolas y ganaderas de las comunidades establecidas en el área de influencia del parque y la segunda, relacionada con la compleja dinámica social que se vive y que ha provocado un desequilibrio ecológico que atenta contra la calidad de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas de la región.

El problema de insuficiencia de agua de buena calidad crece aceleradamente debido a la disminución de la superficie de infiltración por pérdida de bosques y por la acelerada expansión de la mancha urbana que demanda más el recurso. La información disponible al respecto es reducida, lo que hace necesario realizar investigaciones sobre diversos aspectos relacionados con las propiedades edáficas que influyen en la infiltración de agua en suelos ribereños y con el agua que retienen, manifestada como porcentajes de agua en el suelo.

5. SUPUESTOS E HIPÓTESIS

Los suelos ribereños de montaña contienen mayor humedad, por su proximidad con los cauces de agua, por lo que se espera la presencia de vegetación riparia, altos contenidos de MOS, creación de poros y recirculación de agua y aire en la capa edáfica. Lo que permite plantear que la velocidad de infiltración de agua en suelos de ribera, tiene correlación significativa positiva con sus altos contenidos de materia orgánica y negativa con su baja densidad aparente del suelo por el efecto de éstas en la porosidad y retención de humedad

6. OBJETIVO

General

- Evaluar las propiedades físicas y químicas de suelos que influyen en infiltración de agua en ambientes ribereños de montaña con vegetación ribereña variada y distinta exposición solar, en la microcuenca del río Apol dentro del Parque Nacional Izta-Popo en el estado de México y zonas agropecuarias y urbanas de influencia en el estado de Puebla.

Particulares.

- Evaluar la velocidad de infiltración de los sistemas ribereños.
- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en la infiltración (densidad aparente, densidad real, contenido de materia orgánica, textura, porcentaje de espacio poroso).
- Documentar los tipos de vegetación de los sitios de estudio y su influencia en el proceso de infiltración.
- Definir la relación entre la densidad aparente, los contenidos de MOS y la velocidad de infiltración en el suelo de ribera estudiados.

7. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (figura 6) se encuentra en la parte centro-oriental del Eje Volcánico Transversal, ocupando una parte sustancial de la Sierra Nevada. Se localiza entre las coordenadas 18°59'00.43'' y 19°28'09.44'' de Latitud Norte y 98°34'55.88'' y 98°46'40.95'' de longitud Oeste. Tiene una superficie territorial de 39 819.086 ha dividida entre el estado de México con el 71.09 %, Puebla con 27.81% y Morelos con el 1.10%. Sus geoformas (sierra, conos volcánicos y laderas) son de origen volcánico, predominando rocas basálticas y andesitas. Su rango altitudinal va desde los 3 mil a los 5 mil 480 metros sobre el nivel del mar.

La faja volcánica se origina por un sistema de fragmentación o fracturamiento de tipo ortogonal. En la parte central del Eje la disposición del relieve se debe en un inicio a la formación de una gran falla a finales del Terciario y que continúa en el Cuaternario formando un desnivel de mil metros entre el Altiplano del Norte y la Fosa del Balsas del Sur (Mooser, 1972, citado en Demant, 1978). El extenso fallamiento, asociado al vulcanismo, trajo como consecuencia –entre otras- la formación de algunos lagos, convirtiéndose en el paisaje característico del centro del país (CONANP, 2013).

Esta enorme fractura reciente determina la estructuración del relieve, la distribución de la hidrografía y las características climáticas, tanto al norte como al sur del Eje Volcánico. De esta manera se convirtió en una enorme presa natural a través del país que impidió el drenaje de la parte central hacia el Pacífico (Frías, 1960).

La actividad de la Iztaccíhuatl cesó antes de la última glaciación mayor, mientras que su vecino el Popocatepetl continuó en erupción (Mooser *et al.* 1958, citado en CONANP, 2013), con actividad más reciente a partir de 1994.

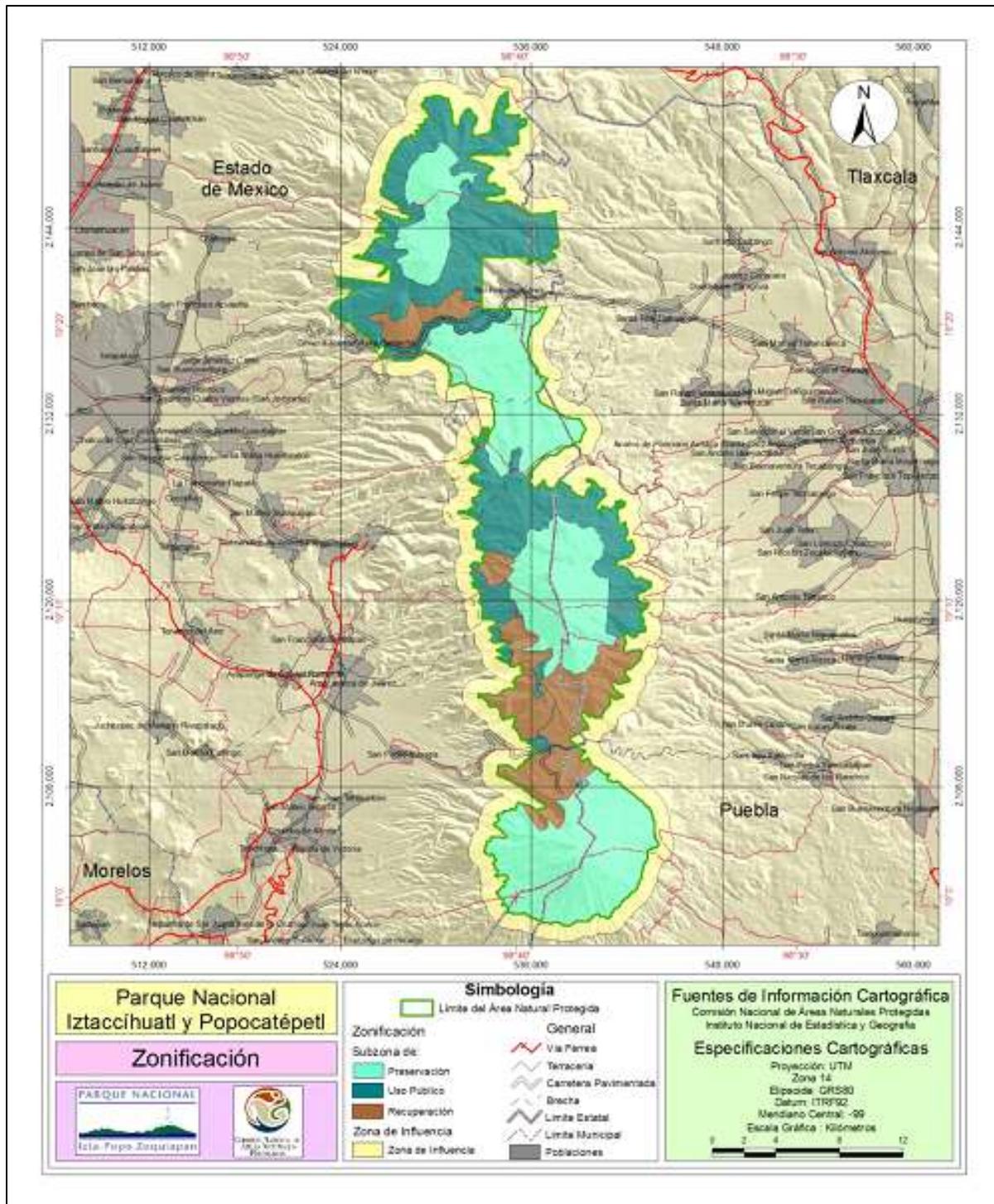


FIGURA 6. Mapa donde se muestra la ubicación espacial del Parque Nacional Izta-Popo en el centro del país (CONANP, 2013).

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia

La zona de estudio esta ubicada en las faldas del volcán Iztaccihuatl, en la microcuenca del río Apol dentro de la subcuenca del río Nexapa en la cuenca del río Balsas, en los municipios de San Nicolas de los Ranchos, Calpan, Nealtican y Tianguismanalco pertenecientes al nor-este del estado de Puebla. Dentro del suroeste del Estado de México, en los municipios de Atlautla y Amecameca.

7.1 Suelos

La relación entre las diferentes fases de formación de los suelos, la fisiografía y la vegetación predominante, de acuerdo con su altitud muestra que a elevaciones de 2 mil 900 a 3000 m snm, en los Bosques de *Abies religiosa*, los suelos están bien desarrollados, poseen un contenido de MOS de 8 a 11% y textura migajón arenosa; en el bosque de pino, a altitudes de 3400 a 3800 m, el suelo es de textura migajón arenosa, de color marrón oscuro a negro, con bajo contenido de MOS (2 a 8 %) y presenta los efectos de la acción del intemperismo en el material parental; a elevaciones de 4 mil m, en el páramo de altura, se observan afloramientos de rocas ígneas (pómez) y cenizas volcánicas, con fragmentos de suelo en laderas con fuerte pendiente; el suelo es negro, de textura arenosa, lo cual lo hace más susceptible al arrastre por la acción del viento y el agua, o por la misma gravedad.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas pueden presentar perfiles bien desarrollados, con profundidades de entre 0.5 a un metro y con texturas finas, aunque con buena aireación y drenaje, así como alto contenido de humedad; la coloración de la capa orgánica es oscura, de marrón oscuro a negro. El suelo representativo de la región es Andosol mólico, que se forma a partir de las cenizas volcánicas, posee baja cohesión, por lo que es muy susceptible a la erosión y es al mismo tiempo un suelo muy favorable para la recarga de los mantos freáticos.

El Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (2015), citando a la FAO, menciona que los suelos presentes dentro del rango altitudinal del estudio en el parque son los siguientes:

- **Regosol**, del griego rhegos, manto. Son suelos formados a partir de material suelto como arena, grava o piedra; en el parque se localizan a altitudes por debajo de los 3,900 m y normalmente son pobres en materia orgánica y nutrimentos.

- **Andosol**, del japonés an, oscuro y do, suelo. Se derivan de cenizas volcánicas recientes, por lo que son suelos ligeros con alta retención de humedad y buen contenido de nutrimentos, así como de MOS; debido a ésta última y a la proporción de vidrios volcánicos presentes, pueden formar andosoles húmicos que se presentan en áreas forestales poco alteradas; también pueden formar andosoles vítricos en zonas con vegetación de coníferas cuando presentan más del 60% de vidrios, ceniza volcánica y texturas gruesas.

- **Fluvisol**, del latín fluvius, río. Son suelos formados en cañadas, escurrimientos y zonas de depósitos de material reciente; de textura gruesa, su fertilidad es baja debido al escaso contenido de nutrimentos.

Por lo anterior, se comprende que los suelos presentes en todo el parque estarán siempre asociados con su origen volcánico, sin importar la zona, solo variando el grado de desarrollo.

7.2 Clima

Debido a su topografía y ubicación, el parque tiene una variedad de climas que va del templado húmedo a los climas fríos y muy frío. El cambio de gradiente térmico en el parque oscila de $-0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-0.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de altitud, por lo que se asume que el gradiente térmico varía en las diferentes laderas de la Sierra Nevada por condiciones locales de topografía, orientación y microclimas de cada una (CONANP, 2015). Las descripciones de los climas en el PN IP se muestra en el cuadro 3.

CUADRO 3. Sistema de clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García (Tomado de CONANP, 2013).

Estación	Clave climática	Descripción
Río Frío	C (w''2) (w)(b'')ig	Clima templado, subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío inferior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero superior a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Chalco	C(m) (w) b(e)g	Clima templado, húmedo, con lluvias de verano; con una temperatura anual entre 12 y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura del mes mas frío de $11.2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Tlahuapan	C (w2) (w) big	Clima templado, pero el más húmedo de los subhúmedos, con una temporada de lluvias marcada en el verano y otra en invierno. La temperatura media anual es de $14.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del mes más frío es de $11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. El verano es fresco y largo; temperatura media del mes más caliente es de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.
San Rafael	C (w2) (w) big	Clima templado, subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media anual de $13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del mes más frío menor de $10.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y del mes más cálido de $15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
San Pedro Nexapa	Cb (w) kig	Clima temprado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual de $13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, con temperatura del mes más frío de $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en diciembre y enero y en el mes ás cálido de $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en mayo.
Amecameca	Cb (w2) (w)' gw''	Clima templado subhúmedom, con lluvias de verano, cuya temperatura media anual es de $14\text{ }^{\circ}\text{C}$; siendo el mes más frío enero con $10.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el más cálido mayo con $16.2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Tetela del Volcán	Cb (m) (w) ig	Clima templado húmedo con lluvias de verano, cuya temperatura media anual es de $17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo diciembre el mes más frío con $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el mes más cálido mayo con $19.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Huayatlaco	Cc (w2) (w) ig	Clima semifrío húmedo con lluvias de verano. La temperatura media anual es de $7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo el mes más frío enero, con $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el maás cálido abril con $9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$; la oscilación térmica es de $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
	ETHw	Clima frío, con una temperatura media anual entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; el mes más frío con $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el mes más cálido con $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
	EFHw	Clima muy frío, con una temperatura media anual de menor de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la del mes más caliente menor de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.3 Hidrografía

La precipitación anual oscila entre 800 y 1200 mm, se presenta en diversas formas: nieve, lluvia, aguanieve y granizo. Generalmente las tormentas se producen en el este y son dirigidas por los vientos hacia el oeste. En la estación húmeda, los volcanes son afectados por los vientos alisios del noreste y los ciclones tropicales, y en la seca por los vientos altos del oeste. Las lluvias ocasionales de invierno son generadas por los nortes del Golfo de México. La precipitación alcanza su valor máximo (1200 mm) alrededor de la cota de 3600 m, a partir de la cual, tiende a decrecer, fenómeno conocido como: techo de nubosidad situado alrededor de los 3600 en montañas mayores a 4000 (CONANP, 2013).

Los recursos hídricos que se originan en el PN se forman principalmente por el deshielo de los glaciares y la precipitación pluvial. Las corrientes superficiales pueden ser permanentes o intermitentes, éstas últimas son innumerables durante la época de lluvia y también se produce gran infiltración de agua que va a alimentar las corrientes subterráneas (CONANP, 2013).

7.4 Vegetación

El Parque Nacional Izta-Popo, debido a su localización en el país y el irregular relieve característico del centro del país favorecen su gran diversidad ecosistémica y riqueza biológica que se distribuye en un gradiente altitudinal. De acuerdo con Hernández y Granados (2006) dentro de los límites del parque y en los confines de su área de influencia es posible apreciar cuatro grandes franjas altitudinales (Figura 7).

Los bosques de pino del parque se caracterizan por ser bosques maduros en buen estado de conservación y con zonas importantes de regeneración natural. Dentro de los 3100 m a 3700 m snm de altitud se encuentran asociaciones dominadas por *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Euptorium pazcuarensis*, *Senecio platanifolius*. También se encuentran ecotonos de *Pinus ayacuhte* con *Abies religiosa* y *Pinus montezumae* con *Pinus hartwegii*. En estos bosques el dosel no es muy cerrado, por lo que pueden desarrollarse diversas herbáceas.

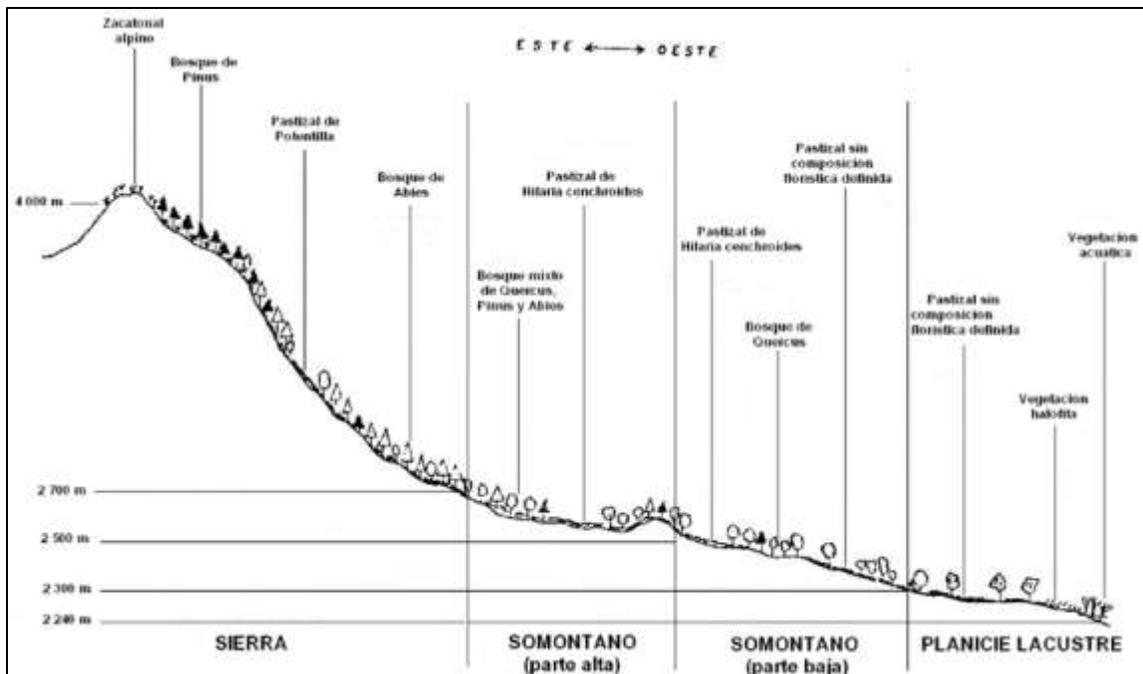


FIGURA 7. Franjas de vegetación dependiendo de la altitud. Esquema de las franjas ecológicas y su vegetación característica (Tomado de Hernández y Granados, 2006)

En las partes más elevadas y abruptas a 3400 m se establece *P. hartwegii*, *Ribes ciliatum*, *Lupinus montanus*, *Festuca spp.*, *Calamagrostis spp.*, *Acaena elongata*. Mientras que *A. religiosa* posee un rango altitudinal entre 2400 y 3500 m. Las asociaciones de bosques de encino son complejas, de los 2400 a los 3100 m se hallan agrupaciones de *Q. laurina* con *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *Abies*, *Arbutus*, *Juniperus* y *Pinus*. No obstante la vegetación también sigue un patrón horizontal determinado por la topografía, microclima y propiedades del suelo. El zacatonal y pastizal alpino y subalpino predominan de 3500 a 4350 m snm, agrupadas en comunidades uniformes de *Festuca spp.*, *calamagrostis toluncensis*, *Muhlenbergia quadridentata*, *Agrostis tulocensis*, *Juniperus monticola* (CONANP, 2013).

Al poseer diversos micropaisajes el suelo del PNIP esta ocupado por diversos tipos de vegetación. El cuadro 4, registra la superficie de uso de suelo y vegetación pertenecientes al territorio del Parque Nacional Izta-Popo. Según la CONANP (2013), el PNIP tiene la mitad de su territorio con bosque conservado, sin embargo, la otra mitad presenta algún grado de perturbación. Esto es debido, a que el parque se encuentra en el centro del país, y está rodeado de

poblaciones establecidas, influyendo y acaparando cada vez más el territorio del Parque Nacional Iztaccihuatl Popocatepetl.

CUADRO 4. Los diferentes tipos de vegetación y el área que ocupan dentro del Parque Nacional Izta-Popo (CONANP, 2013).

Uso de suelo y vegetación en el Parque Nacional Iztaccihuatl Popocatepetl	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque conservado	21,260.6380	53.39
Bosque con perturbación moderada	844.1060	2.12
Bosque con perturbación alta	2,166.8730	5.44
Superficies con nieve o sin vegetación natural	5,560.4410	13.96
Pastizales	9,662.2170	24.27
Superficies erosionados	307.2600	0.77
Otros usos	17.5550	0.04
Superficial total	39,819.0900	100.00

8. MÉTODO

8.1 Delimitación de la zona de estudio y muestreo

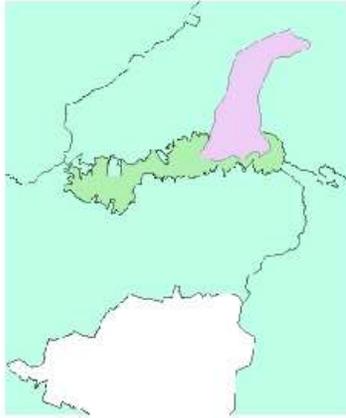
El procedimiento empleado para la delimitación de sitios de muestreo, se rigió bajo el uso de un sistema de información geográfico (Arcgis 10.3). Gracias al simulador de cuencas hidrográficas del SIALT (carta hidrográfica RH18Ae) se identificó un río y arroyos con afluencia de régimen permanente que corre desde la cima de montaña y llega hasta los sitios más bajos del valle, en zonas parcialmente urbanizadas, donde buena parte del agua del río se utiliza en la población residente, agricultura y otras actividades económicas que modifican sus propiedades físicas y químicas.

Los cuatro sitios de estudio se seleccionaron en ambientes ribereños, con diferente tipo de vegetación y uso de suelo, pertenecientes a un sistema fluvial en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl hacia la cuenca de Alto Balsas, al este del Iztaccíhuatl, a través de un gradiente altitudinal de los 4,000 m a los 2,000 m snm (INEGI, 2015).

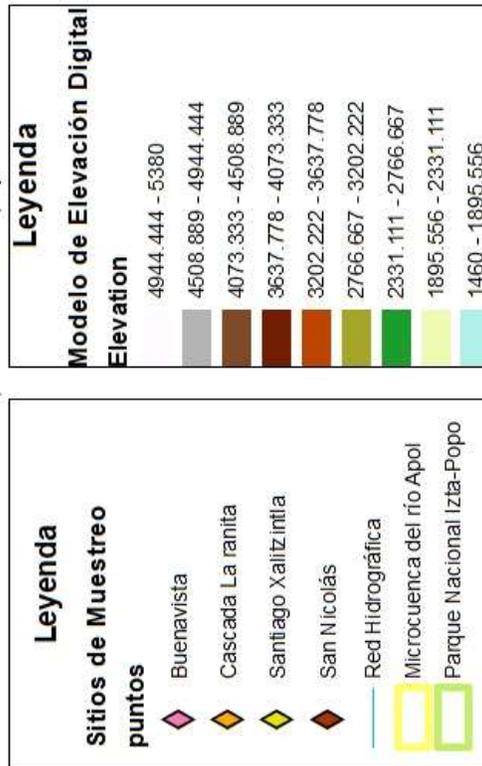
CUADRO 5. Nombres asignados para los sitios de estudio con los datos espaciales.

Sitio	Estado	Altitud m	Longitud	Latitud
Cascada La Ranita	Estado de México	3962	537650	2115807
Buenavista	Puebla	3300	542037	2111204
Santiago Xalitzintla	Puebla	2678	547792	2111726
San Nicolás de los Ranchos	Puebla	2419	554726	2108585

Mapa de la Microcuenca del Río Apol



Estados donde se encuentra el Parque Nacional Izta-Popo y la zona de estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal

Proyección UTM, Datum WGS 84, Zona 14Q.
 Escala 1: 50, 000
 Beatriz Carolina Mena Bailón
 César Olmo Enciso Jiménez
 08/11/2018

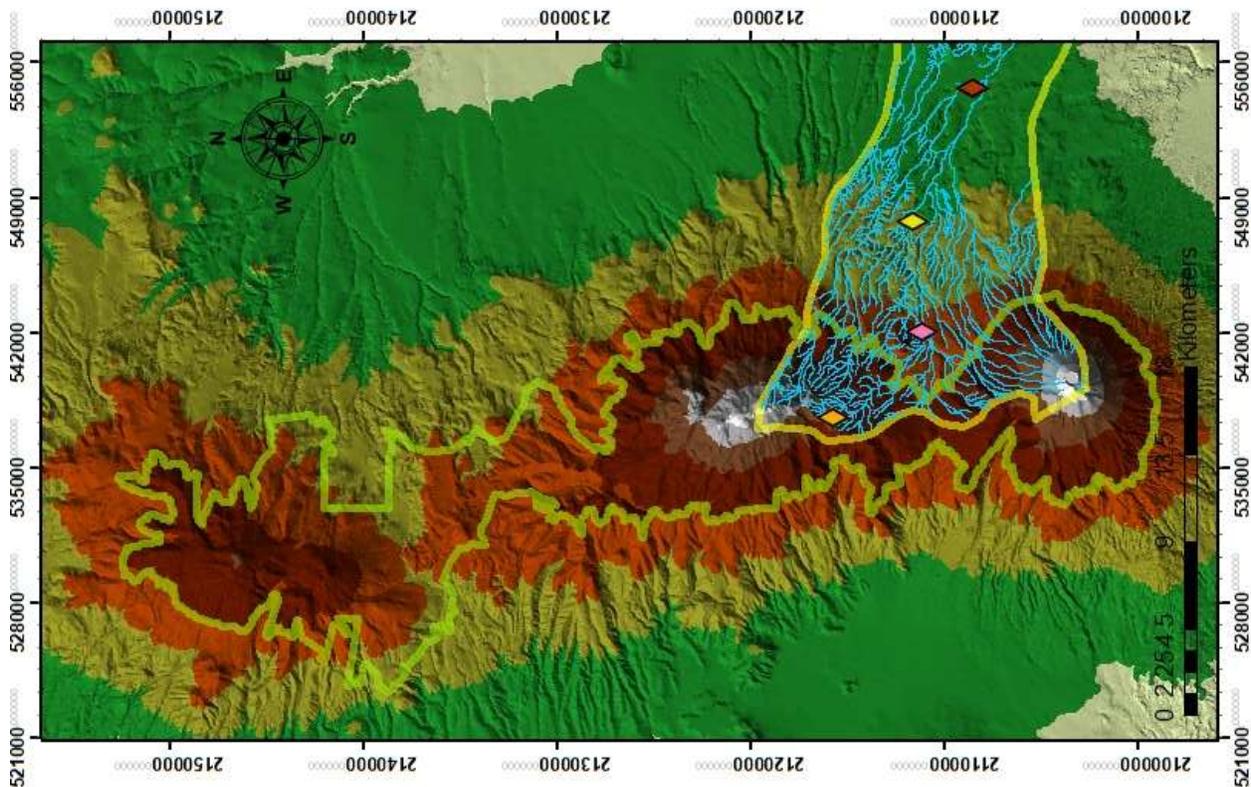


FIGURA 8. Posición espacial y la unión de los sitios por el afluente de régimen permanente que se tomaron en el estudio (Google Earth, 2016).

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia

Los cuatro sitios de muestreo están adyacentes a un río que corre desde alta, media y baja montaña (cuadro 5) cada uno con propiedades ecológicas diferentes. Una vez ubicados los sitios de muestreo en campo, se realizó una caracterización ecológica. Se registraron coordenadas geográficas y altitud con un GPS (GARMIMN, mod. etrex 30) (Global Position Satelital) (figura 8), temperatura, % humedad ambiental, posteriormente se describió los siguientes parámetros; relieve, tipo de material geológico predominante, exposición geográfica, pendiente, exposición del río, velocidad, anchura y profundidad para conocer la batimetría del afluente. En la caracterización general del suelo se registró temperatura, % humedad, pH *in situ*. Se describió el tipo y estructura de vegetación dominante (Guerra-Hernandez & Cruz-Flores, 2014).

Para realizar el muestreo, se delimitaron transectos de 30 m a lo largo del río, 5 m de ancho a ambos lados del afluente (300 m² de superficie por sitio de estudio). De cada lado del río o arroyo se tomaron 6 submuestras (círculos) de suelo de 0 a -20 cm de profundidad, a 1 y 5 m de amplitud del río y espaciados a 0, 15 y 30 m sobre el transecto (figura 9) obteniendo 12 submuestras de suelo por cada sitio para su posterior análisis en laboratorio de las propiedades físicas y químicas (cuadro 6).

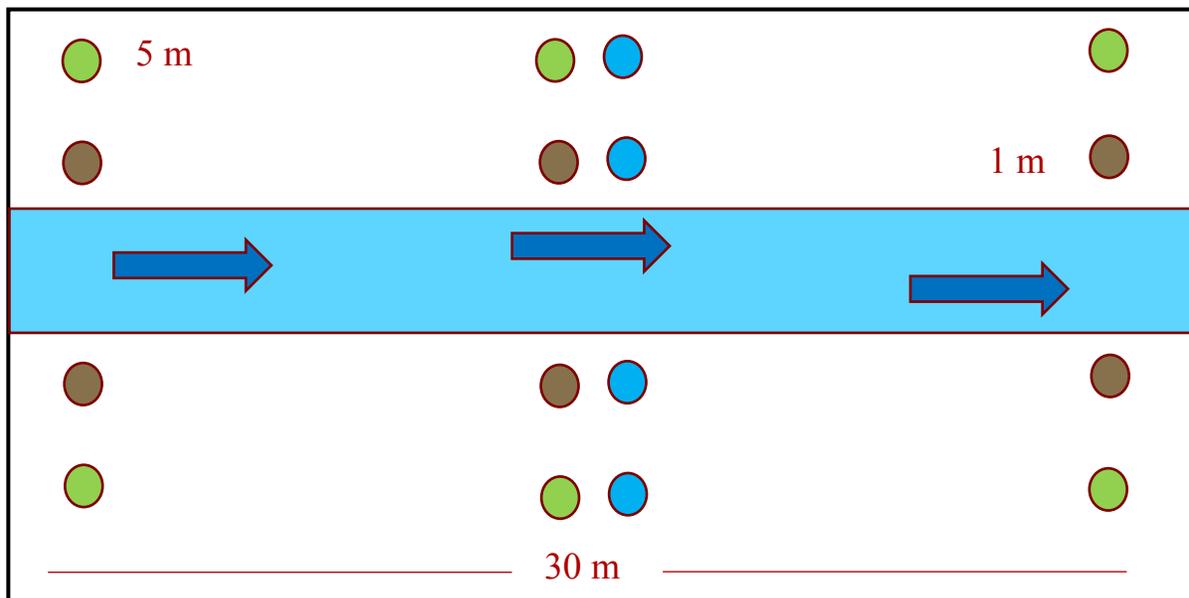


FIGURA 9. Diagrama para el muestreo de suelo e infiltración de agua.

Para la determinación de densidad aparente con el método del cilindro de volumen conocido, se utilizó seis tubos de cobre por sitio de estudio, fueron insertados en el suelo colectando las muestras después de eliminar la capa superficial de hojarasca. Se determinó la estructura del suelo en el horizonte superficial que corresponde a la profundidad de 0 a -20 cm.



FIGURA 10. Muestreo de campo. Toma de muestra de suelo (a). Determinación de parámetros generales (b).

8.3 Determinación de la velocidad de infiltración

La evaluación de la velocidad de infiltración, se efectuó con un infiltrómetro de doble anillo (figura 11) y se realizó en cuatro sitios de estudio con dos determinaciones; una a 1 m y la segunda a 5 m como se muestra en la figura 10, tanto en solana como en umbría, representada por círculos color azul en la figura 9, esto en los 15 m del transecto marcado.



FIGURA 11. Medición del proceso de infiltración en dos sistemas vegetales diferentes; a) sistema forestal, b) parcela de cultivo.

El método evalúa una variación del nivel de agua en un cilindro interior después de saturar una porción de suelo cimentada por los dos anillos concéntricos, el método desarrollado por Munz, parte de la idea de que colocados los dos anillos obtenida la situación de saturación, la diferencia de nivel del agua en los anillos interior y exterior provoca un flujo de agua que será de entrada hacia el anillo interior si la altura es mayor en el tubo exterior, o de salida si es inferior (Negro, 1998).

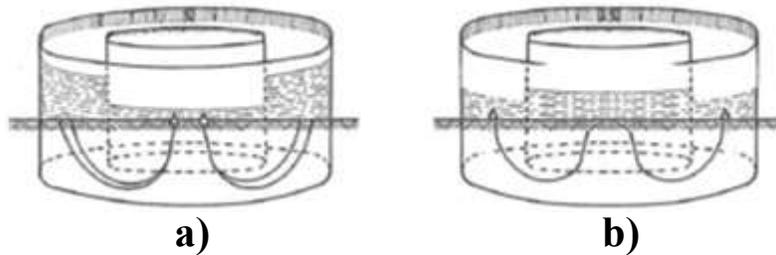


FIGURA 12. Representación de mecanismo del infiltrómetro de doble anillo.

El anillo exterior 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. O sea tiene la función de amortiguar el efecto producido por el agua del cilindro interior en contacto con el suelo seco, obteniéndose así una infiltración cuasi vertical (Negro, 1998).

Es posible que al inicio de la experimentación el suelo este seco o parcialmente húmedo, depende de las condiciones ambientales y la cercanía que tiene el suelo al cauce, así como la profundidad del horizonte donde ocurre el movimiento interno de agua, 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 está.

En esta investigación se midió la velocidad de infiltración en el suelo en las diferentes estaciones climáticas que sufre esta región del país.

Cálculos:

$$V.I. \left(\frac{cm^3}{h} \right) = \frac{(At \times Va)}{t} \times 3600$$

V.I.: velocidad de infiltración.

At: área del tubo interno en el infiltrómetro.

Va: columna de agua que se infiltró en el suelo (centímetros de agua que descendieron en el medidor del infiltrómetro).

t: tiempo que transcurrió al bajar el nivel del agua en el anillo interno del infiltrómetro (en segundos).

3600: segundos que transcurren en una hora (3600 seg = 1 h).

8.4 Determinación del estado de la vegetación.

Se determinó el índice QBR (Munné *et al.*, 2002) para evaluar el estado y la calidad de la vegetación ribereña en ambos lados del afluente, este índice pone énfasis en cuatro aspectos fundamentales de sistemas ribereños: (1) grado de cobertura vegetal, (2) estructura de la vegetación, (3) calidad de la cobertura vegetal y (4) grado de naturalidad del canal fluvial. Las especificaciones se muestran en el Anexo A. El índice QBR no está sujeto a una variabilidad estacional puesto que utiliza como indicador biológico de la vegetación arbórea, arbustiva y el matorral perenne, únicamente se ha determinado una vez por sitio para la recolección de los datos.

8.5 Análisis en laboratorio

Cada muestra de suelo fue secada al aire libre sobre cajas de cartón. Una vez que secó se hizo pasar por un tamiz de malla de 2 mm, separándole de todo residuo foliar o de otra procedencia, y se colocaron en frascos etiquetados hasta su análisis (fecha, sitio, tipo de muestra).

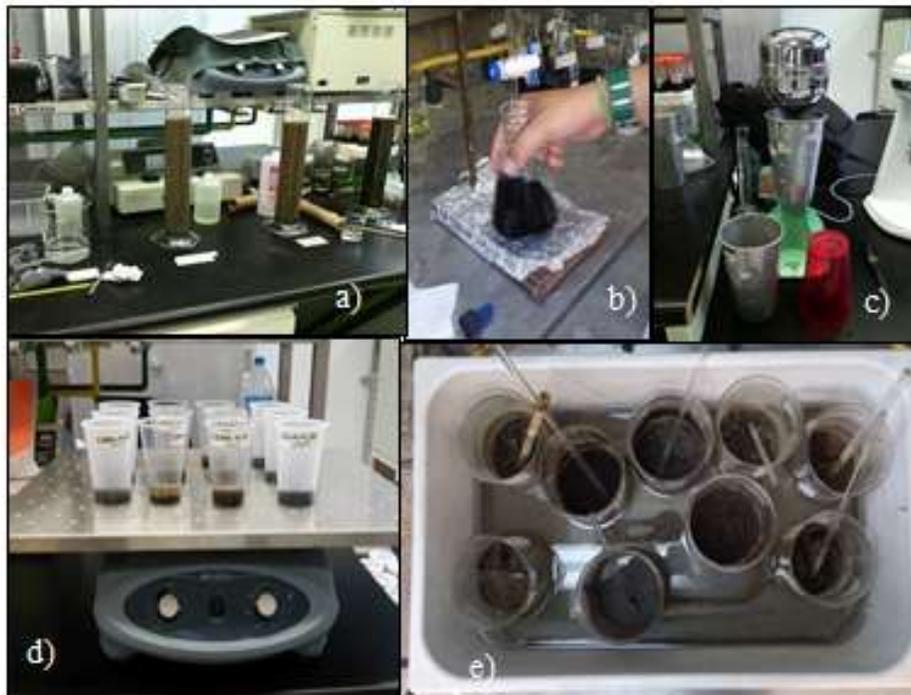


FIGURA 13. Métodos realizados en el laboratorio. Determinación de Textura (a, c y e); determinación de M.O (b); pH (d).

Se midió el pH relación 1:2 y la conductividad eléctrica en relación 1:5 con Conductronic PC18. La densidad aparente del suelo se determinó con el método del cilindro y porcentaje de humedad y determinando la masa del suelo seco contenido en tubos de volumen conocido. Densidad real se obtuvo con el método del picnómetro (Guerra-Hernandez & Cruz-Flores, 2014). Para la textura, se crearon muestras compuestas con porciones iguales de suelo extraído a la misma amplitud en cada sitio (distancia adyacente al río, sobre el transecto marcado) y con la misma exposición solar, obteniendo cuatro muestras compuestas por sitio de estudio esta propiedad se evaluó con el método de Bouyoucos. El análisis de materia orgánica se llevó a cabo con el método de Walkey y Black, 1964 (Guerra-Hernandez & Cruz-Flores, 2014) (figura, 13).

CUADRO 6. Los principales parámetros que se midieron en el estudio.

Suelo	Parámetro	Método
Parámetros físicos	Capacidad de campo	Reyes, 1996
	Densidad Aparente	Cilindro de volumen conocido
	Densidad Real	Picnómetro
	Estructura	Cuanalo, 1981
	Infiltración	Infiltrómetro de doble anillo
	Porosidad	$E.P.=100-(DA/D.R) \times 100$
	Humedad del suelo	Por gravimetría
	Textura: %Arena %Limo %Arcilla	Bouyoucos (1963)
	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	Reyes, 1996
Parámetros Químicos	Materia Orgánica	Walkey y Black (Jackson, 1964).
	pH	Potenciométrico
Parámetros biológicos	Estado de la vegetación	Índice QBR (Munné, 2002).

8.6 Análisis estadísticos

Se realizó análisis de correlación de Pearson, que es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, para conocer la correlación que tiene la infiltración con las propiedades físicas y químicas del suelo que se determinen.

Se realizaron también análisis de Varianza y pruebas de Tukey para conocer los efectos de sitio con los parámetros medidos y su relación con la infiltración.

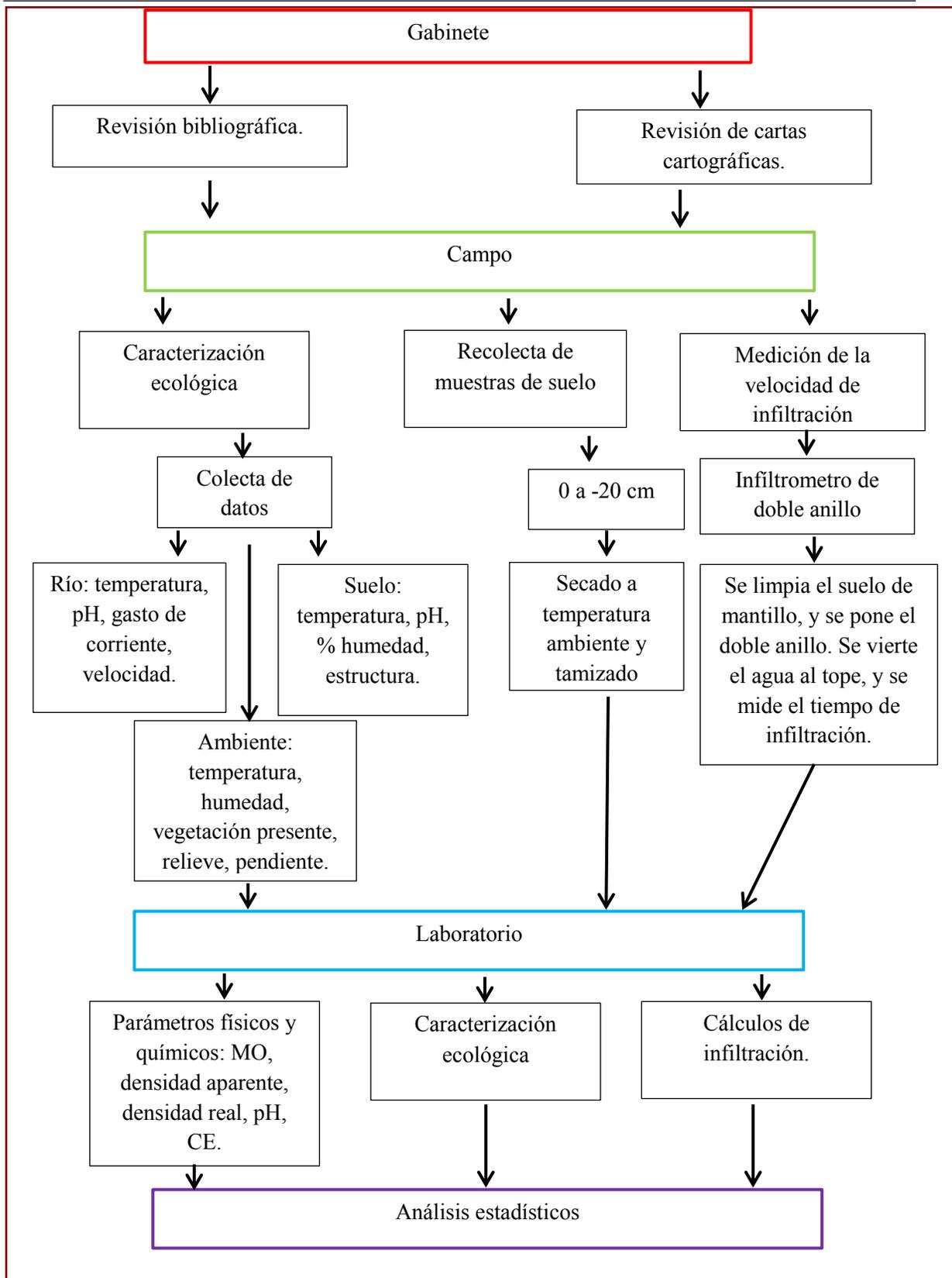


FIGURA 14. Diagrama de flujo e las actividades realizadas en el presente estudio.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización ecológica

Debido a la diferencia de altitudes en los cuatro sitios estudiados, que van desde 4000 m snm hasta los 2000 m snm, se observarán diferentes aspectos como el uso de suelo, microclimas, topografía local, régimen climático y tipo de vegetación que generan unidades de paisaje diversas. El clima, de templado húmedo, en altitudes de 2000-3000 m hasta climas fríos en altitudes mayores a los 3000 m (CONANP, 2015) influye en la dinámica del agua en el suelo, así como también la temperatura y humedad presentes en cada uno de los sitios. Una vez ubicados sobre las regiones altas en una zona cercana al límite de la vegetación por los 4000 m, se hizo un reconocimiento en campo para elegir los cuatro sitios que se ubican desde los 4000 m hasta 2000 m snm en las zonas colonizadas del Municipio de San Nicolás de los Ranchos. En el cuadro 7, se muestra el registro de datos que caracterizan ambiental y ecológicamente cada sitio que se estudió en el presente trabajo. Los cambios en las variantes climáticas y la asociación de estos factores afectan la estructura y composición de la vegetación de ribera y por lo tanto del proceso de infiltración de agua en el suelo.

CUADRO 7 . Aspectos generales de los sitios de muestreos

Sitio	Estado	Altitud	Latitud (N)	Longitud (W)	Uso de suelo (INEGI, 2013)	Tipo de suelo (Sandoval, 2016)	Vegetación	Temp. Ambiente	Hum Ambiente
		m						°C	%
Cascada La Ranita (CLR)	Edo. De México	3962	2115807	537650	PAM	Andosol vítrico úmbrico	Zacatonal montano Bosque de pino	11-11.5	51.8
Buenavista (BV)	Puebla	3309	2111201	542042	VSABP	Andosol vítrico úmbrico	Bosque de pino	8.5-10	38-40
Santiago Xalitzintla (SX)	Puebla	2679	2111726	547790	AT	Fluvisol mólico	Relicto de Bosque Plantas cultivadas	15-19	51.9
San Nicolás (SN)	Puebla	2419	2108583	554725	AT	Fluvisol háplico	Relicto de Bosque de encino, Árboles frutales: tejocote, manzana, perón, tepozán, nogal y parcelas de cultivo	21-22.6	4.15

PAM: pradera de alta montaña; VSABP: vegetación secundaria arbórea con bosque de pino; AT: agricultura de temporal (CONANP, 2015).

9.1 Cascada La Ranita: sitio altitudinal uno (3962 msnm)

Se ubica en alta montaña, en una altitud de 3962 msnm, es la zona de estudio más alta y se localiza geográficamente en las coordenadas UTM 2115807 m W y 537650 m N (figura 15). En este sitio, la vegetación presente es zacatonal montano cuya cobertura domina el paisaje y la presencia de un estrato de bosque de pino que prospera en la ladera umbría del lugar sobre un suelo clasificado por Sandoval (2016) como Andosol vítrico úmbrico (dístico, tixótropico, endoarénico) el cual se ha formado por depósitos de piedra pómez de aproximadamente 5000 años. El sitio se caracteriza por ser un humedal natural de montaña con arroyos someros, intermitentemente subterráneo o cubierto totalmente por la cobertura de la vegetación. Las raíces fibrosas del zacatonal montano, permiten la retención de abundante agua, al ser suelos someros a la profundidad fisiológica media y siempre se encuentran con un porcentaje importante de humedad.



FIGURA 15. Localización espacial del sitio Cascada La Ranita (Google Earth, 2017).

El uso de suelo es forestal, teniendo diversas funciones ecológicas, principalmente: provisión de agua, captura de carbono, regulación del clima, generación de oxígeno, asimilación de contaminantes, protección de la biodiversidad, protección del suelo, refugio de fauna silvestre y belleza escénica (CONANP, 2013; Colli, 2015). El suelo no presenta alteración importante y solo presenta afectación por la formación de pequeños caminos. Tiene una pendiente ligeramente ondulada que va de 2 a 5 %, por lo que el suelo tiene una ligera inclinación. Al encontrarse en una depresión intermontana, se forma un micro valle con relieve cóncavo-convexo (figura 16). La temperatura ambiental de este sitio se registró en 10 °C, con una humedad de 51.8 %. La vegetación predominante es de tipo zacatonal montano, de los géneros *Festuca sp* y *Muhlenbergia sp*, que se desarrollan en los llanos sobre sitios bajos y mal drenados (CONANP, 2013), en colinas adyacentes encontramos franjas de *Pinus hartwegii* achaparrados (20 m) en umbría, y con pendientes rocosas en solana. El arroyo presente es una corriente de agua permanente que se encuentra inalterado, aumenta de volumen en temporada de lluvias, mide 1 m de ancho y una profundidad de 6 y 12 cm en promedio, corre de norte-sur, con una velocidad de 0.45 m s⁻¹ y gasto de corriente de 1.70 m³ s⁻¹, y pendiente de 3.4° y 5.8°. La temperatura ambiental oscila entre 6 y 8 °C.



FIGURA 16. Vista panorámica del sitio (autor).



FIGURA 17. Cascada La Ranita (arriba) y la vegetación predominante, Zacatonal Montano (abajo).

9.2 Buenavista: sitio altitudinal dos (3309 msnm)

Sitio ubicado a 3300 msnm, a media montaña, geográficamente se localiza en las coordenadas UTM 2111201 m W y 542042 m N. El tipo de suelo es Andosol vítrico úmbrico (dístico, epiarénico) (Sandoval, 2016) y se ha desarrollado a partir de depósitos de pómez ocre, con andesita como material parental. El pH del suelo que se observó fue de 7.7. El relieve se clasifica como accidentado medio a accidentado, ya que al poseer ladera en solana con pendiente de 8-10% y ladera en umbría con pendiente de 10 y 21%, provocan una inclinación elevada, por lo que las laderas poseen un grado alto de erosión y el depósito en el pie de ladera es alto. Sin embargo por la capa de hojarasca dispuesta en el suelo y la presencia de plantas herbáceas, lo protege de la erosión.

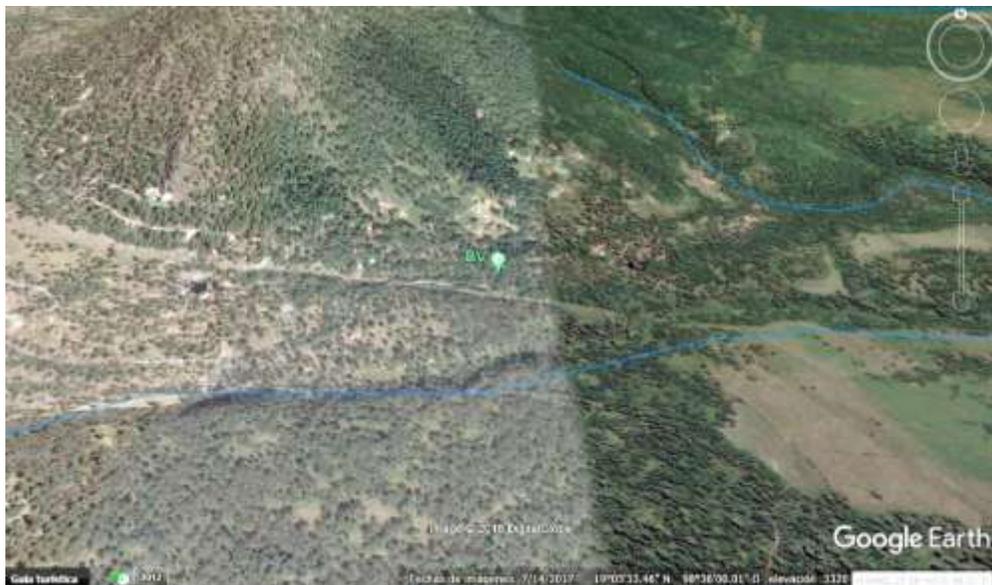


FIGURA 18. Localiación espacial del sitio Buenavista (Google Earth, 2017).

El uso de suelo es forestal ecoturístico, se observan una alta densidad de especies de coníferas con una gran abundancia y diversidad de arbustos y herbáceas, donde predominan las especies *Pinus hartwegii* y algunos individuos de *Abies religiosa*.

La capa protectora del suelo está compuesta por césped de gramíneas y mantillo de pino. A pesar de ser un sitio con una densidad alta de especies y un alto porcentaje de humedad, el suelo

que se encuentra en las laderas se encuentra seco o con bajo contenido de humedad, esto puede deberse al mantillo que mantiene al suelo prácticamente seco, que ha sido reportado en suelos cubiertos por *Pinus patula* (Jaramillo, 2002), y a la pendiente elevada, que hace que se mantenga, de alguna manera, alejado de la influencia del río.



FIGURA 19. Caídas de árboles sobre el trayecto del río (arriba) aspecto general del río (abajo).

La forma del relieve es convexa, moderadamente ondulado, con pendientes casi planas en el lecho del río. El río presente se muestra inalterado y es un sitio donador de agua, con un ancho de 1.18 m que lo más profundo llega a 50 cm (figura 20), el gasto de corriente oscila en 0.32 ms^{-1} con gasto de corriente de $9.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. la dirección del río es de Suroeste-Noreste. La temperatura ambiental fue de 8-12 °C con una humedad de 40%.



FIGURA 20. Buenavista. Avistamiento del río y de la vegetación que lo rodea.

9.3 Santiago Xalitzintla: sitio altitudinal tres (2679 msnm)

El sitio se ubica a 2679 msnm, geográficamente en las coordenadas UTM 2111726 m W y 547790 m N. El suelo se clasificó como Fluvisol mólico (ántrico, húmico, endoéutrico, endoesqueletico) (Sandoval, 2016) el material geológico es ríolita y andesita. El uso de suelo es agrícola forestal, compuesto por campos de cultivo de maíz principalmente (cultivo de temporal), y presenta relictos de bosque, con estrato arbustivo de *Pinus teocote* y *Pinus ayacahuite*, especies autóctonas que persisten en el sitio. A lo largo del cauce se conserva una franja de vegetación de 4 a 5 m adyacentes, se puede encontrar especies vegetales como *Salvia elegans*, *Senecio sp.*, *Salix sp.*, *Geranium sp.*, *Alchemilla sp.*, algunos helechos del género *Asplenium* y *Cheilanthe*. En ambas partes del sistema ribereño se eliminó la vegetación natural, en el caso de umbría se abrió un camino a poco tiempo de iniciar el estudio, en el mes enero del 2016, impidiendo seguir tomando datos en el suelo a la amplitud de 5 m. En solana, se estableció un área de cultivo, principalmente de maíz. El pH que presentó el suelo es de 6.4. La temperatura ambiente se registró en 15°C con humedad de 51.9 %.

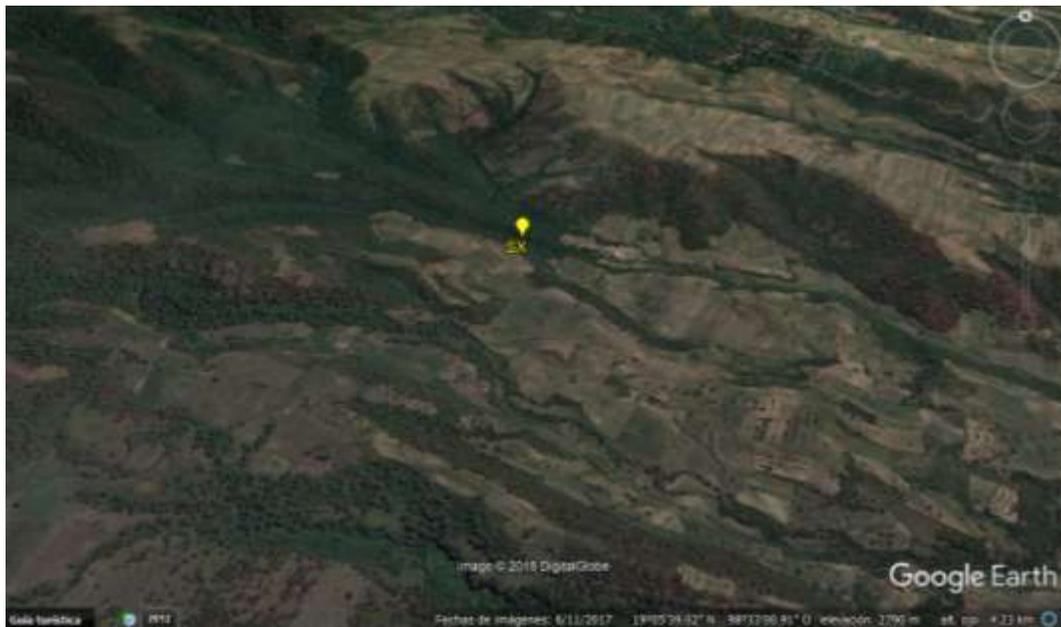


FIGURA 21. Localización y vista espacial del sitio Santiago Xalitzintla (Google Earth, 2017).

El ancho del río es de 1.50 m y la profundidad en promedio de 30 cm, la velocidad de corriente fue 0.37 m s^{-1} , y gasto de corriente de $9.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, con dirección Este-Oeste, el cauce del río es usado para el riego de las parcelas que lo rodean. El caudal disminuye drásticamente en época de estiaje, hasta la nula percepción de éste. La forma del relieve es cóncava, con una pendiente 4-7%, ligeramente inclinado y la erosión presente es hídrica laminar con arrastre de hojarasca principalmente. La capacidad de aireación es muy alta, el agua disponible para las plantas es media y la capacidad de retención de agua es baja.



FIGURA 22. Aparición de un camino en úmbria impidiendo el muestro posterior (arriba). Apariencia del afluente en Santiago Xalitzintla (abajo).

9.4 San Nicolás de los Ranchos: sitio altitudinal cuatro (2419 m snm)

Se ubica en los 2419 msnm, con coordenadas UTM 2108583 m W y 554725 m N en la parte mas baja de la subcuenca, sitio más cercano a los asentamientos urbanos (figura 23). Tiene un suelo de tipo Fluvisol háplico (ántrico, éutrico, tetrafico, Arénico) (Sandoval, 2016), de material aluviales (aluvion activo), el material geológico es riolita. El relieve es de tipo cóncavo, y presenta una pendiente de 2-5 %. El uso de suelo es agricola y urbano. Debido a la textura arenosa, el bajo contenido de MOS y la baja estabilidad de los agregados el factor de erodabilidad de estos suelos son altos

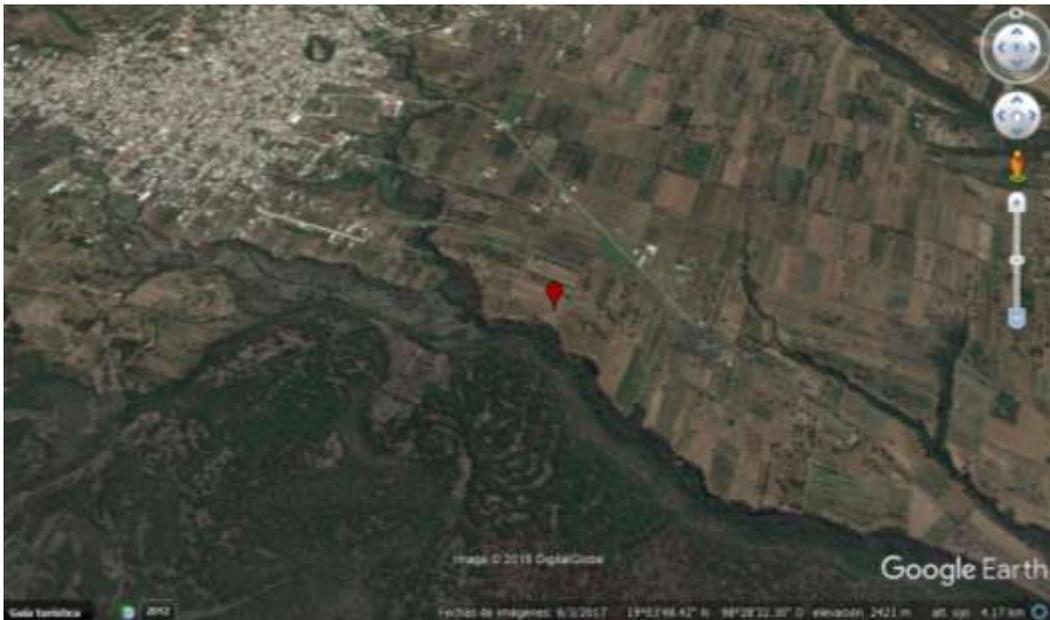


FIGURA 23. Localización y vista espacial del sitio San Nicolás de los Ranchos (Google Earth, 2017).

La vegetación que presenta es relicto de bosque de encino y domina la vegetación secundaria, donde predomina especies oportunistas e indicadoras de perturbación ambiental como *Alnus sp.*, también se pueden encontrar *Salix sp.*, *Buddleia sp.*, *Cestrum sp.*, *Senecio sp.*, y diversos árboles frutales; como durazno (*Prunus persica*), tejocote (*Crataegus mexicana*), pera (*Pyrus communis*), manzana (*Malus domestica*), capulín (*Prunus sp.*), nogal (*Juglans regia*).

Se reconocieron plantaciones temporales de *Zea mais* y *Vicia faba* en las laderas del sistema. En umbría los pobladores vertían desechos sólidos al sistema (basura), por lo que las lluvias y vientos arrastraban los desechos que llegaban a depositarse dentro de la corriente. El río corre de Noreste-Suroeste con una inclinación de 8 - 9% moderadamente inclinado. Se encuentra la desembocadura de las aguas residuales de la población cercana en la sección del río donde se realizó el estudio. El río tiene 2 m de ancho, con profundidad de 10 cm en promedio, la velocidad de corriente fue de 0.91 m s^{-1} y gasto de corriente de $14.87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



FIGURA 24. San Nicolás de los Ranchos, apariencia de ambas exposiciones y vegetación presente.

En el lapso de marzo a mayo del 2016 el municipio realizó trabajos para la instalación de una tubería paralelo al río, lo cual se produjo una remoción de suelo importante en la zona, dificultando los muestreos, posterior a estos meses el suelo se consideró aún más perturbado por el hombre. El pH del suelo que presentó que de 7.9-8, la temperatura ambiental de $21 \text{ }^\circ\text{C}$ y una humedad de 43.8% la mín. y 51% la máx.

9.5 Propiedades físicas y químicas de los suelos ribereños

El estado de las propiedades físicas, químicas y dinámicas del suelo, como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos o productos microbianos en un sistema edáfico particular constituyen la salud del suelo (Bautista *et al.*, 2004).

En el cuadro 8, se muestran los resultados generales de las propiedades físicas y químicas que se evaluaron en los suelos ribereños, las cuales están muy relacionadas con las características hídricas que poseen los suelos de los cuatro sitios en este estudio.

CUADRO 8. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Sitio	Exp	Amp	MOS	Arcilla	Limo	Arena	Capacidad de campo	Agua higroscópica	Espacio poroso	DA	DR	CE
		m	%						g cm ⁻³		dSm ⁻¹	
CLR	1	1	2.5	4.52	17.64	77.8	40.3	1.69	39.2	1.4	2.3	0.09
CLR	1	5	2	7.09	17.28	75.6	34.9	2.19	37.5	1.5	2.4	0.06
CLR	2	1	5.7	6.5	12.6	80.8	33.9	5.7	33.3	1.4	2.1	0.17
CLR	2	5	11.9	14.5	28.3	57.2	8.7	8.8	11.1	1.6	1.8	0.13
BV	1	1	6.7	6.72	13.28	80	61.4	3.54	61.9	0.8	2.1	0.05
BV	1	5	10.2	7.36	20.28	72.3	63.2	3.44	63.1	0.7	1.9	0.07
BV	2	1	9.7	4.4	18.6	77.0	55.7	4.5	57.9	0.8	1.9	0.08
BV	2	5	5.1	7.4	18.6	74.0	70.0	2.4	72.0	0.7	2.5	0.08
SX	1	1	2.6	4.72	9.64	85.6	79	1.14	22.9	0.7	0.5	0.07
SX	1	5	2.7	5.36	10.64	89	49.7	1.31	52.6	0.9	1.9	0.06
SX	2	1	5.4	5.7	16.3	78.0	68.6	2.0	69.5	0.7	2.3	0.35
SX	2	5	2.3	6.7	9.6	83.8	58.6	1.3	60.0	0.8	2.0	0.09
SN	1	1	3.7	5.72	12.8	81.4	42.2	1.35	43.4	1.3	2.3	0.23
SN	1	5	2.7	5.88	10.2	83.8	55.5	8.07	56.5	1	2.3	0.17
SN	2	1	3.5	5.5	17.4	76.7	42.1	1.4	41.6	1.4	2.4	0.19
SN	2	5	2.6	7.5	23.3	69.2	52.8	1.8	52.1	1.1	2.3	0.16
		$\bar{X}1$	4.1	5.9	14.0	80.7	53.3	2.8	47.1	1.0	2.0	0.16
		$\bar{X}2$	4.9	6.6	15.9	77.8	51.2	3.1	48.3	1.0	2.1	0.12

Exp. =Exposición de ladera; Amp. = distancia al arroyo; Exposición: 1= Solana; 2= Umbría; MOS = Materia Orgánica del suelo DA= Densidad aparente; DR= Densidad real; CR= Conductividad; CLR = Cascada La Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintl; SN=San Nicolás. $\bar{X}1$ = promedio de los parámetros en la exposición Solana; $\bar{X}2$ = promedio de los parámetros en exposición Umbría.

Una de las características química que afecta la absorción y retención de agua en el suelo, además de su importancia en la fertilidad, es la materia orgánica. La adición continua de residuos de plantas y otro tipo de materia orgánica por medio de su transformación por los organismos del suelo, proporciona capacidad para la auto recuperación de la arquitectura del suelo (FAO, 2016).

Por lo tanto la MOS es una constituyente de gran trascendencia. Dicha MOS juega un importante papel en la agregación, capacidad de retención de agua, capacidad de infiltración, y muchas otras características (Palmer, 1980).

La NOM-021-SEMARNAT-2000, reporta valores para clasificar los contenidos de la MOS (Cuadro 9), para suelos volcánicos y no volcánicos. Los valores encontrados en esta investigación van de 2.05 a 11.92% de MOS.

CUADRO 9. Valores de materia orgánica en suelos volcánicos y no volcánicos. NOM-021-SEMARNAT-2000.

Clase	Materia Orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	>16.1	>6.0

Los valores medidos de MOS, se recabaron al principio del estudio y se encontró que el valor más alto fue registrado en el sitio Cascada La Ranita (CLR) en la exposición umbría en la amplitud de 5 m, donde el pastizal montano, por los sistemas radiculares fibrosos, aporta altos niveles de MOS, mientras que el contenido de MOS más bajo se encontró en suelos de Santiago Xalitzintla (SX) que es adyacente a zonas agrícolas y a caminos que unen al pueblo con rancherías del lugar, por lo que se ha perdido más de 80% del contenido de MOS. En CLR, con suelo, en ambas exposiciones la diferencia es considerablemente alta, de lado de solana se observó un valor “muy bajo” (2.2 %) por que en esta exposición el lavado de partículas orgánicas y minerales es mayor, ésta ladera se encontrará al mismo nivel de donde corre río, teniendo una exposición continua a la corriente del afluente, cuando la corriente sube estacionalmente el lavado de partículas es mayor, por lo que la vegetación no logra establecerse y sostener el suelo. Por otro lado, en umbría se encuentra clasificado como “media” (8.5%), el suelo en umbría esta provisto de musgo en las partes mas cercanas al río y con zacatonal montano, por lo que el aporte de MOS es mayor de este lado del afluente.

El sitio Buenavista (BV) en solana tiene un valor “medio” (8.5%), y umbría “bajo” (7%), las laderas de este sitio tienen pendientes pronunciadas por lo que la luz no tiene gran distinción entre umbría y solana. El suelo está provisto por una gran capa de hojarasca, siendo un aporte continuo de MOS al suelo, considerado de los suelos más fértiles de este estudio. Cascada La Ranita y Buenavista son los suelos que en promedio tienen el mayor contenido de % MOS.

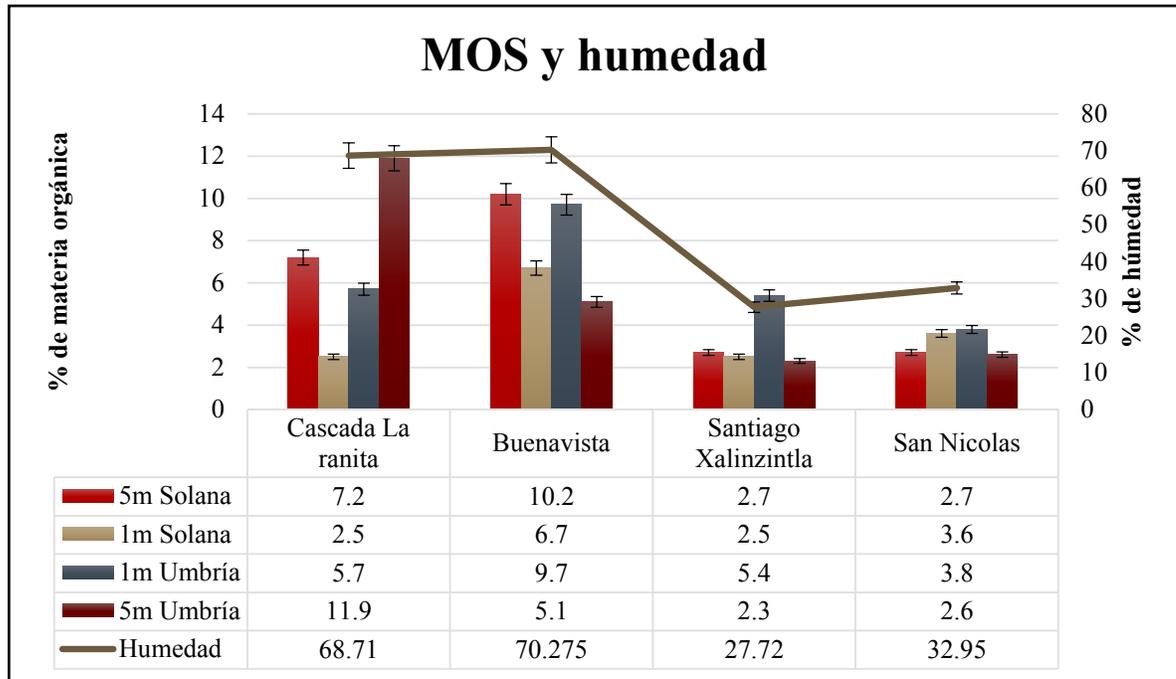


FIGURA 25. Porcentaje de MOS en los suelos estudiados. Distancias ; 5S = solana a 5 m de amplitud del río; 1S = solana a 1 m de amplitud del río; 1U = umbría a 1 m de amplitud del río; 5U = umbría a 5 m de amplitud del río.

Santiago Xalitzintla y San Nicolás se clasifican con cantidades de MOS “baja” y “muy baja”, siendo San Nicolás el sitio con menor porcentaje de MOS (3.1% en promedio) como se muestra en la figura 25. Estos sitios con uso de suelo agrícola, tienen escasa vegetación colindante, por lo que el suelo está suelto y disperso, provocando que las lluvias deslaven el suelo y se produzca la escorrentía. Cuevas (2006) afirma que la disminución de materia orgánica tiene efectos determinantes sobre las propiedades físicas mecánicas del suelo, especialmente por una disminución en la capacidad de retención de humedad, como puede evidenciarse en los sitios con suelos de tipo Fluvisol.

Hablando de la totalidad de datos, podemos observar en la figura 26 que en promedio encontramos más contenido de MOS en Buenavista, pero los datos más altos se encuentran en CLR. La materia orgánica tiene la facultad de absorber agua, por lo que es vital para la vegetación en suelos naturalmente secos y en este caso, arenosos. La MOS contribuye de manera positiva a la estructura del suelo, que mejora la infiltración del agua, reduce la exposición a la compactación, la erosión, y la desertificación y los corrimientos de tierra (SoCo, 2009). La falta de MOS nos da como resultado suelos degradados y frágiles a la erosión.

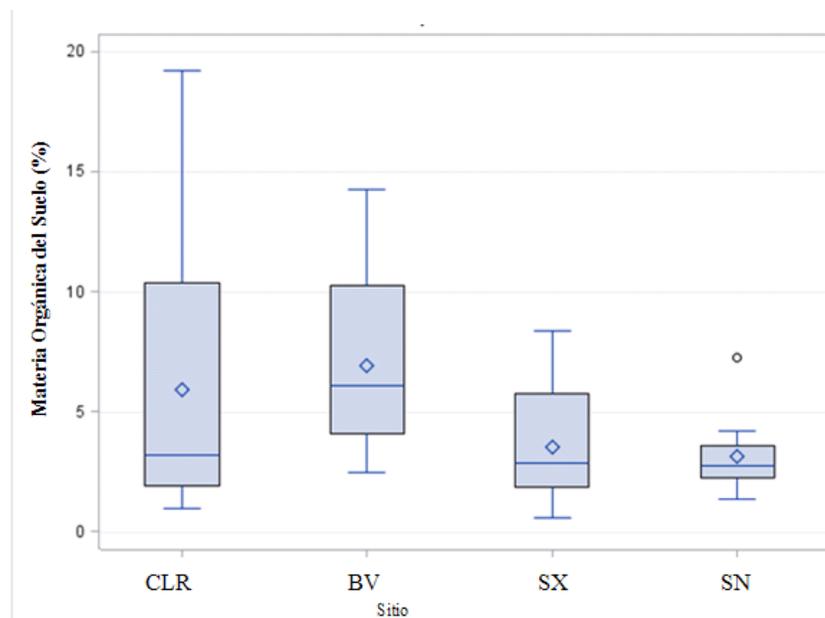


FIGURA 26. Distribución de los datos del porcentaje de materia orgánica. CLR = Cascada la Ranita; BV = Buenavista; SX = Santiago Xalitzintla; SN = San Nicolás de los Ranchos

Los valores de densidad aparente (DA) en suelos forestales de Cascada La Ranita oscilan entre 1.2 -1.4 g cm⁻³, datos que son altos para suelos no perturbados los cuales deben ser <1.0 g cm⁻³ (Siebe *et al.*, 2006). Estos resultados no corresponden con los valores de esta variable en suelos orgánicos, se atribuye a la cantidad de arenas que contiene este suelo, además podemos decir que indica abundancia de gran cantidad de cenizas y vidrio volcánico (Ping *et al.*, 1989, Alvarado & Forsythe, 2005). En Buenavista la DA es menor de 1 gcm⁻³, que genera condiciones apropiadas de fertilidad en este suelo que no ha sido alterado.

En los fluvisoles de los suelos agrícolas de Santiago Xalitzintla y San Nicolás se encontró que la DA va de 1.2 a 1.4 g cm^{-3} que son valores altos para suelos de textura franca, de modo que la alta densidad aparente se atribuye a la compactación de partículas por las actividades agrícolas, pecuarias y de uso urbano en estas zonas.

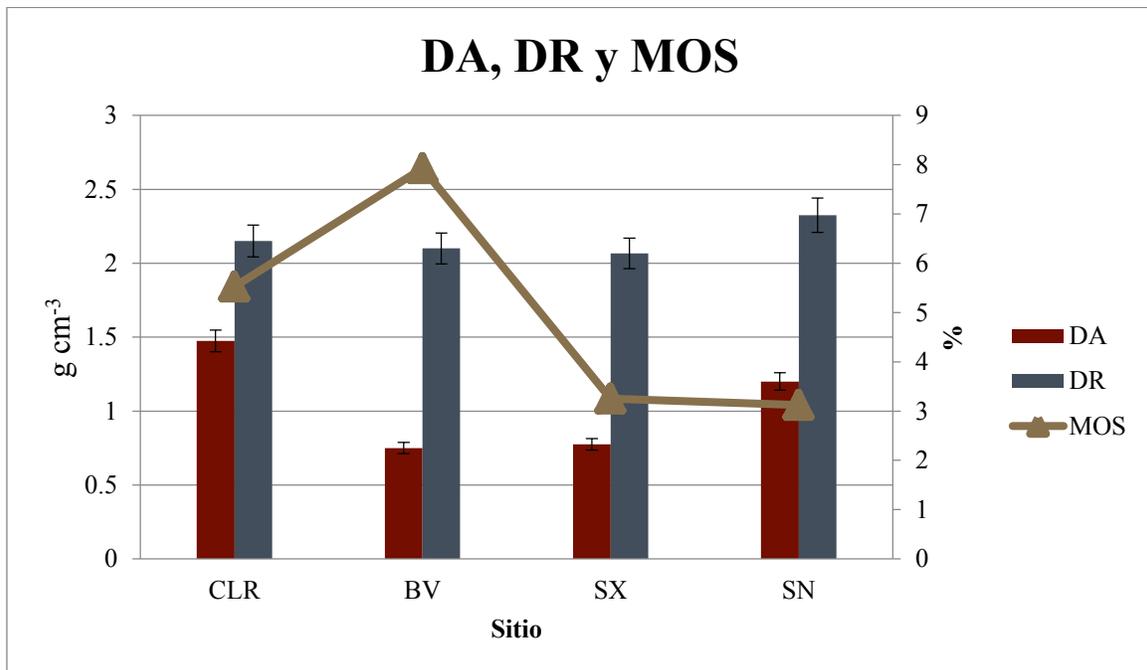


FIGURA 28. Valores de densidad real (DR), densidad aparente (DA) y materia orgánica del suelo (MOS). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.

La densidad real (DR) superó el valor de 2 g cm^{-3} , como se muestra en la figura 27, de acuerdo con Ruiz (2004), la DR aumenta con el cambio de uso de suelo de forestal a agrícola y disminuye con el aumento de la MOS, sin embargo no se encontró relación estadística significativa entre sitios los cuales representan cuatro usos de suelo.

El espacio poroso del suelo (EP) tiene un papel importante en la humedad del suelo, ya que a mayor compactación del suelo, menor porcentaje de EP, y es menor la retención de humedad, menor aireación y el drenaje es más lento (Guerra-Hernández & Cruz-Flores, 2014).

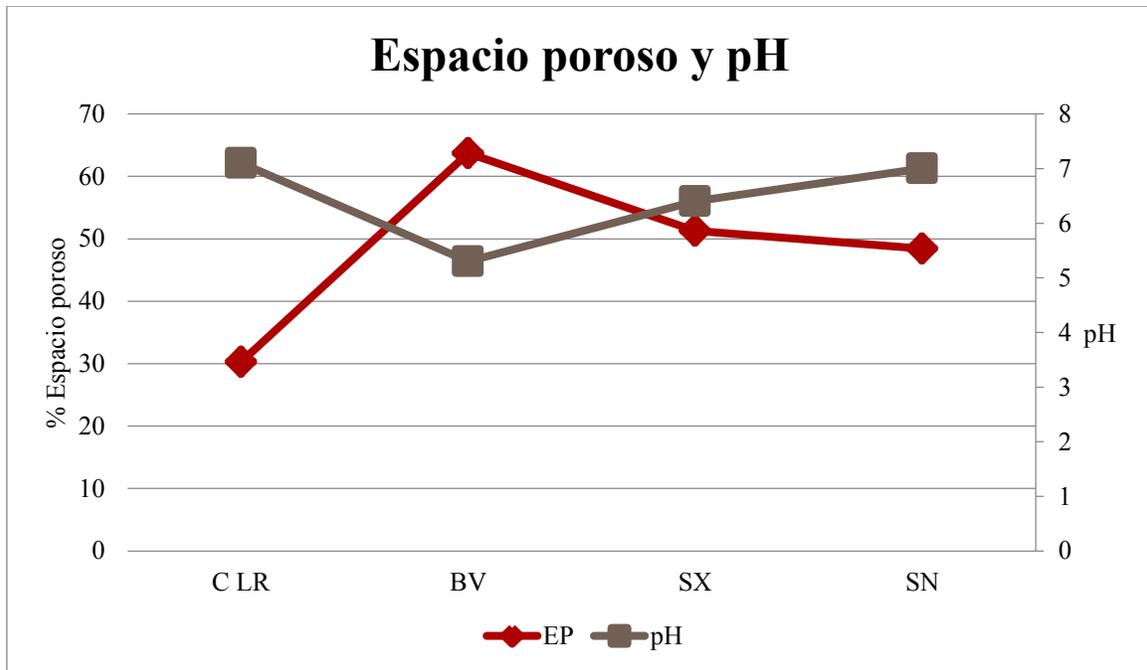


FIGURA 29. Relación del pH y el espacio poroso (EP). C LR: Cascada la Ranita; BV: Buenavita; SX: Santiago Xalitintla; SN: San Nicolás.

El EP en los suelos forestales conservados de Buenavita están por encima de 60% (figura 28), mientras que los suelos agrícolas son de 50 a 60%, que indicaría que tiene potencial para retener agua, sin embargo al contener menos MOS, el agua se pierde rápidamente. Esta relación del espacio poroso puede favorecer o limitar los procesos de germinación, crecimiento y desarrollo de la vegetación (Gonzalez *et al.*, 2011). En el caso de Cascada La Ranita, el porcentaje de EP es considerablemente bajo, con mayor contenido de humedad, consecuencia de las bajas temperaturas que padece este sitio con mayor altitud, aunado a la vegetación presente que aprieta el suelo provocando la falta de aire dentro del suelo.

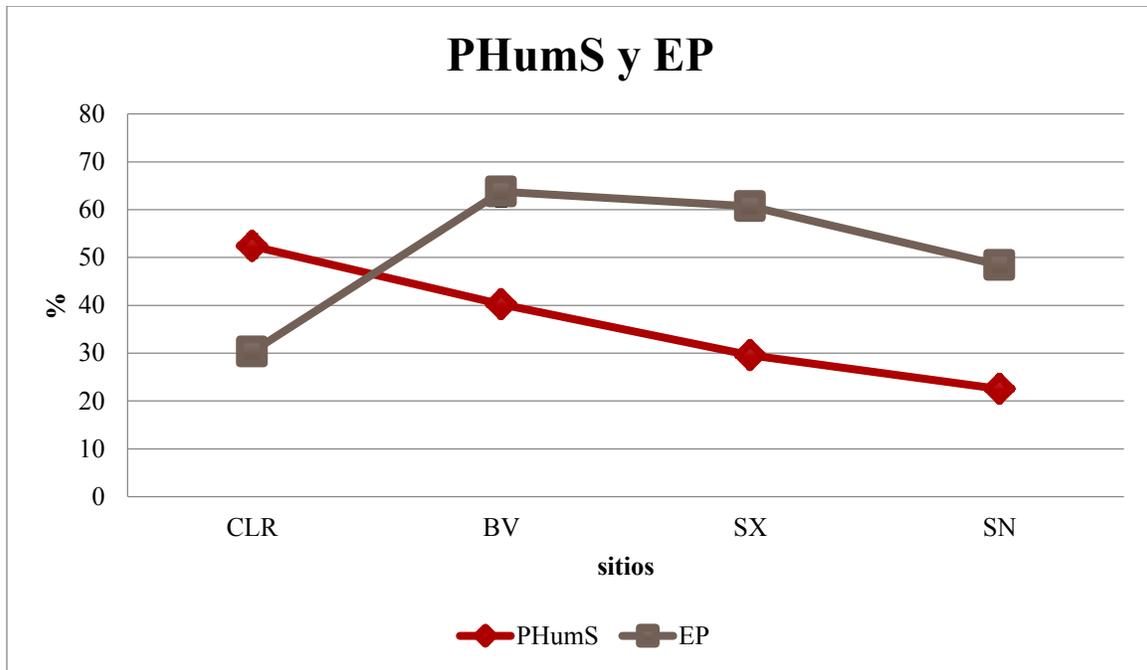


FIGURA 30. Porcentajes de Humedad del suelo (PHumS) y Espacio Poroso (EP). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolas de los Ranchos.

El contenido de humedad en el suelo y el espacio poroso, son inversamente proporcionales, la correlación tuvo un valor de $r = -0.58$ con diferencia significativa de ($p = 0.0001$) en la mayoría de los sitios, el caso de Cascada la Ranita difiere por contener alta densidad, ya que el zacatonal montano con las raíces fibrosas hace que el suelo se encuentre apretado y contenga alto porcentaje de humedad por retener bastante agua al grado de estar parcialmente inundado. Se puede observar en la figura 29 que en suelos de Santiago Xalitzintla y San Nicolás, es menos húmedo que en zonas forestales de los sitios Cascada La Ranita y Buenavista, debido a que en zonas altas con mayor cubierta vegetal y menos o nula fragmentación de los bosques, existe mayor porcentaje de humedad. La baja humedad en los suelos agrícolas indican el mal manejo del suelo, la labranza excesiva y la no aportación de MOS, se dregadan las partículas de limo y arcilla, incrementando la porción de arena, provocando que los suelos agrícolas no tengan la capacidad de absorción y retención de agua.

La conductividad eléctrica CE se ve influenciada por el contenido de agua, el de arcilla y la presencia de iones intercambiables en el suelo (Corwin *et al.*, 1999), capaces de conducir la corriente eléctrica y que inciden en las características nutritivas del suelo.

Los suelos que tienen una CE con saturación igual o mayor a 4 dS m^{-1} son considerados suelos con problemas de salinidad que reducen el crecimiento vegetal a pesar de que existen especies tolerantes a altas concentración de sales. Por lo tanto, se estableció que en los suelos estudiados no existe exceso de sales solubles y que son adecuados para el desarrollo de las plantas y microorganismos (NOM-021- SEMARNAT-2000).

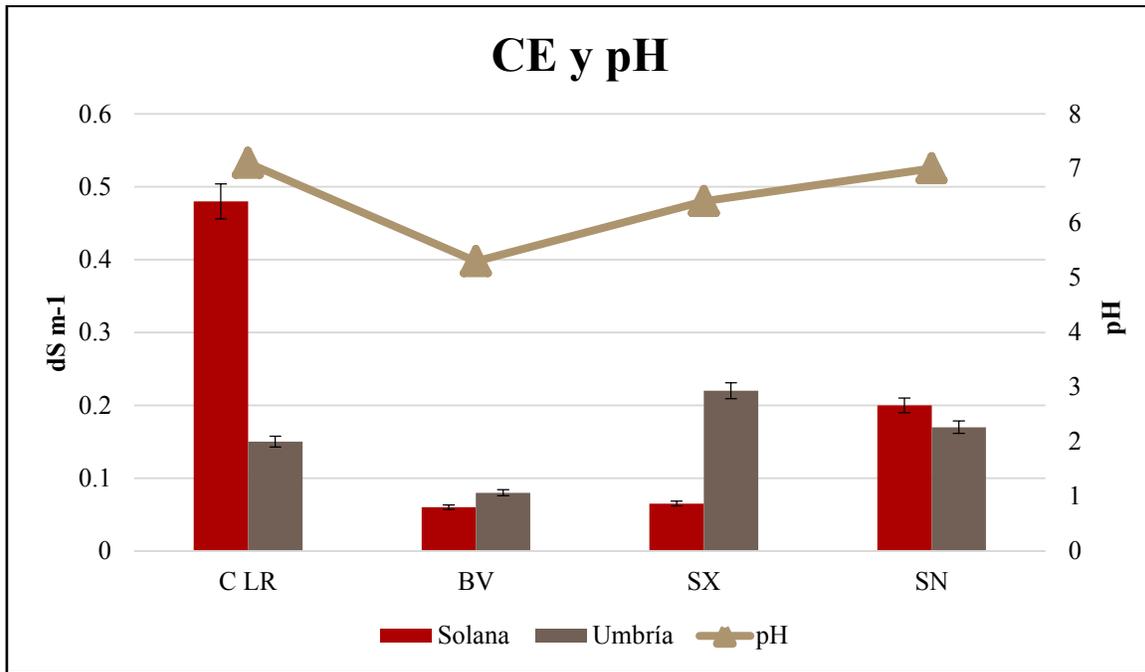


FIGURA 31. Conductividad eléctrica y pH en el suelo estudiado. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.

La CE de los suelos mostró valores de 0.09 a 0.48 dS m^{-1} . En la figura 30 se muestran los comportamientos de la CE comparado con los valores de pH del suelo, siendo los suelos de Cascada La Ranita y San Nicolás de los Ranchos los que tienen mayor CE, debido a la cantidad de materia orgánica en Cascada La Ranita, en cambio San Nicolás predominan los suelos agrícolas con adición de fertilizantes arrastados a las orillas del cauce.

La textura del suelo es un parámetro edáfico que determina con el tamaño y proporciones de las partículas minerales por las que se componen. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas (Gavande, 1979). En suelos de Bosque de pino-encino, texturas que van de limosa

a arenosa, mientras que en presencia de zacatonal en suelos de origen volcánicos, principalmente andosoles, cuentan con una textura arenosa o franco arenosa (Almeida-Leñero *et al.*, 2004; Buendía & Castañeda, 2011).

La textura del suelo estudiado es Arenosa-franca esto quiere decir que la fracción de arenas es mayor que las demás fracciones juntas (Siebe *et al.*, 2006; Guerra-Hernández & Cruz-Flores, 2014). En la figura 31 se muestran los porcentajes de las partículas minerales en los suelos del presente estudio. Los cuatro sitios poseen una gran cantidad de arena (> 70%), provocando que la infiltración de agua a través de estos suelos sea veloz. La MOS tiene una correlación significativa con los contenidos de arcilla ($r = 0.62, p < 0.0001$) y con el contenido de arena se correlacionan de forma negativa ($r = -0.523, p < 0.0002$), por lo que podemos decir que la MOS influye indirectamente con la infiltración del suelo al tener la relación con la textura.

Estos suelos arenosos cuando se secan, lo hacen con mayor velocidad que los demás suelos y con frecuencia las plantas se quedan sin agua, la infiltración tiende a ser muy rápida, el agua no se retiene en el suelo, y se infiltra hasta los horizontes más bajos del perfil (De la Peña, 1977, Palmer, 1980).

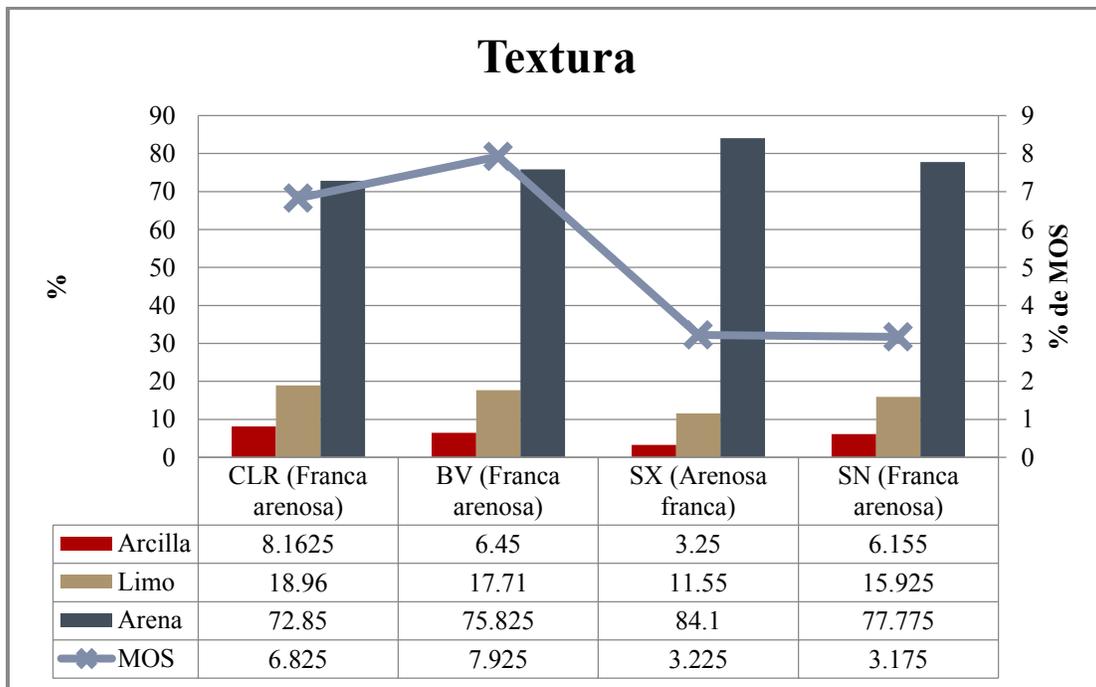


FIGURA 32. Porcentaje de las fracciones minerales y el contenido de MOS en los suelos de los 4 sitios del estudio. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolas de los Ranchos.

Cascada La Ranita, al contener mayor porcentaje de arcilla (8%), es el sitio que posee mayor absorción de agua y retención de la misma. Le sigue Buenavista con 6.4%, San Nicolás con 6.1 y por ultimo Santiago Xalitzintla 3.25%, siendo el sitio con menor absorción de agua en el suelo (figura 31).

Esta propiedad condiciona la capacidad de la vegetación riparia para relentizar el flujo de agua durante las avenidas, además del secuestro de sedimentos y nutrientes. Por lo tanto, esta propiedad del suelo se ve afectada por las actividades humanas que incrementan la velocidad del agua y el arrastre de sedimentos y encajamiento del cauce (Elosegi y Sabater, 2009). Los sitios Santiago Xalitzintla y San Nicolás, por ser suelos labrados y de uso agrícola, el contenido de arcillas es menor, la porción de arena supera por mucho a las dos fracciones juntas. Siendo suelos arenosos, y sin vegetación presente es difícil que tengan sostén por lo que con las lluvias es un hecho que ocurra erosión hídrica, impidiendo así la infiltración, y si llega a lograrse es muy rápida y el suelo no es capaz de absorber esa agua que pasa a través de él.

Los suelos arenosos contienen más macroporos, se caracterizan por ser sueltos, desmesurales y fácil de labrar; por lo tanto tiene alta capacidad de infiltración. Mendizabal (1968), dice que el impacto de la lluvia reduce la infiltración en suelos dispersables con facilidad, porque al disgregarse la estructura, las partículas disueltas en el agua tienden a sedimentarse y al ocupar el espacio poroso obstruyen la infiltración.

El agua es uno de los constituyentes más variables del suelo. Diferentes suelos tienen distintas capacidades de retención de agua, además, determinado suelo puede contener muy diversas cantidades de agua según la ocasión (Palmer, 1980).

El porcentaje de agua higroscópica (% AH) se presenta como una fina película alrededor de las partículas del suelo, probablemente de espesor de solo dos o tres capas de moléculas de agua. Las grandes áreas de las superficies exteriores de arcilla y MOS causan que los suelos con elevado contenido de estas, puedan retener más agua higroscópica que otros suelos (Palmer, 1980).

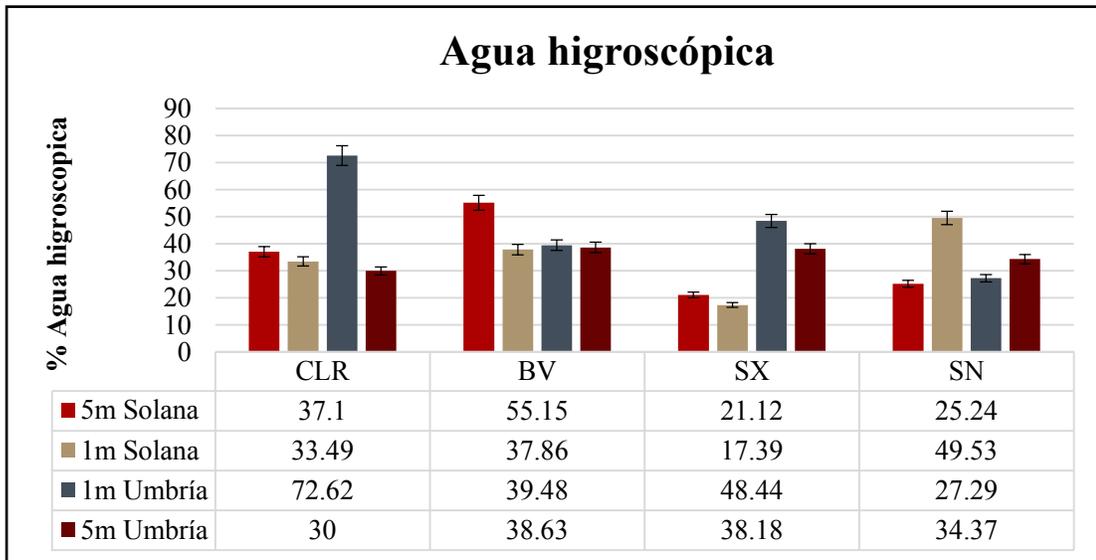


FIGURA 33. Agua higroscópica en los suelos del estudio, mostrando las diferencias que se encontraron en las amplitudes y exposiciones solares. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN=San Nicolás.

Como podemos observar en el grafico 32, el sitio que contiene mas agua higroscópica en las partículas de suelo es en Buenavista, debido a que es el sitio con mayor contenido de MOS y arcilla, por lo que tiene mas capacidad de adherencia de las moléculas de agua. El dato mas alto lo posee el sitio Cascada la Ranita en la exposición de umbría, siendo el punto con mas MOS y arcilla. El sitio con bajo % de AH es Santiago Xalitzintla, al ser el sitio con peores cualidades edaficas. San Nicolás de los Ranchos se encuentra bajo, pero se mantiene en un nivel considerado adecuado al suelo agrícola-urbano que presenta.

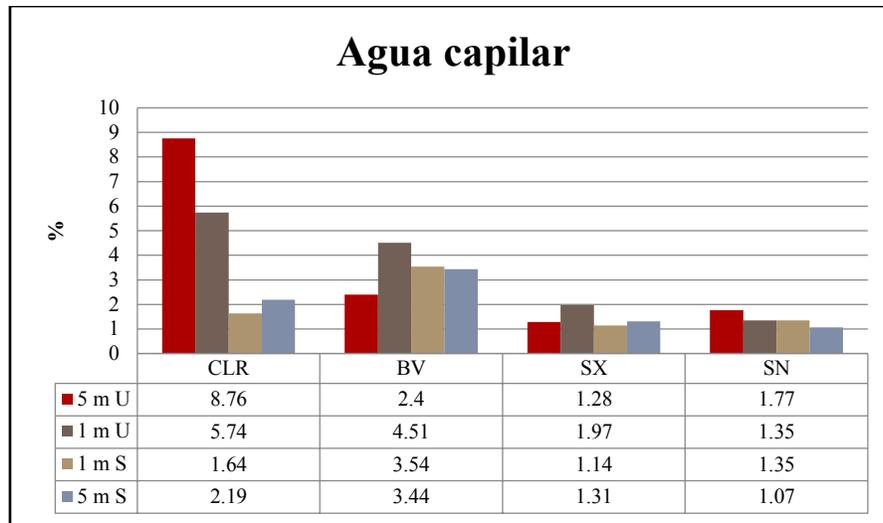


FIGURA 34. Porcentajes de agua capilar en el suelo de los sitios. CLR= Cascada la Ranita; BV=Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos. 1 m S= 1 metro de amplitud en ladera solana; 5 m S= 5 metros de amplitud en ladera solana; 1 m U= 1 metro de amplitud en ladera umbría; 5 m U= 5 metros de amplitud en ladera umbría.

El agua capilar se halla en el suelo a CC, pero puede perderse por evaporación. Se presenta en películas de agua alrededor de las partículas de suelo y llena los poros más pequeños. Comprende aquella agua aprovechable para el crecimiento de las plantas y cierta cantidad de la no aprovechable. La “solución de suelo” la constituye en su mayor parte el agua capilar más los materiales disueltos en ella (Palmer, 1980).

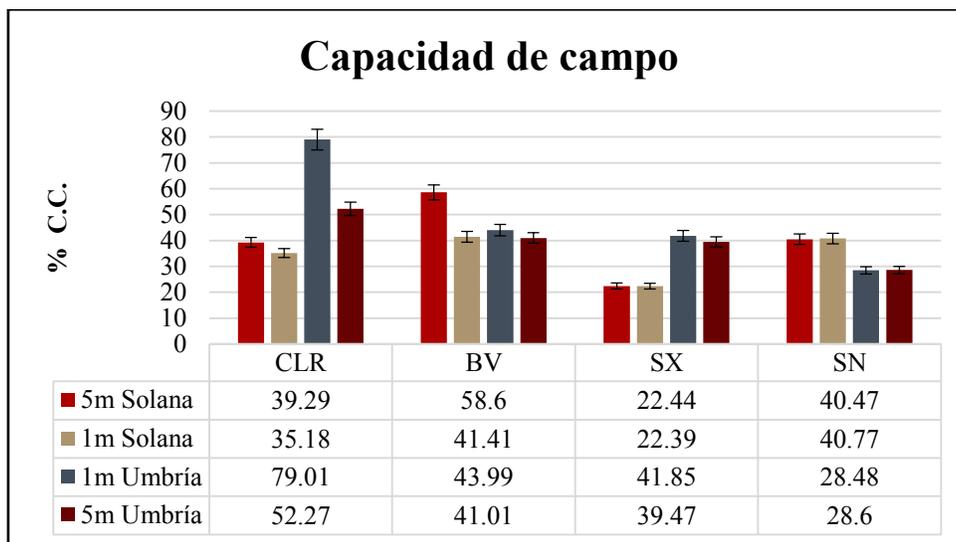


FIGURA 35. Porcentajes de agua capilar en el suelo de los sitios. CLR= Cascada la Ranita; BV=Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos. 1 m S= 1 metro de amplitud en ladera solana; 5 m S= 5 metros de amplitud en ladera solana; 1 m U= 1 metro de amplitud en ladera umbría; 5 m U= 5 metros de amplitud en ladera umbría.

El agua capilar de cada uno de los sitios se compara con la CC, y ambas con los contenidos de MOS y arcilla en cada sitio. El Andosol, a pesar de ser un suelo arenoso, suele contener altos porcentajes de MOS. La capacidad de campo (CC) es el porcentaje de agua que un suelo retiene después de ser saturado con agua y drenado por efecto de la tensión del suelo seco que se encuentra debajo de él. El suelo mantiene esta condición durante los 2 ó 3 días siguientes a la lluvia. El suelo permanecería más o menos con este mismo contenido de agua indefinidamente si no fuera ésta absorbida por la planta o se evaporara (Palmer, 1980).

Si realizamos una comparación del contenido de MOS y arcilla con las propiedades hidrológicas del suelo, podemos observar una tendencia, pero no se encontró correlación significativa entre los parámetros. La MOS y el contenido de Arcilla en el suelo tiene una correlación de $r = 0.520$ con diferencia significativa de ($p = 0.0007$). La Cascada la Ranita es donde se observa mayor % CC, % AH y % AC (figura 35), sin embargo, no es el que mayor % MOS posee. Buenavista es el sitio que tiene un alto contenido de MOS pero le segunda a CLR en los números de las propiedades hidrológicas en el suelo.

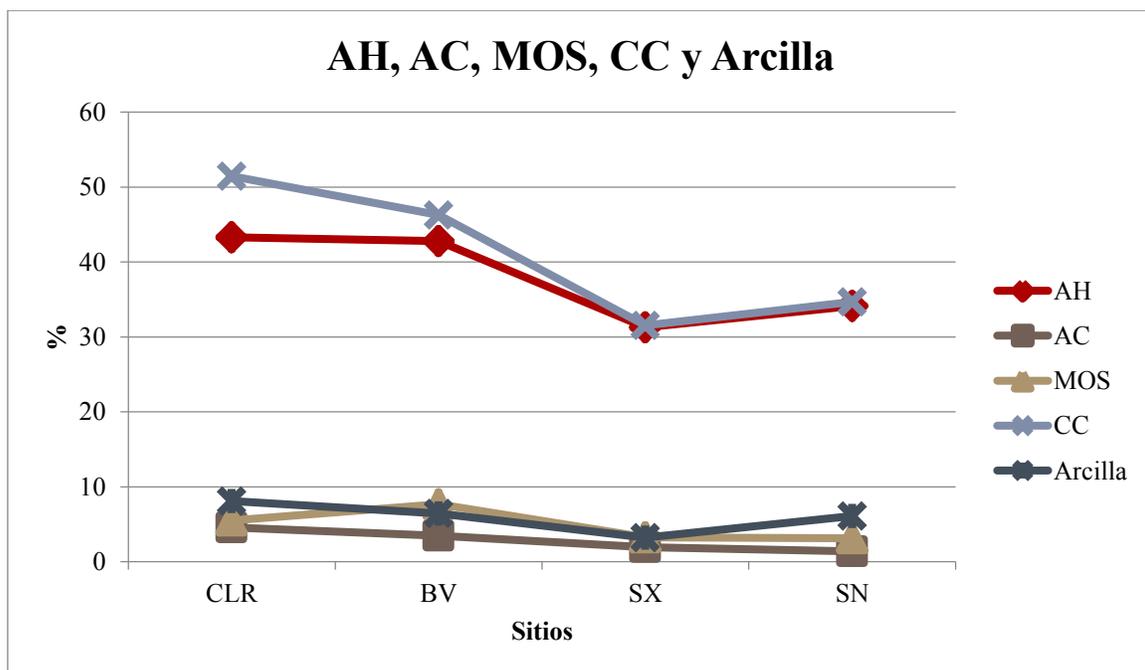


FIGURA 36. Relación de los cuatro parámetros Agua Higroscópica (AH), Agua Capilar (AC), Materia Orgánica del Suelo (MOS), Capacidad de Campo (CC) y Arcilla. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitintla; SN=San Nicolás de los Ranchos.

9.6 Velocidad de Infiltración en suelos ribereños

Inicialmente la infiltración depende de la succión, que a su vez depende del contenido de humedad en el suelo, mientras que el potencial de gravedad apenas influye. Esto explica que al comenzar el proceso de infiltración el valor es alto, decreciendo más tarde cuando aumenta el contenido de humedad hasta alcanzar un valor casi constante. Por ello los suelos secos infiltra más rápidamente que en suelos húmedos (Negro, 1998).

Los sitios estudiados fueron visitados mensualmente entre septiembre 2015 y noviembre 2016, las mediciones de infiltración tomadas en un mismo sitio, variaron a lo largo del año, ya que el suelo se encontraba con distintos contenidos de humedad. Se presentaron sucesos de índole natural y humano, que impidieron la medición de ciertos sitios. Se decidió agrupar los datos en las distintas estaciones del año, teniendo cuatro grandes grupos;

CUADRO 10. Promedios de las medidas de infiltración en cada estación.

Sitio	Exposición	Amplitud	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
		m	cm ³ /h			
1	1	1	160	fn	91.9	259.5
1	1	5	34.6	fn	364.5	243.1
1	2	1	86.0	fn	138.5	135.9
1	2	5	68.8	fn	352.6	37.3
2	1	1	6491.5	1,148.9	624.5	fn
2	1	5	3479.1	159.8	8584.5	fn
2	2	1	676.7	336.3	1624.5	2,224.9
2	2	5	480.2	305.9	5089.4	251.8
3	1	1	3142.6	4,449.7	8548.6	3,460.8
3	1	5	3894.2	2,234.3	9034.9	2,811.8
3	2	1	2906.1	2,665.9	1260.2	2,726.5
3	2	5	4100.9	fa	fa	fa
4	1	1	2081.0	1,261.8	2156.8	1,692.4
4	1	5	773.2	1,436.0	1145.9	1,157.2
4	2	1	1112.5	1,075.2	fa	1,689.0
4	2	5	1520.7	1,157.8	fa	1,200.3

Sitio: 1= Cascada La Ranita, 2= Buenavista, 3= Santiago Xalitzintla, 4= San Nicolás;
Exposición: 1= Solana, 2= Úmbria; Amplitud: 1= 1m, 2= 5m. fn: no determinado por factores naturales; fa= no determinado por factores antropogénico.

La infiltración que se registró en **Verano** obtuvo los datos más bajos, con el mínimo de 37.30 cm³ h⁻¹, y máximo con 3,460 cm³ h⁻¹, en los meses representantes de la temporada, se registraron potenciales lluvias, por lo que el suelo se encontraba con un alto grado de humedad.

En **Otoño** se destacaron los valores bajos de infiltración, con un mínimo de $34.60 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$ y máximo de $6,492 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$. Entrando en **Invierno** se registraron los valores más altos de infiltración, con un mínimo de $159.80 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$, máximo de $4,449.7 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$, tomando en cuenta que es la época que sigue del estiaje, el suelo contenía menor porcentaje de humedad, en lo contrario mayor recepción de agua. En **Primavera** los números se mantuvieron con $91.90 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$ como mínimo y $9,035 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1}$ máximo (cuadro 10).

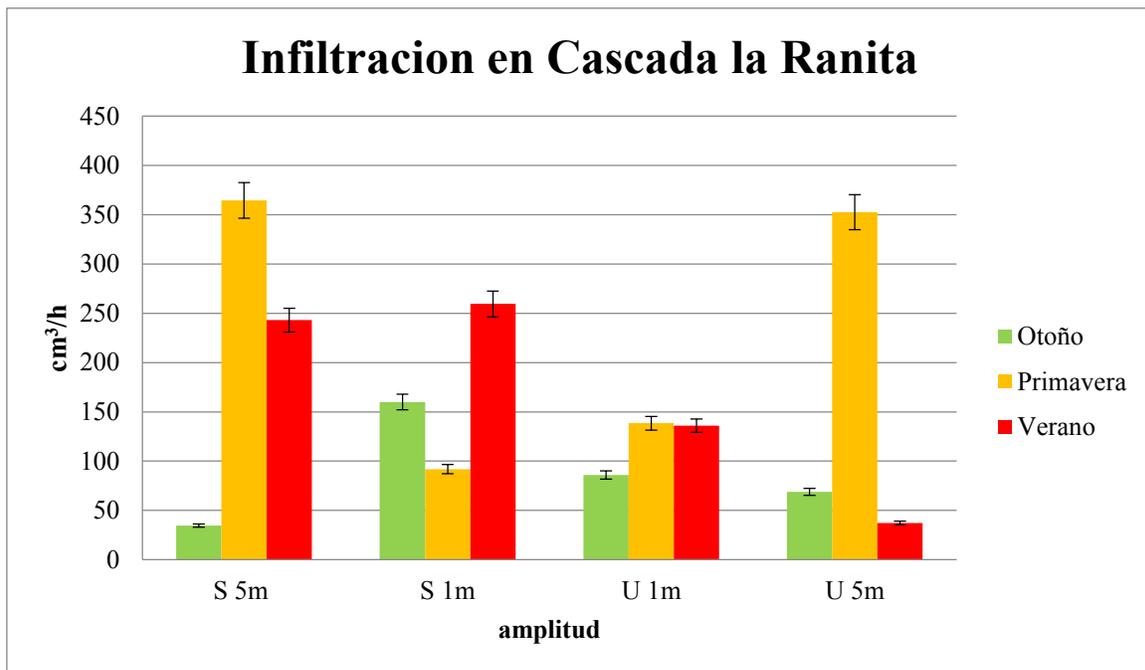


FIGURA 37. Gráfico de las infiltraciones en La Cascada La Ranita en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río.

En Cascada La Ranita (figura 36) se encontraron los valores de infiltración más bajos en el estudio, en este suelo forestal no perturbado con zacatonal montano como vegetación dominante, sufre de una saturación de agua constante, impidiendo que la infiltración sea veloz. La infiltración en esos suelos es muy lenta, debido al contenido inicial de humedad, que tiene al suelo prácticamente inundado, teniendo alto contenido de MOS, el agua se queda contenida en el suelo.

La mayor parte del año el suelo se encuentra saturado de agua con plantas, dependientes o tolerantes al exceso de agua y que viven en las orillas del arroyo. En temporadas de lluvia se forman pequeños humedales, en los que se encuentran fauna en estado larval.

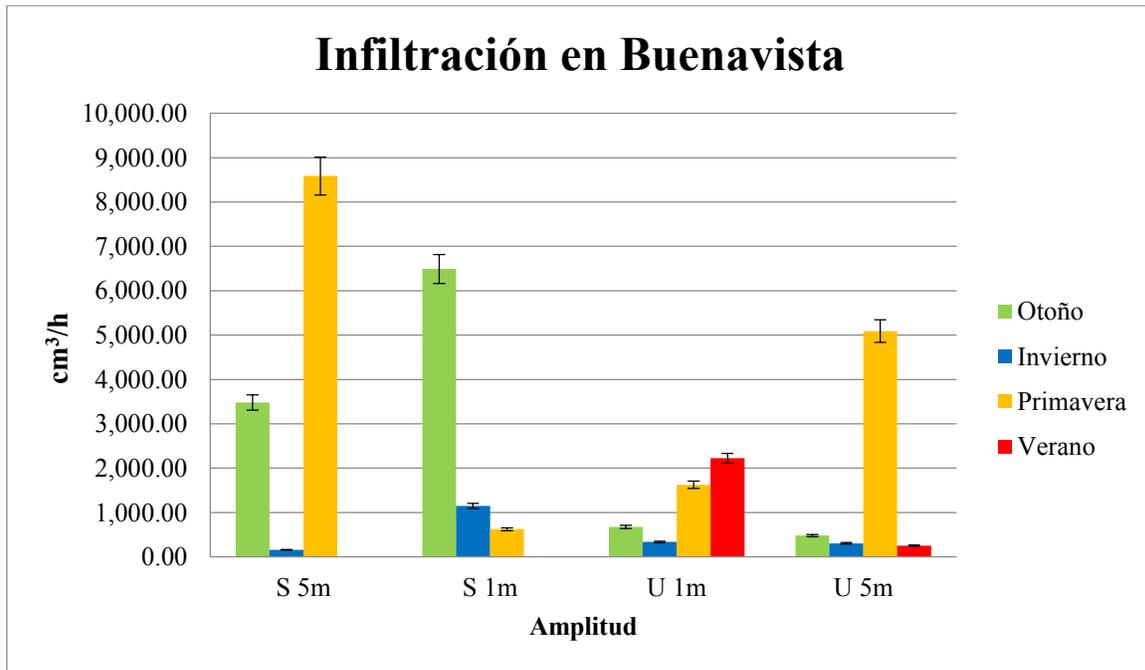


FIGURA 38. Gráfico de las infiltraciones en Buenavista en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbria 1 m de amplitud del río; U5= umbria 5 m de amplitud del río.

En Buenavista (figura 37) que es un sitio ecoturístico con suelo conservado, se mantiene con bajo volumen de infiltración de agua, y con diferentes mínimos y máximos en las cuatro estaciones, el suelo tiene presente hojarasca abundante de pino-encino que función como aislante hídrico en la superficie, manteniendo los contenidos de humedad estables.

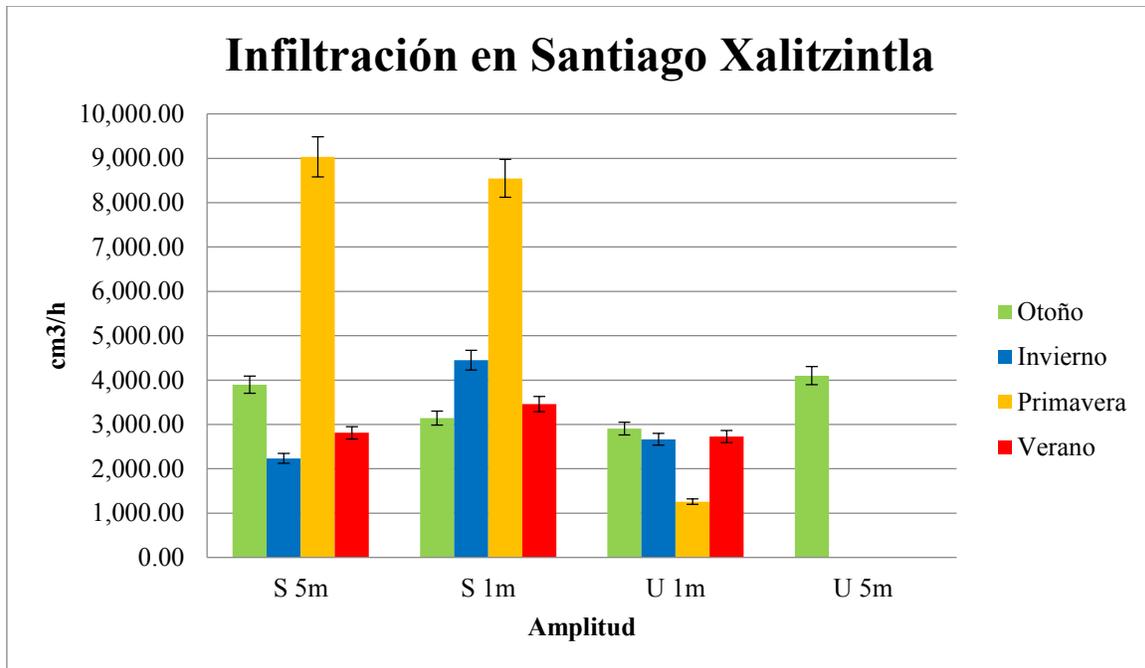


FIGURA 39. Gráfico de las infiltraciones en Santiago Xalitzintla en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río

Como se puede observar en la figura 38, el sitio Santiago Xalitzintla, con uso de suelo agrícola, posee los datos más altos de infiltración. Como se mencionó en la amplitud de 5 m en umbría se formo un camino por los pobladores para el paso de camiones, el sitio se muestra con un grado de perturbación mayor, el suelo esta compuesto con un alto porcentaje de arena (85%), presencia de piedra pómez, suelo descubierto, no presenta compactación, ocasionando deslaves depositando el suelo en el arroyo, evitando que la vegetación se establezca y se desarrolle.

La velocidad de infiltración en estos suelos es veloz, el suelo esta suelto y por carencia de MOS y de arcilla el agua no es retenida por las partículas del suelo, por lo que se entiende que por no tener estructura, en épocas de lluvias o de riego el suelo tiende a erosionarse y ser arrastrado para terminar en el río.

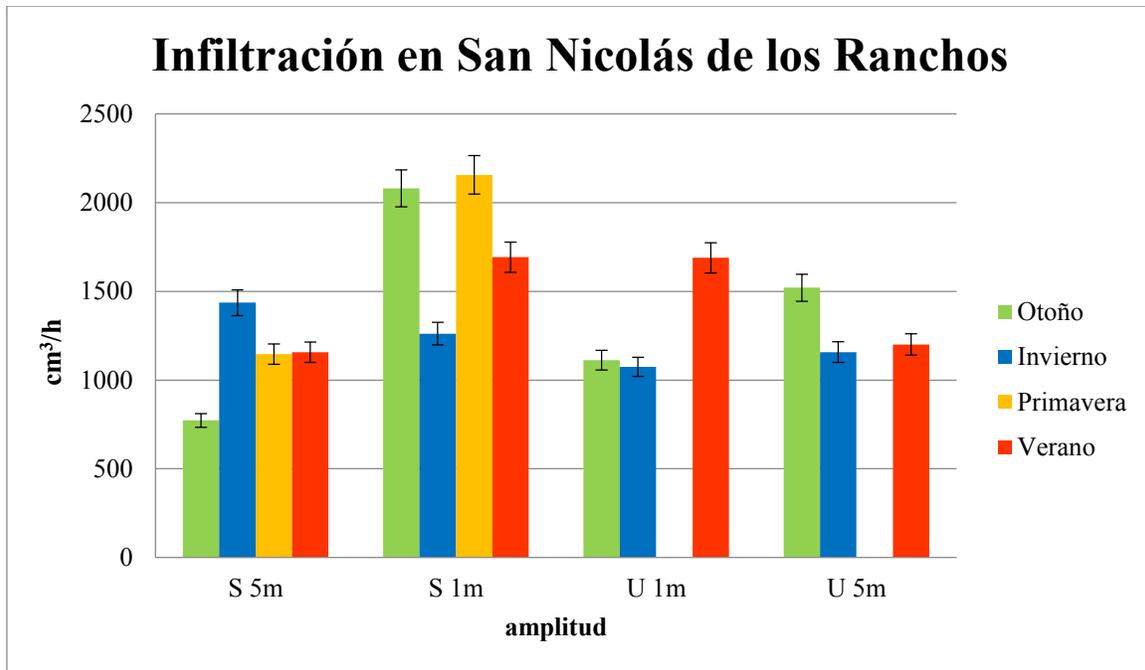


FIGURA 40. Gráfico de las infiltraciones en San Nicolás de los Ranchos en las estaciones del año a lo largo de un ciclo de estudio. S1= solana 1 m de amplitud del río; S5= solana 5 m de amplitud del río; U1= umbría 1 m de amplitud del río; U5= umbría 5 m de amplitud del río.

San Nicolás de los Ranchos (figura 39) con una perturbación importante, el suelo al ser fluvisol y contener proporciones de arena altas, en comparación la infiltración es media, en el sitio hay un relicto de bosque y gramíneas protegiendo el suelo inmediato al arroyo. La comidad de la población del área deposita el suelo acarreado de las zonas de cultivo y basura a las orillas del río, provocando una fuerte contaminación.

En general la infiltración es menor en suelo húmedos que en los secos. Si la precipitación de agua es mayor a la capacidad de retención, el agua infiltrará hacia zonas donde las raíces de las plantas no pueden acceder (Hillel citado por Osorno, 2006). Las propiedades químicas y físicas del suelo son las que le dan esta capacidad de retención de agua. A pesar de que el tipo de suelo es Andosol en los dos sitios más altos, y Fluvisol en los restantes bajos, poseen propiedades diferentes que le aportan capacidades diferentes.

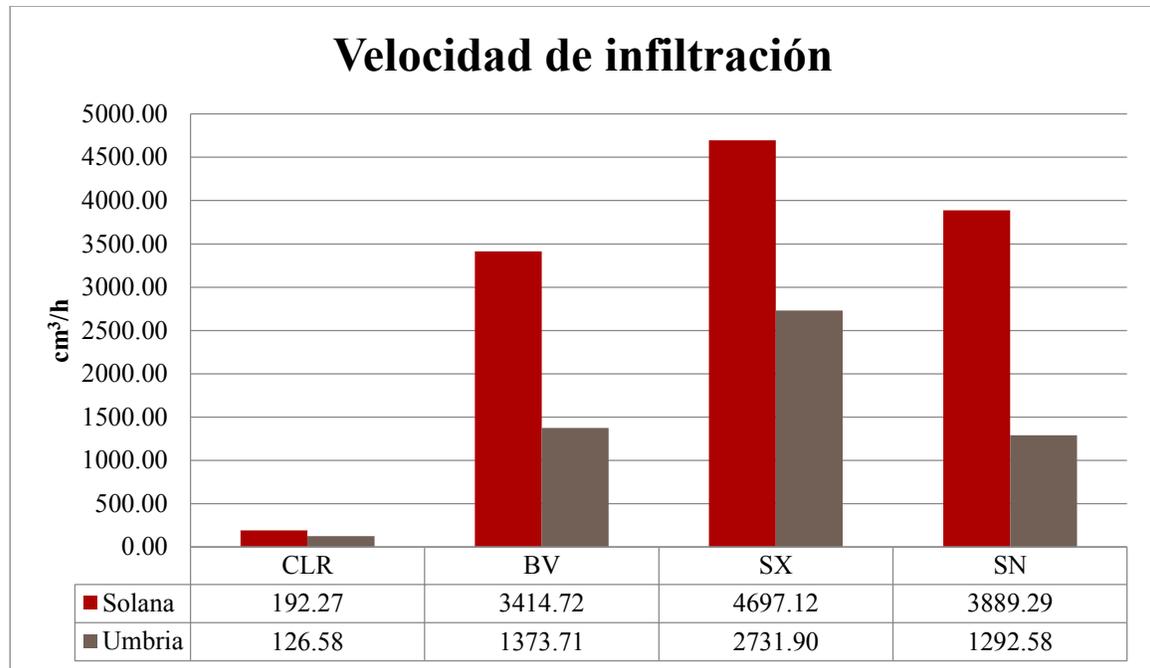


FIGURA 41. Promedios totales de las infiltraciones del estudio en solana y umbría. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavita; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.

La velocidad de infiltración fue mayor en la exposición Solana, ya que al estar más expuesto a los rayos del sol, este suelo pierde mayor humedad por evotranspiración, se documentó que la infiltración tiene colerración negativa con el contenido de humedad en el suelo ($r = - 0.718$) con diferencia estadística significativa de ($p \leq 0.0001$). En la exposición de umbría, se muestra notoriamente que hay menor velocidad de infiltración, por contener mayor humedad en el suelo (figura 40). Lopez-Lopez (2014) afirma que la exposición solana se presentan mayor temperaturas y menor humedad, contrario a laderas de umbría.

El contenido alto de arcilla en el suelo provocan poca aireación (Jaramillo, 2002), en el caso contrario las arenas ayudan al drenado del agua, constituyendo el esqueleto del suelo y creando poros (Pizarro, 2005). En esta investigación se observó que los contenidos de arcilla en el suelo tienen correlacion con la infiltracion de $r = - 0.520$ con ($p = 0.0007$) de forma negativa; en el caso de las arenas su contenido se correlaciona de forma positiva ($r = 0.658$, $p \leq 0.0001$), afirmando que los suelos con mayor porcentaje de arenas poseen la esctrutura para el paso del agua a través del suelo con más libertad.

Los valores de correlación entre la velocidad de infiltración y la densidad real tienen una correlación de $r = -0.5309$ con diferencia significativa de ($p = 0.0005$); entre la correlación de la infiltración con la DA presentó valores positivos con $r = 0.5134$ y ($p = 0.0022$); el espacio poroso influye significativamente con $r = 0.6913$ y ($p \leq 0.0001$). Da Silva y colaboradores (2010) mencionan que la infiltración de agua en suelos no tiene correlación significativa con diversos parámetros, excentuando los contenidos de limo y arcillas. Los parámetros que no tuvieron correlación significativa con la infiltración del suelo ribereño se muestran en el Anexo II.

De los análisis de varianza realizados al comportamiento de la infiltración de agua en los suelos en cada estación del año, se encontró que la infiltración en Otoño presenta dependencia significativa con la altitud y con la exposición pero no con la amplitud a la que se midió ($F = 13.67$; $p < 0.0001$). En la etapa de Invierno, la infiltración depende de la amplitud y también de altitud ($F = 10.28$; $p < 0.0001$) pero no de la exposición, ya que la radiación de sol no está tan marcada en ambas laderas en esta época del año. En el periodo de Primavera, la infiltración depende significativamente de los tres factores señalados (altitud, amplitud y exposición de ladera) ($F = 14.72$; $p < 0.0001$), finalmente en el periodo de Verano la altitud y la amplitud fueron las variables que influyeron significativamente sobre la infiltración de agua en el suelo ($F = 73.44$, $p < 0.0001$), ya que en esta época del año la temperatura afecta más en la evaporación de agua por lo cual no hay diferencia en exposición, sin embargo la amplitud más cercana al cauce el suelo está provisto de más humedad (Anexo III).

9.7 Grado de perturbación de la Vegetación (Índice QBR)

La vegetación ribereña comprende de la zona de ecotono en la transición entre un cuerpo de agua y el ambiente terrestre contiguo, desempeñando un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, además de la retención y atenuación de los efectos destructores de las avenidas del agua, la presencia de raíces de las plantas es un factor determinante para incrementar el espacio poroso del suelo y, a su vez, aumentar la permeabilidad (García-Hernández *et al.*, 2008). De acuerdo con lo anterior, más de la mitad del volumen de un suelo es espacio poroso y eso es principalmente propiciado por la fase de intercambio entre raíz-suelo.

La cobertura de la vegetación evalúa la conectividad entre el área ribereña y los ecosistemas terrestres adyacentes. La estructura vegetal evalúa la complejidad estructural del ecosistema ribereño, considerando que la heterogeneidad ambiental puede aumentar su biodiversidad.

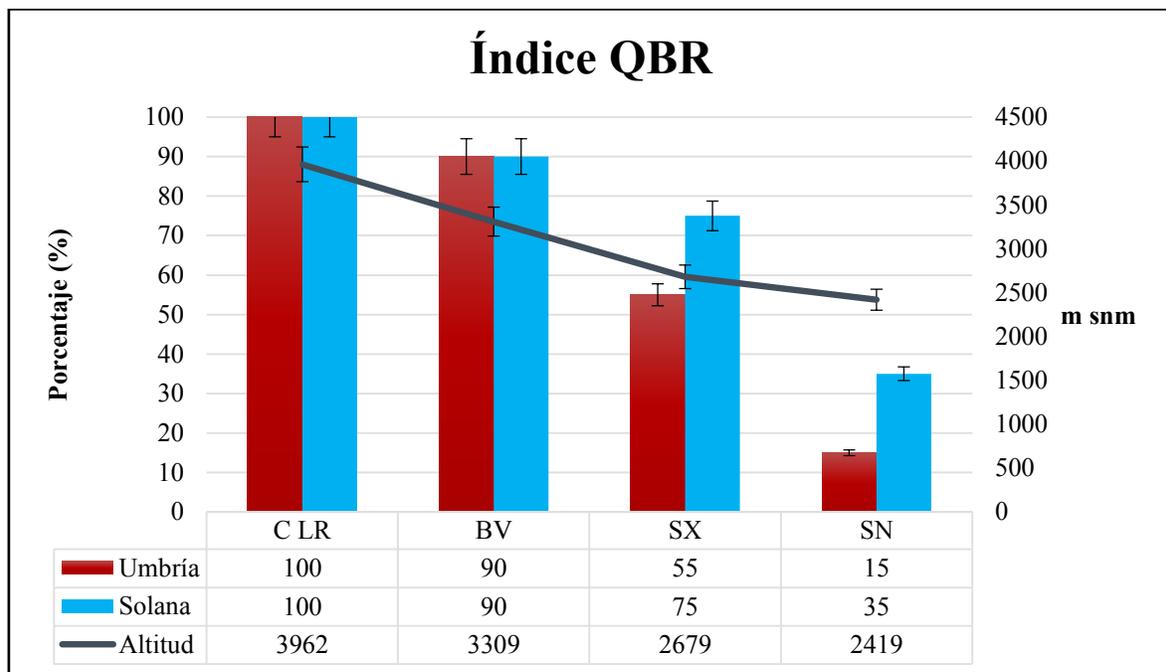


FIGURA 42. Puntuaciones obtenidas del índice QBR en la calidad de la vegetación raparia, en las exposiciones de Solana y Umbría. CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolas de los Ranchos.

Ma Luisa Suárez *et al.*, (2009) define que existe una dependencia la calidad de las riberas y la altitud en donde se encuentra el sistema, siendo positiva entre altitud y QBR.

Los resultados obtenidos aplicando el índice QBR permiten conocer el estado de la vegetación ribereña en el río de la microcuenca del río “Apol”, y poder realizar una comparación de las condiciones ecológicas del sistema fluvial.

Se tomaron parámetros cualitativos a criterio del equipo de trabajo para realizar el procedimiento, consideramos los resultados como se describen a continuación.

La zona ribereña de la Cascada la Ranita alcanzó el valor más alto en calidad de vegetación (cuadro 11) con un puntaje de 100, se clasificó con el color **AZUL** que se describe como “Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural”. Sé consideró la siguiente clasificación:

CUADRO 11. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Cascada la Ranita en umbría y solana

	Umbría	Solana
Grado de cubierta de la zona de ribera	80 de cubierta vegetal de la zona de ribera 25	80 de cubierta vegetal de la zona de ribera 25
	La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es total +10	La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es total +10
Estructura de la cubierta	Cobertura de los árboles es entre 50 y 70%, o cobertura de los árboles entre el 25 y 50% y el resto de la cubierta los arbustos superan el 25% 10	Cobertura de los árboles es entre 50 y 70%, o cobertura de los árboles entre el 25 y 50% y el resto de la cubierta los arbustos superan el 25% 10
	Si en la orilla la concentración de helofitos o arbustos es superior al 50% +10	Si en la orilla la concentración de helofitos o arbustos es superior al 50% +10
Calidad de la cubierta	Número de especies diferentes de árboles autóctonos (2) 10	Número de especies diferentes de árboles autóctonos (2) 10
	Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río como mínimo 3 m de ancho, uniforme y ocupando más del 75% de la ribera +10	Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río como mínimo 3 m de ancho, uniforme y ocupando más del 75% de la ribera +10
Grado del canal fluvial	El canal de río no ha sido modificado 25	El canal de río no ha sido modificado 25
Puntaje total	100	100

En general la vegetación de la Cascada la Ranita se consideró en óptimas condiciones, y a pesar de que no tiene especies arbóreas cerca del afluente, se le otorgó el mejor y mayor puntaje, siendo así el sitio más conservado.

Buenavista se clasificó el color **VERDE** el cual indica “Bosque ligeramente perturbado, calidad buena”, a pesar de que el sitio tiene un buen aspecto y calidad físicas, químicas y vegetativas, se pudo observar cierta alteración por parte de los visitantes a esta zona ecoturística (cuadro 12).

CUADRO 12. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Buenavista en umbría y solana

	Umbría	Solana
Grado de cubierta de la zona de ribera	80 de cubierta vegetal de la zona de ribera 25	80 de cubierta vegetal de la zona de ribera 25
	La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es total +10	La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es total +10
Estructura de la cubierta	Cobertura de los árboles es entre 50 y 70%, o cobertura de los árboles entre el 25 y 50% y el resto de la cubierta los arbustos superan el 25% 10	Cobertura de los árboles es entre 50 y 70%, o cobertura de los árboles entre el 25 y 50% y el resto de la cubierta los arbustos superan el 25% 10
	Si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y la de árboles con sotobosque +5	Si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y la de árboles con sotobosque +5
Calidad de la cubierta	Número de especies diferentes de árboles autóctonos (2) 10	Número de especies diferentes de árboles autóctonos (2) 10
	Número de especies de arbustos +5	Número de especies de arbustos +5
Grado de naturalidad del canal fluvial	El canal del río no ha sido modificado 25	El canal del río no ha sido modificado 25
Puntaje final	90	90

En Buenavista, la vegetación es autóctona, sin embargo ya se muestran cambios en el afluente así como evidencia de actividades ecoturísticas, así como basura de forma mínima, se le considera un sitio conservado pero con leve perturbación, siendo el segundo sitio mejor conservado.

En los sitios más bajos se puede notar que la fertilidad del suelo ha sido afectada por el impacto agrícola, por lo que se ve reflejado en el estado de la vegetación presente. En el sitio Santiago Xalitzintla se categorizó en el color **AMARILLO** que dice ser “Inicio de alteración importante, calidad intermedia”, este sitio, como ya se mencionó está entre relicto de bosque y parcelas de

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia

cultivo, sin embargo, el deterioro se puede priorizar en el labrado excesivo del suelo, afectando así, la vegetación natural que protege al afluente (cuadro 13).

CUADRO 13. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio Santiago Xalinzintla en umbría y solana

	Umbría	Solana
Grado de cubierta de la zona de ribera	50-80% de cubierta vegeta de la zona de ribera 10	50-80% de cubierta vegeta de la zona de ribera 10
	Si la conectividad entre el bosque de riberaa y el ecosistema forestal adyacentes es inferior al 25% -10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es entre 25 y 50% -5
Estructura de la cubierta	Cobertura de los árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25% 5	Cobertura de los árboles es entre 50 y 70, o cobertura de los árboles entre el 2 y 50% y en resto de la cubierta los arbustos superan el 25% 10
	Si existe una distirbucion regular (linealidad) de los árboles y el sotobosque recubre mas del 50% -5	Si en la orilla la concentracion de helofitos o arbustos es entre 25 y 50% +5
Calidad de cobertura	Numero de especies diferentes de árboles autóctonos 25	Numero de especies diferentes de árboles autóctonos 25
Grado de naturaldad del canal fluviar	El canal del río no ha sido modificado 25	El canal del río no ha sido modificado 25
Puntaje final	55	75

En San Nicolás se otorgó el color **NARANJA** en lado de solana, que significa “Alteración fuerte, mala calidad”, y **ROJO** en umbría “Degradación extrema, pésima calidad”, lamentablemente, la ribera está muy deteriorada por el movimiento del suelo, que se puede observar, se han realizado para los cultivos, además de que los residuos domésticos se depositan directamente al río, empeorando la calidad del agua, y afectando a la vegetación ribereña. La población que habita a los alrededores vierte los desechos (basura) sobre las pendientes de lado de Umbría, y llegan a depositarse al río empeorando aún más la calidad del ambiente ribereño (cuadro 14). Para poder realizar un estudio más completo, se esperaría realizar una medición anualmente.

CUADRO 14. Características consideradas adecuadas para la descripción de la vegetación de ribera en el sitio San Nicolás de los Ranchos en umbría y solana

	Umbría	Solana
1. Grado de cubierta de la zona de ribera	10-50% de cubierta vegetal de la zona de ribera 5	50-80% de cubierta vegetal de la zona de ribera 10
	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es entre 25 y 50% -5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacentes es inferior al 25% -10
2. Estructura de la cubierta	Cobertura de los árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25% 5	Cobertura de los árboles superior al 75% 25
3. Calidad de la cubierta	Sin árboles autóctonos 0	Sin árboles autóctonos 0
4. Grado de naturalidad del canal fluvial	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal 10	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal 10
Puntaje total	15	35

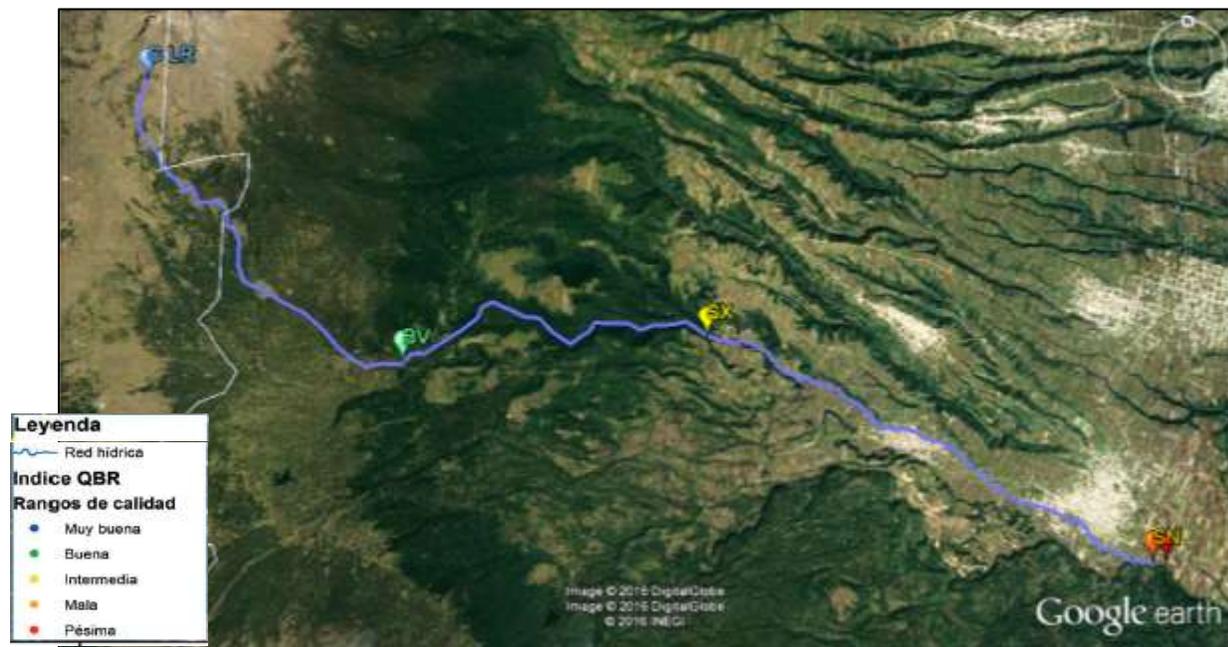


FIGURA 43. Estado de la vegetación según el Índice QBR (Google Earth, 2017). CLR= Cascada la Ranita; BV= Buenavista; SX= Santiago Xalitzintla; SN= San Nicolás de los Ranchos.

Carrasco *et al.*, (2014) comenta que los valores bajos de QBR son producto de la sustitución de la vegetación ribereña natural para el establecimientos de terrenos agrícolas y plantaciones forestales, como se muestra en el caso de Santiago Xalitzintla y San Nicolás.

La pérdida de la vegetación natural y la homogeneización estructural de los sistemas ribereños contribuyen a erosionar el área ribereña, ya que los cambios de uso de suelo, el establecimiento de plantaciones forestales, terrenos agrícolas, construcción de viviendas, caminos y puentes dejan el suelo vulnerable a la erosión (Carrasco *et al.*, 2014).

10. CONCLUSIONES

De las propiedades físicas que se determinaron, el contenido de humedad, contenido de arenas, contenido de arcillas, porcentaje de espacio poroso, densidad real y densidad aparente fueron las que más influyeron en la infiltración de agua presentando correlaciones significativas en este estudio. La propiedad química de contenido de materia orgánica en el suelo no tuvo correlación significativa con la infiltración.

La mayor infiltración se presentó en el sitio Santiago Xalitzintla cuya vegetación es principalmente de cultivos de maíz y algunos relictos de bosque, aunque también tiene la menor retención. La menor infiltración se observó en el sitio Cascada la Ranita con su vegetación original, compuesto por zacatonal montano, que con los aportes de MOS y las raíces fibrosas de la vegetación, compactan el suelo impidiendo el paso libre del agua disminuyendo la velocidad de infiltración, sin embargo, es el que mayor agua retiene.

De acuerdo con la exposición solar, se aseveró que el suelo de la ladera solana contiene menor humedad por lo que la infiltración es mayor, y en umbría ocurre lo contrario, el suelo tiene mayor humedad por lo que la velocidad de infiltración es menor.

En los suelos que se clasifican como Andosoles (Cascada la Ranita y Buenavista) la infiltración en estos suelos fue menor. Por otra parte los fluvisoles (Santiago Xalitzintla y San Nicolás de los Ranchos) con suelos aluviales al no poseer estructura no son capaces de retener agua, por lo que hay grandes pérdidas de agua en el momento en que ocurre la infiltración.

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

La diferencia altitudinal, tipo de suelo y vegetación presente, provoca condiciones de infiltración distintas a lo largo del afluente.

La dinámica del agua en el suelo de los sitios difiere debido a que su composición química y física son distintas. Las propiedades que influyen determinadamente en la infiltración de agua en el suelo son textura, densidad real, densidad aparente, espacio poroso y del propio contenido de agua y de su retención.

Cascada La Ranita, se identificó como el sitio con mejores condiciones que a fertilidad se refiere, al contener un alto porcentaje de materia orgánica, que también le da un mayor almacenamiento de agua, aunque la velocidad de infiltración es relativamente baja. Con los datos recaudados se concluye que ese sitio es el más conservado lo que se ratificó con el índice QBR que se clasificó como sitio ribereño en excelente estado.

En Buenavista, que es sitio ecoturístico, la velocidad de infiltración es entre baja y media, el mantillo rico en hoja de pino, impide el fácil acceso de agua al suelo. La materia orgánica es más

alta que todos los demás sitios, se consideró un sitio ribereño en buen estado según el índice QBR.

Santiago Xalitzintla y San Nicolás de los Ranchos, al encontrarse en suelos agrícolas, muestran menor contenido de materia orgánica, y al ser un suelo de textura arenoso la erosión hídrica es eminente. La velocidad de infiltración es alta, sin embargo al no tener poder de almacenamiento de agua, esta se pierde así como entra al suelo, siendo un problema para la vegetación presente. La vegetación de estos sitios es pobremente representada por pocos individuos autóctonos, dominando las especies introducidas y las de cultivo. En base con el índice QBR estos sitios están perturbados y en mal o crítico estado respectivamente en comparación a los sitios de mayor altitud donde domina la vegetación original.

Las amenazas por actividades antropicas que hacen vulnerables a los sitios Cascada La Ranita y Buenavista, son el ecoturismo no regulado y la formación de caminos. En Santiago Xalitzintla y San Nicolás que tienen más que amenazas, presentan serios problemas por el uso desmedido de las parcelas de cultivo, los depósitos de basura por parte de los habitantes cercanos lo que provoca que se compacte el suelo, estropeando su estructura, teniendo problemas de almacenaje de agua.

11. BIBLIOGRAFÍA

Agència Catalana de l'Aigua (2006). *Protocolo HIDRI. Protocolo para la valoración de la calidad HIDromorgolofica de los Rios.*

Almeida-Leñero, L., Giménez de Azcárite, J., Cleef, A. y González-Trápaga, A. 2004. Las comunidades vegetales del zacatonal alpino e los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, Región Central de México. *Phytocoenología*, 34(1), 91-132.

Alvarado, A. y Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.

Aparicio, J. C. (2016). *Caracterización y clasificación de suelos de sistemas ribereños del Parque Nacional Izta-Popo*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Baver, S., Gardner, W. y Gardner W. (1980). *Física de suelos*. Distrito Federal, México: Hispano-Americana, S.A. de C. V.

Bautista-Cruz, A., Etchevers-Barra, J., F. del Castillo, R. & Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Asociación española de ecología terrestre (AEET). *Ecosistemas*, 13 (2): 90-97.

Blanco R. H. (2009). *Identificación y manejo de las áreas de recarga hídrica en la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito San Carlos, Costa Rica*. Tesis, Universidad Estatal a Distancia. Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales, Costa Rica.

Buol, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. 1981. *Génesis y clasificación de los suelos*. Trillas. México, D. F.

Buendía, M. V. y Castañeda, V. D. 2011. *Detección de cambio de uso de suelo en el área de influencia del Pico de Orizaba*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Calder, I., R. (1996). *Dependence of rainfall interception on drop size: 1. Development of the two-layer stochastic model*. *Institute of Hydrology*, 185, pp. 363-378.

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia

- Camacho, R., F., Trejo, I., & Bonfil, C. (2006). *Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (78) pp. 17-31. Sociedad Botánica de México. Distrito Federal, México.
- Carrasco, S., Hauenstein, E., Peña-Cortes, F., Bertrán, C., Tapia, J. & Vargas-Chacoff, L. (2014). *Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial*. ISSN 0016-5301. Gayana Bot. 71(1): 1-9.
- Ceccon, E. (2003). *Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas*. Ciencias 72, octubre-diciembre, 46-53.
- Cerdà, A. (1995). *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterraneos*. Monografías Científicas. Geformas Ediciones. Logroño.
- Colli, C. M. (2015). *Actividad Arisulfatasa y Ureasa en la fertilidad de suelos ribereños del Parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
- CONANP. (2013). *Programa de manejo; Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl*. Distrito Federal, México: Semarnat.
- CORWIN, D.L.; LOAGUE, K.; ELLSWORTH, T.R. (1999). *Introduction: Assessing non-point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies*. In: Corwin, D.L.; Loague, K.; Ellsworth, T.R. eds. *Assessment of Nonpoint Source Pollution in the Vadose Zone*. Geophysical Monograph Series. Vol. 108. AGU, Washington, D.C., USA, p.1- 20.
- Cruz, F. G., (2006). *Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de las plantas superiores*. UNAM, México.
- Cruz-Flores, G., Etchevers-Barra, J. D. 2011. Contenido de Carbono orgánico de suelos someros en Pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia* 45(8): 849-862.

- Cuanalo de la C., H. (1981). *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Cuevas, B. J. (2006). *Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos*. R.C. Suelo Nutrición Vegetal 6 (2):13-27
- Da Silva, A., Gomes de Moura, E. & Camacho, J. (2010). *Variabilidad espacial de la infiltración y su relación con algunas propiedades físicas*. Ingeniería e investigación vol. 30 (2): 116-123.
- Daubenmire, R. F. 1979. *Ecología vegetal, tratado de autoecología de plantas*. 3a ed. Limusa. México, D. F.
- Decamps, H. 1996. *The renewal of floodplain forests along rivers: a landscape perspective*. Verh. Internat. Verein. Limnol., 26: 35-59.
- Demant A. (1978). *Características del eje neovolcánico transmexicano y sus problemas de interpretación*. Revista, vol. 2 (2), Instituto de Geología, UNAM, p. 178-187.
- De La Peña, I. 1977. *El buen uso y manejo del agua de riego*. Boletín técnico N° 8 del Comité Directivo del Distrito de Riego, 28-41. Oficina de Riego y Drenaje. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Elosegi, A. y Sabater, S. 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. España, Fundación BBVA.
- Escobar, E., M., Maass *et al.* (2008). *Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, en Capital natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 161-189.
- FAO. (2015). *Bosque, medio ambiente y necesidades del hombre, Medida de la tensión de la humedad del suelo*. [En línea]. Consultado el 19 de septiembre del 2015. [http://www.fao.org/docrep/f3730s/f3730s07.htm#medida de la tensión de la humedad del suelo](http://www.fao.org/docrep/f3730s/f3730s07.htm#medida%20de%20la%20tensi3n%20de%20la%20humedad%20del%20suelo)

- Figueroa, R. M. (2017). *Efecto de especies nativas y silvestres de Lupinus sobre la fertilidad del suelo agrícola*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Departamento de Biotecnología. México, D.F.
- Flores, D. L., & Alcalá, M., J. (2010). *Manual de procedimientos Analíticos*. Laboratorio de Física de Suelos. Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM.
- Fries, C. Jr., (1960). *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, Región central Meridional de México: Boletín del Instituto de Geología 60*, 236 p.
- García-Hernández, M., A., García-Hernández, M., A., Castellano-Vargas, I., Cano-Santana, Z., Peláez-Rocha, C., M. (2008). *Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados*. Terra Latinoamericana, Vol. 26, Núm. 1, Enero-Marzo, pp. 21-27 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A.C. Chapingo, México.
- Geissert-Kientz, D., Ramirez-Salazar, M. & Meza-Peraza, E. (2000). *Propiedades físicas y químicas de un suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México*. Foresta Veracruzana /2 (1): 31-34. Xalapa, México.
- Gómez- García, A., & Medina-Orozco, L. (2011). *Hidrofobicidad y estabilidad de microagregados del suelo como indicadores de degradación en la Cuenca del Río Cupatitzio, Michoacán*. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Gonzalez, S., R. Lopez-Roldan, and J.L. Cortina. Presence and biological effects of emerging contaminants in Llobregat River basin: A review. Environ Pollut. 2012 Feb;161:83-92. Epub 2011 Nov 2.
- Granados, D., Hernández, M., & López, G. (2005). *Ecología de zonas Ribereñas*. Revista Chapingo, Ciencias Forestales y del Ambiente 12 (1):5-69.
- Gregory, P. J., J. V. Lake, and D. A. Rose. 1987. Root development and function: effects of the physical environment. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

- Guerra-Hernández, E. A., & Cruz-Flores, G. (2014). *Métodos de evaluación y diagnóstico para agua y suelo*. Mexico, Iztapalapa, México: Univesidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández-García, M. A. & Granados-Sánchez, D. (2006). *El Parque Nacional Iztacihuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y El Impacto Ecológico-Social de su deterioro*. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 12 (2):101-109.
- Jackson, M. L. (1964). *Análisis químico de suelos*. Traducción al español por J. Beltrán M. Omega, Barcelona España.
- Jaramillo, J. D. (2002). *Introducción a la ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín.
- Jiménez, C C; Tejedor, M; Morillas, G; Neris, J. 2006. *Infiltration rate in andisols: Effect of changes in vegetation cover (Tenerife, Spain)*. Journal of Soil and Water Conservation; Ankeny 61 (3) : 153-158.
- Kramer, J., (1974). *Relaciones hídricas de Suelo y Plantas*. Distrito Federal, México: Edutex S.A.
- Lewis, L., L. Clark, R. Krapf, M. Manning, J. Staats, T. Subirge, L. Townsend, and B. Ypsilantis. (2003). *Riparian area management: Riparianwetland soils*. Technical Reference 1737-19. Bureau of Land Management, Denver, CO. BLM/ST/ST-03/001+1737. 109 pp.
- López-López, A. (2014). *Influencia del relieve sobre las propiedades del suelo en una catena en laderas de montañas del Parque Nacional Izta-Popo*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Instituto de Geología. Ciudad de México.
- Marrero L. (1960). *La Tierra y sus recursos. Una nueva Geografía General Visualizada*. Publicaciones Cultura. S.A. La Habana, Cuba. 394 pp.
- Martin, E. (2010). *Métodos para medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego*. Tucson, Arizona: The University of Arizona.

- Munné, A.; Solà, C. & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- Munné, A., Prat, N., Sola, C. & Rieradevall, M. (2002). *A simple field method for assesing the ecological quality of riparian hábitat in rivers and treams: QBR index*. Aquatic conserve: Mar. Freshw. Ecosyst. Pulished on line wiley InterScience
- Negro, V. (1998). *Cátedra de hidrología agrícola. Apuntes de infiltración*. Universidad nacional de Lomas de Zamora, Facultad de ingeniería y Ciencias Agriarías.
- Palmer, R., G., & Troeh, F., R. (1980). *Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de Laboratorio*. Traducido por el Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Peraza, M. (2009). *Evaluación de la zona de recarga hídrica y bosques ribereños en la Subcuenca del Río Cumes, Jesús de Otoro, Intibucá, Honduras*. Zamorano, Honduras.
- Pérez, I., 2016. Tres actividades humanas amenazan al Parque Nacional Izta-Popo. México: DGDC-UNAM. Recuperado de <http://www.ciencia.unam.mx>.
- Ping, C.L., S. Shoji, T. Ito, T. Takahashi y J.P. Moore. 1989. Characteristics and classification of volcanic-ash-derived soils in Alaska. *Soil Sci*. 148: 8-28.
- Pizarro, T. R., Sangüesa, P. C., Flores, V. J. P., & Martínez A. E. (2005). *Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la producción silvícola*. Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelo Ltda (Eds). Talca, Chile.
- Ortiz-Arrona. C. I., W. Gerritsen, P. R., Martínez- Rivera, L. M., Allen, A., Snoep, M. (2005). *Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México*. Cuba. ISBN 959-250-156-4.
- Osorio, N. W. (2012). *Como interpretar los resultados del análisis de fertilidad del suelo*. Laboratorio de Suelos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colbia-Sede Medellin. Boletín de Manejo Integral del Suelo y la Nutrición Vegetal, vol. 1 (6).
- Osorno C. K. (2006). *Infiltración del agua en el suelo manejado bajo enfoques orgánico y convencional con cultivo de maíz (Zea mays L)*. Universidad Autónoma Chapingo,

- Departamentos de suelos. Ingeniería en Recursos Naturles Renovables. Estado de México. p. 122
- Reyes, J. I. (1996). *Fundamentos teóricos-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo*. México, UAM, Unidad Iztapalapa.
- Rojas, J. M. (2012). *Densidad aparente: comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa*. INTA, Centro Regional Chalco Formosa. Estación experimental agropecuaria Sáenz Peña. Argentina.
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., Naulin, P. I. (2014). *Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile*. Bosque 35(1): 3-12.
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C. & Morton, A. J. (1972). *A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine*. Department of botany, Imperial College, London (Great Britain) Agricultural Meteorology, 9 (1971/1972) pp. 367-384.
- Ruíz, A. C. 2004. Evaluación del cambio de uso y su impacto en suelos forestales en el volcán Citlaltépetl, Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Rzedowski, J. & Calderón de Rzedowski, G. (2010). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad. CONABIO. Ed. Digital
- Sánchez, F. J. (2011). *El ciclo hidrológico*. Universidad de Salamanca, España.
- Sandoval-Aparicio, J. (2016). Caracterización y clasificación de suelos de sistema ribereños del Parque Nacional Izta-Popo. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México.
- Sau, S. N. (1996). *Estudio topohidráulico e hidrológico para el cruce del km .0 + 20 sobre el río Altar estado de Sonora, México*. Universidad de Sonora, División de Ingeniería. México

Siebe, Ch. R., Jahn, R. & Stahr, K. (2006). *Manual para la descripción ecológica de suelos en el campo*. Serie de Publicaciones Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. 2° Ed.

Soto, N. S. (1996). *Estudio topohidráulico e hidrológico del río Altar México*. México: Universidad de Sonora.

M^a Luisa Suárez, M^a Rosario Vidal-Abarca, M^a del Mar Sánchez-Montoya, Javier Alba-Tercedor, Maruxa Álvarez, Juan Avilés, Núria Bonada, Jesús Casas, Pablo Jáimez-Cuéllar, Antoni Munné, Isabel Pardo, Narcís Prat, Maria Rieradevall, M^a Jacoba Salinas, Manuel Toro & Soledad Vivas. (2004). *Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR*. *Limnetica*, 21 (3-4): 35-64 (2002) .

USDA, (1999). *Guía para la evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Departamento de Agricultura de los EE. UU. Washington, DC.

Weisberg, P., Monterson, S. & Dilts, T. (2013). *Gallery Forest or Herbaceous Wetland. The need for multi-target perspective un riparian restoration planning*. *Restoration Ecology* 21 (1): 12-16.

Zapata-Sierra A., y Manzano-Agugliero F., (2008). *Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo*. Departamento de Ingeniería Rural. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alemania. Almería, España.

Zavaleta H., Cruz-Jiménez, H. & Márquez, R. (2012). *Potencial de infiltración de agua de lluvia a partir de la retención de una plantación forestal*. Xalapa, México, ISSN: 1405-7247. *Foresta Veracruzana* 14 (1) : 23-28.

11.1 Páginas web

FAOa. (2016). *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible*. Recuperado de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/fme/economic.pdf

- FAOb. (2016). *Generalidades: pluviosidad, infiltración, escorrentía*. Recuperado de ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6705s/x6705s01.htm
- FAOc. (2016). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, Cap. 3. Agua de lluvia, productividad de la tierra y sequía*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s07.htm#TopOfPage>
- FAOd. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo*. Boletín de suelos de la FAO. Roma, Italia. pp. 131.
- FAOe. (1999). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo. ISRIC, Centros internacional de Referencia e Información de Suelos. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/images/resources/pdf_documents/wsrr84s.pdf
- Ibáñez, J. & Manríquez C. (23 noviembre, 2011). *Los Andosoles (WRB 1998): Suelo Volcánicos*. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258>
- INEGI, (2015). Simulador de cuencas hidrológicas. Recuperado de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
- Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo). (2009). *Proceso de degradación del suelo; Pérdida de la Materia Orgánica* (Ficha informativa n. °3). Recuperado de <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-03.pdf>

ANEXO I

Índice QBR

Río:		Localidad:	
Fecha:		Observador:	

CLASIFICACIÓN DE LA ZONA DE RIBERA DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25.

Grado de cubierta de la zona ribereña

Entre 0 y 25

Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera).

Entre 0 y 25

Puntuación:	
25	Cobertura de los árboles superior al 75%
10	Cobertura de los árboles entre el 50 y 75%, o cobertura de los árboles entre el 25 y 50% y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25%.
5	Cobertura de los árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25%
0	Sin árboles y arbustos por debajo del 10%
+10	Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50%
+5	Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 50 y 25%
+5	Si existe una conexión entre la zona de arbustos y el de árboles con sotobosque.
-5	Si existe una distribución regular (linealidad) de los árboles y el sotobosque recubre más del 50%
-5	Si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad
-10	Si existe una distribución regular (linealidad) de los árboles y el sotobosque recubre menos del 50%

Calidad de la cubierta (véase, la determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera) entre 0 y 25

Puntuación:		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
25	Número de especies diferentes de árboles y arbustos autóctonos	>1	>2	>3
10	Número de especies diferentes de árboles y arbustos autóctonos	1	2	3
5	Número de especies diferentes de árboles y arbustos autóctonos	-	1	2
0	Sin árboles autóctonos			
+10	Si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río como mínimo 3m e ancho, uniforme y ocupando más del 75% de la ribera.			
+5	Si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50 y 70% de la ribera).			
+5	Si existe una disposición en bandas paralelas al río.	>2	>3	>4
+5	Número de especies de arbustos			
+5	Si existen estructuras construidas por el hombre			
-5	Si existe alguna especie de árbol introducida (aloctona)* aislada			
-5	Si existen especies de árboles aloctonas* formando comunidades			

Infiltración de agua en suelos ribereños con distintos tipos de vegetación en el Parque Nacional Izta-Popo y sus zonas de influencia

-10	Si existen vertidos de basura			
-10				

Grado de naturalidad del canal fluvial

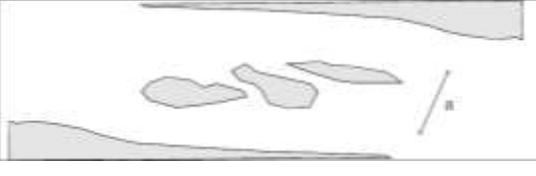
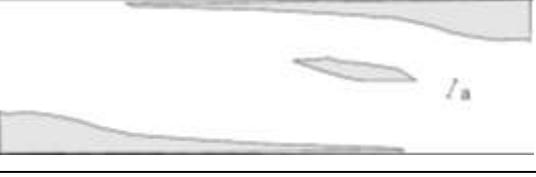
entre 0 y 25

Puntuación:	
25	El canal del río no ha sido modificado
10	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
5	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
0	Río canalizado en la totalidad del tramo
+10	Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
-10	Si existe alguna pesa u otra infraestructura transversal en el lecho del río

DETERMINACION DEL TIPO GROMORFOLOGICO DE LA ZONA DE RIBERA.

Sumar el tipo de desnivel de la derecha y la izquierda de la orilla, y sumar restar según los otros dos apartados.

<i>Tipo de desnivel de la zona de ribera</i>		Izq.	Der.
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas		6	6
Igual pero con un pequeño talud u orilla inundable periódicamente (avenidas ordinarias)		5	5
Pendiente entre el 45 y el 75°, escalonado o no. La pendiente se cuenta con el ángulo entre la horizontal y la recta entre el lecho y el último Sitio de la ribera. $\Sigma a > \Sigma b$		3	3
Pendiente de entre 20 y 45°, escalonado o no $\Sigma a > \Sigma b$		2	2
Pendiente < 20°, ribera uniforme y plana.		1	1
<i>Existencia de una isla o islas en medio del lecho del río</i>			

Anchura conjunta "a" > 5 m.		- 2
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.		- 1
<i>Capacidad potencial para soportar una masa vegetal de ribera. Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para que arraigue una masa vegetal permanente</i>		
>80%	No se puede medir	
60-80%	+ 6	
30-60%	+ 4	
20-30%	+ 2	
Puntuación total del tipo geomorfológico:		

TIPO GEOMORFOLOGICO SEGÚN LA PUNTUACIÓN

> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad para poseer un bosque extenso.
Entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con potencialidad intermedia para soportar una zona con vegetación, tramo medio de los ríos
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso

PUNTUACIÓN FINAL:

_____ pto

NIVEL DE CALIDAD	QBR	Color representativo
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	≥ 95	AZUL
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90	VERDE
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70	AMARILLO
Alteración fuerte mala calidad	30-50	NARANJA
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25	ROJO

ANEXO II

	Altitud	Amp	Exp	Rep	Pendi	PHumS	pocMOS	Arcilla	Limo	Arena	Inc3phOT	Inc3phIN	Inc3phPR	Inc3phVE
Altitud	I													
Amp	0.00000 1.0000 48	I												
Exp	0.00000 1.0000 48	0.00000 1.0000 48	I											
Rep	0.00000 1.0000 48	0.00000 1.0000 48	0.00000 1.0000 48	I										
Pendi	0.18243 0.2146 48	0.00000 1.0000 48	0.00000 1.0000 48	0.00000 1.0000 48	I									
PHumS	0.79080 <.0001 42	-0.00819 0.9590 42	0.07388 0.6419 42	0.00000 1.0000 42	0.49708 0.0008 42	I								
pocMOS	0.30358 0.0380 47	0.13898 0.3515 47	0.12202 0.4139 47	0.10326 0.4897 47	0.18273 0.2189 47	0.42637 0.0049 42	I							
Arcilla	0.37378 0.0089 48	0.50124 0.0003 48	0.29744 0.0401 48	0.00000 1.0000 48	-0.08844 0.5500 48	0.30890 0.0465 42	0.62494 <.0001 47	I						
Limo	0.39641 0.0053 48	0.24494 0.0934 48	0.40415 0.0044 48	0.00000 1.0000 48	0.03380 0.8196 48	0.52354 0.0004 42	0.43180 0.0024 47	0.66936 <.0001 48	I					
Arena	-0.42596 0.0025 48	-0.28136 0.0527 48	-0.42334 0.0027 48	0.00000 1.0000 48	0.01176 0.9368 48	-0.51244 0.0005 42	-0.52356 0.0002 47	-0.80695 <.0001 48	-0.96197 <.0001 48	I				
Inc3phOT	-0.38747 0.0065 48	-0.07866 0.5951 48	-0.31072 0.0316 48	0.00000 1.0000 48	0.43589 0.0020 48	-0.02546 0.8729 42	0.06702 0.6544 47	-0.18911 0.1980 48	-0.43122 0.0022 48	0.41512 0.0033 48	I			
Inc3phIN	-0.18865 0.2931 33	0.26447 0.1369 33	-0.32677 0.0634 33	0.00000 1.0000 33	-0.11910 0.5092 33	-0.43351 0.0117 33	-0.21671 0.2258 33	-0.27860 0.1164 33	-0.46188 0.0068 33	0.65874 <.0001 33	0.30983 0.0793 33	I		
Inc3phPR	-0.43189 0.0060 39	0.30011 0.0634 39	-0.30646 0.0578 39	0.00000 1.0000 39	0.36863 0.0209 39	-0.29843 0.0771 36	-0.00555 0.9733 39	-0.19318 0.2387 39	-0.24706 0.1294 39	0.32334 0.0447 39	0.42389 0.0072 39	0.52633 0.0048 27	I	
Inc3phVE	-0.68363 <.0001 39	-0.34648 0.0307 39	-0.18302 0.2648 39	0.00000 1.0000 39	0.22515 0.1682 39	-0.71798 <.0001 36	-0.28038 0.0838 39	-0.52025 0.0007 39	-0.49762 0.0013 39	0.57048 0.0001 39	0.88632 <.0001 39	0.47377 0.0125 27	0.66698 <.0001 33	I

	pH2OCC	pH2Ocap	CC033b	PMP15b	pHsuel	temS	pH2Oct	tempH2O	temAMB	DRgcm3	DAGmcm3	EspPor	H2Ohigr	CEdSm
CC033b	1.00000	0.39779 0.0295	I											
	47	30												
PMP15b	0.98566	0.12261	0.76523	I										
	<.0001	0.5186	<.0001											
	47	30												
pHsuel	-0.20696	-0.15904	-0.18581	-0.09123	I									
	0.1628	0.2803	0.3256	0.6316										
	47	48	30	30										
temS	-0.50833	-0.45292	-0.24799	-0.05709	0.22666	I								
	0.0003	0.0012	0.1864	0.7644	0.1213									
	47	48	30	30	48									
pH2Oct	-0.03952	0.01147	0.34332	0.28931	-0.41230	0.35883	I							
	0.7920	0.9383	0.0632	0.1210	0.0036	0.0123								
	47	48	30	30	48									
tempH2O	-0.52935	-0.48026	-0.32609	-0.11412	0.28995	0.98595	0.19976	I						
	0.0001	0.0006	0.0786	0.5482	0.0456	<.0001	0.1734							
	47	48	30	30	48	48	48							
temAMB	-0.48320	-0.42456	-0.27409	-0.08104	0.55636	0.93320	0.15354	0.94430	I					
	0.0006	0.0026	0.1427	0.6703	<.0001	<.0001	0.2975	<.0001						
	47	48	30	30	48	48	48	48						
DRgcm3	0.12567	0.15037	0.21613	0.22909	0.35191	0.04517	0.19152	0.00092	0.15263	I				
	0.3999	0.3076	0.2513	0.2233	0.0142	0.7605	0.1922	0.9950	0.3003					
	47	48	30	30	48	48	48	48	48					
DAGmcm3	-0.49126	-0.52591	-0.18636	0.06412	0.31280	0.36321	-0.21161	0.42025	0.41438	-0.17107	I			
	0.0007	0.0002	0.3241	0.7364	0.0364	0.0142	0.1629	0.0041	0.0047	0.2612				
	44	45	30	30	45	45	45	45	45	45				
EspPor	0.34126	0.44541	0.05135	-0.17947	-0.25960	-0.21575	0.25195	-0.27243	-0.27773	0.13840	-0.93440	I		
	0.0290	0.0031	0.7952	0.3608	0.0969	0.1700	0.1075	0.0809	0.0750	0.3821	<.0001			
	41	42	28	28	42	42	42	42	42	42	42			
H2Ohigr	0.46609	0.16687	0.29378	0.26393	-0.15301	-0.40910	-0.10501	-0.41187	-0.37724	-0.07011	-0.13604	-0.10153	I	
	0.0010	0.2570	0.1151	0.1587	0.2991	0.0039	0.4775	0.0036	0.0082	0.6358	0.3729	0.5223		
	47	48	30	30	48	48	48	48	48	48	45	42		
CEdSm	0.13682	0.14922	-0.22055	-0.24277	0.28417	0.28482	-0.11534	0.31638	0.35087	0.24460	-0.01367	0.01835	-0.01032	I
	0.3591	0.3168	0.2415	0.1961	0.0529	0.0523	0.4401	0.0303	0.0156	0.0975	0.9298	0.9093	0.9451	
	47	47	30	30	47	47	47	47	47	47	44	41	47	

	Altitud	Amp	Exp	Rep	Pendi	PHumS	pocMOS	Arcilla	Limo	Arena	Inc3phOT	Inc3phIN	Inc3phPR	Inc3phVE
pH2OCC	0.52639	-0.07762	0.26017	0.04768	0.17498	0.54785	0.40335	0.28936	0.21627	-0.27822	-0.14383	-0.35376	-0.23525	-0.44186
	0.0001	0.6041	0.0774	0.7503	0.2394	0.0002	0.0054	0.0485	0.1443	0.0583	0.3348	0.0470	0.1551	0.0055
	47	47	47	47	47	41	46	47	47	47	47	32	38	38
pH2Ocap	0.47960	-0.13097	0.26350	-0.03859	0.15852	0.54327	0.35076	0.22714	0.19919	-0.27118	-0.16071	-0.50259	-0.28655	-0.44595
	0.0006	0.3749	0.0704	0.7946	0.2819	0.0002	0.0156	0.1205	0.1747	0.0623	0.2752	0.0029	0.0770	0.0044
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
pHsuel	-0.16096	0.00000	-0.04475	0.00000	-0.95084	-0.41220	-0.24252	0.02958	0.04684	-0.07132	-0.53862	-0.06733	-0.48360	-0.36408
	0.2744	1.0000	0.7627	1.0000	<.0001	0.0067	0.1005	0.8418	0.7519	0.6300	<.0001	0.7097	0.0018	0.0227
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
temS	-0.98593	0.00000	0.00000	0.00000	-0.20596	-0.73556	-0.29357	-0.34928	-0.32698	0.35668	0.31585	0.01402	0.36553	0.58410
	<.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.1602	<.0001	0.0452	0.0150	0.0233	0.0128	0.0287	0.9383	0.0221	<.0001
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
pH2Oct	-0.26738	0.00000	0.00000	0.00000	0.61674	0.24038	0.04145	-0.14538	0.12853	-0.07747	0.23423	-0.60066	0.18378	0.10109
	0.0662	1.0000	1.0000	1.0000	<.0001	0.1252	0.7820	0.3242	0.3840	0.6007	0.1091	0.0002	0.2627	0.5403
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
tempH2O	-0.99097	0.00000	0.00000	0.00000	-0.30854	-0.81212	-0.31578	-0.34668	-0.37511	0.39805	0.30647	0.14605	0.36365	0.62679
	<.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.0329	<.0001	0.0306	0.0158	0.0086	0.0051	0.0341	0.4174	0.0229	<.0001
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
temAMB	-0.89598	0.00000	0.00000	0.00000	-0.52954	-0.74752	-0.30701	-0.25356	-0.24846	0.25849	0.07834	-0.01607	0.13900	0.39471
	<.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.0001	<.0001	0.0358	0.0820	0.0886	0.0761	0.5966	0.9293	0.3987	0.0129
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
DRgcm3	0.04051	0.15996	0.18662	0.00000	-0.18164	0.23476	-0.10311	0.00940	0.21797	-0.16767	-0.28693	-0.18344	-0.51459	-0.53098
	0.7846	0.2775	0.2041	1.0000	0.2166	0.1345	0.4904	0.9495	0.1367	0.2546	0.0480	0.3069	0.0008	0.0005
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
DAgmcm3	-0.39257	0.19498	-0.24816	0.00000	-0.35599	-0.68194	-0.28622	-0.15018	-0.42598	0.41620	-0.15849	0.51340	0.28523	0.25143
	0.0076	0.1993	0.1002	1.0000	0.0164	<.0001	0.0566	0.3248	0.0035	0.0045	0.2984	0.0022	0.0784	0.1226
	45	45	45	45	45	42	45	45	45	45	45	33	39	39
EspPor	0.24435	-0.32303	0.14674	0.00000	0.32141	0.58469	0.14773	-0.07103	0.24646	-0.25602	0.17838	-0.69131	-0.22921	-0.19541
	0.1189	0.0369	0.3538	1.0000	0.0379	<.0001	0.3505	0.6549	0.1156	0.1017	0.2584	<.0001	0.1787	0.2534
	42	42	42	42	42	39	42	42	42	42	42	30	36	36
H2Ohigr	0.41357	0.07471	0.19561	0.19299	0.08937	0.28715	0.41073	0.45696	0.31792	-0.35029	-0.13895	0.18521	-0.13127	-0.24777
	0.0035	0.6138	0.1827	0.1888	0.5458	0.0652	0.0041	0.0011	0.0277	0.0147	0.3463	0.3021	0.4257	0.1283
	48	48	48	48	48	42	47	48	48	48	48	33	39	39
CEdSm	-0.28464	-0.20514	0.23821	-0.11009	-0.31579	-0.24493	0.15521	-0.03029	0.01624	-0.02176	-0.09824	-0.11392	-0.22581	0.14220
	0.0525	0.1666	0.1069	0.4613	0.0306	0.1227	0.3030	0.8398	0.9137	0.8846	0.5112	0.5347	0.1728	0.3944
	47	47	47	47	47	41	46	47	47	47	47	32	38	38

ANEXO III

RESUMEN DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO POR ESTACIÓN DEL AÑO

Variable dependiente: Infiltración de agua en el suelo en periodo de Otoño

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	99718220.7	19943644.1	13.67	<.0001
Error	42	61259887.5	1458568.8		
Total corregido	47	160978108.2			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Inc3phOT Media
0.619452	62.31725	1207.712	1938.006

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Altitud	3	83180735.56	27726911.85	19.01	<.0001
Amp	1	995932.89	995932.89	0.68	0.4133
Exp	1	15541552.22	15541552.22	10.66	0.0022

Variable dependiente: Infiltración de agua en el suelo en periodo de Invierno

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	738587512	184646878	10.28	<.0001
Error	28	502783783	17956564		
Total corregido	32	1241371295			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Inc3phIN Media
0.594977	128.2651	4237.519	3303.718

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Altitud	2	528758887.2	264379443.6	14.72	<.0001
Amp	1	165873987.3	165873987.3	9.24	0.0051
Exp	1	43954637.4	43954637.4	2.45	0.1289

Variable dependiente: Infiltración de agua en el suelo en periodo de Primavera

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	307825708.2	61565141.6	14.90	<.0001
Error	33	136383041.8	4132819.4		
Total corregido	38	444208750.0			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Inc3phPR Media
0.692975	67.73528	2032.934	3001.292

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Altitud	3	210971681.0	70323893.7	17.02	<.0001
Amp	1	63763474.2	63763474.2	15.43	0.0004
Exp	1	33090553.0	33090553.0	8.01	0.0079

Variable dependiente: Infiltración de agua en el suelo en periodo de Verano

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	44420016.47	8884003.29	73.44	<.0001
Error	33	3992165.10	120974.70		
Total corregido	38	48412181.57			

R-cuadrado 0.917538 Coef Var 25.13318 Raíz MSE 347.8142 Inc3phVE Media1383.885

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Altitud	3	41296305.76	13765435.25	113.79	<.0001
Amp	1	2718281.57	2718281.57	22.47	<.0001
Exp	1	405429.14	405429.14	3.35	0.0762