

Influencia de la cobertura vegetal en las características hidrológicas del Río Pindo

Influence of vegetation cover on the hydrological characteristics of the Pindo River

Andrea Carolina Beltrán Conlago 1, * <https://orcid.org/0000-0002-3804-061X>

Ricardo Abril Saltos 1, <https://orcid.org/0000-0003-1544-4360>

Edwin Ricardo Paredes Cepeda 2, <https://orcid.org/0000-0002-9754-2708>

1 Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

2 Contraloría General del Estado, Pastaza, Ecuador

*Autor para la correspondencia: carito11_2011@hotmail.com

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la cuenca alta del río Pindo, cantón Mera, provincia de Pastaza. El objetivo fue evaluar la influencia del tipo de cobertura en las características edafológicas e hidrológicas que influyen en la variabilidad del caudal del Río Pindo. Los datos se recolectaron, utilizando el método de cilindro infiltrómetro simple. Se comparó el comportamiento de la infiltración en la cobertura de bosque y pasto, adicionalmente se extrajo una muestra de suelo mediante el método del cilindro (MC), para determinar la densidad aparente, textura del suelo y densidad de raíces. Los resultados mostraron que, la velocidad de infiltración y densidad longitudinal de raíces no presentan diferencias significativas entre bosque y pasto. Del análisis de la densidad aparente los pastos presentaron los mayores valores promedio.

Palabras clave: bosque, caudal, pasto, uso de suelo.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the upper basin of the Pindo River, Mera canton, Pastaza province. The objective was to evaluate the influence of the type of cover on the edaphological and hydrological characteristics that influence the variability of the Pindo River flow. Data were collected using the simple infiltrometer cylinder method. The infiltration behavior in the forest and grass cover was compared, additionally a soil sample was extracted using the cylinder method (MC), to determine the apparent density, soil texture and root density. The results showed that the infiltration speed and longitudinal density of roots do not present significant differences between forest and grass. From the analysis of the apparent density, the grasses presented the highest average values.

Keywords: forest, flow, pasture, land use.

Recibido: 12/2021, Aceptado: 7/2022

Introducción

En el Ecuador el uso del suelo varía según la región, siendo en la Sierra andina y el Litoral, donde se localiza el mayor uso agropecuario, mientras que en la Amazonía se caracteriza por su predominio boscoso, sin embargo, a pesar de aquello se evidencia un cambio progresivo del bosque hacia usos agropecuarios. Actividades inapropiadas desarrolladas por la población en el medio ambiente, debido a la demanda de alimentos y expansión conllevan a la deforestación de los bosques siendo estos reemplazados por cultivo y pastos para la ganadería, alterando así el ciclo hidrológico. Al existir una reducción de la biodiversidad de las áreas forestales nativas de las riberas de los ríos y recursos naturales, se genera un mayor flujo hídrico en la cuenca, sin embargo, el uso de especies de crecimiento rápido en procesos de reforestación contribuye a reducir los niveles de agua liberados del bosque.

Según la FAO (2013) los bosques captan más agua en comparación con las áreas agrícolas y los pastizales, debido a que mediante los procesos de evapotranspiración aportan con un mayor índice de humedad atmosférica, además los bosques presentan suelos con una capa orgánica fina y porosa; con sistemas radicales densos y profundos aportando eficientemente a los procesos de infiltración y retención de agua, reduciendo la escorrentía superficial y recargando satisfactoriamente las aguas subterráneas, por lo que a diferencia de suelos con otros tipos de uso, retienen y absorben mayor cantidad de agua. La deforestación es la causante del aumento del caudal y riesgo de inundaciones en épocas lluviosas y su efecto inverso en épocas secas contribuyendo al aumento de las sequías.

Esta investigación tuvo como objetivo, valorar la influencia del tipo de cobertura vegetal en las características edafológicas e hidrológicas de la variabilidad del caudal de la microcuenca alta del río Pindo.

Materiales y métodos

La cuenca alta del río Pindo se encuentra ubicada en el cantón Mera al noroccidente de la provincia de Pastaza, región Amazónica del Ecuador. La vegetación según la clasificación realizada por Sierra (1999), corresponde a un bosque siempre verde piemontano; se evidencia la presencia de bosque de realce y pastizales resultado de la actividad agrícola. El terreno presenta una topografía irregular debido a derrumbes y caída de árboles, con presencia de constantes lluvias y un alto índice de humedad. La figura 1 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

Características del cantón mera

El cantón Mera por sus características biofísicas y ubicación a pie de montaña de la Cordillera Oriental, constituye una fuente de agua para consumo humano, con elevadas pendientes que limitan la actividad agrícola y contenido de materia orgánica. Aspectos relevantes en cuanto a acciones de prestación de servicios eco-sistémicos, especialmente de recursos hídricos y biodiversidad.

Abril et al. (2019) indican, que las características meteorológicas en esta zona tienen una temperatura promedio de 22,6 °C y una precipitación con promedios de 5 156,72 mm (2011-2015).

La flora del cantón Mera presenta una diversidad de plantas desde herbáceas hasta árboles de tallos altos como Pilche, Chanul, Cedros, Laurel, Canelo, Sandi, María, Tamburo, Chontacaspi, Guayacán, Caoba entre otros.

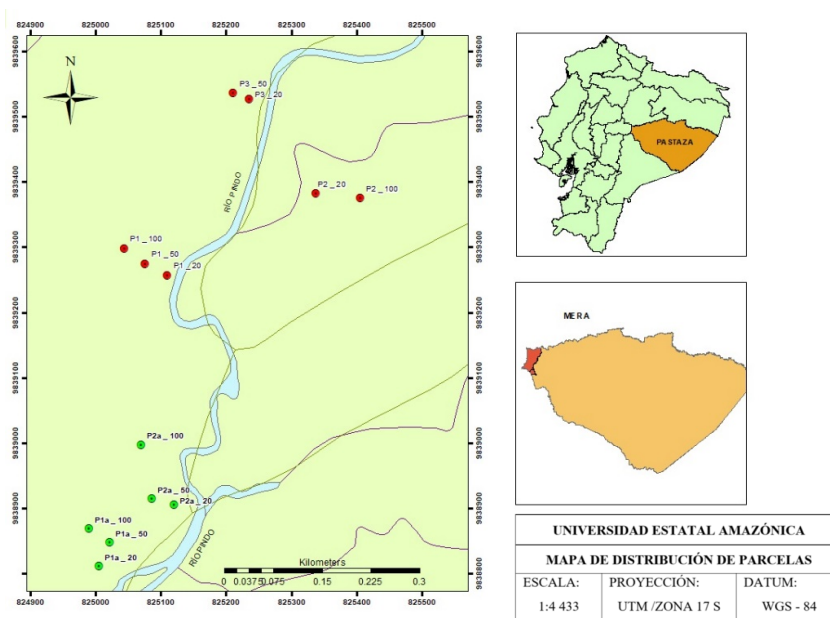


Fig.1 - Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica Pindo.

Delimitación de parcelas

Se realizaron los muestreos en la zona de estudio ubicando parcelas al borde del río Pindo en coberturas de bosque y pasto a distancias de 20 m, 50 m, 100 m y 200 m, respectivamente, en base a los cuales se describieron las características topográficas y de vegetación, recopilándose datos in situ.

Las parcelas se delimitaron en áreas de 400 m² (20 x 20 metros), bajo un mismo sentido de pendiente entre ellas. En total se instalaron siete parcelas en cobertura de bosque y seis parcelas en coberturas de pasto, en la tabla 1 se indica la ubicación geográfica y sus coordenadas en sistema WGS84 zona 17 Sur.

Tabla 1. Ubicación de las parcelas de muestreo en el área de estudio

N°	Sector	Parcela	Distancia al río	Cobertura	Coordenadas	Coordenadas
1	Pindo Mirador	1	20	Bosque	825111	9839257
2	Pindo Mirador	1	50	Bosque	825077	9839275
3	Pindo Mirador	1	100	Bosque	825045	9839298
4	Pindo Mirador -	2	20	Bosque	825338	9839382
5	Pindo Mirador -	2	100	Bosque	825406	9839375
6	Pindo Mirador	3	20	Bosque	825236	9839527
7	Pindo Mirador	3	50	Bosque	825212	9839536
8	Pindo Mirador	1a	20	Pasto	825006	9838812
9	Pindo Mirador	1a	50	Pasto	825022	9838848
1	Pindo Mirador	1a	100	Pasto	824991	9838869
1	Pindo Mirador	2a	20	Pasto	825121	9838906
1	Pindo Mirador	2a	50	Pasto	825087	9838915
1	Pindo Mirador	2a	100	Pasto	825071	9838998

[Fuente: Elaboración propia]

Pruebas de infiltración

Consistió en la prueba de cilindro infiltrómetro simple, el método se aplicó para establecer la velocidad de infiltración del suelo, para este proceso se introdujo el cilindro en el suelo a una profundidad de 10 cm a 15 cm, posterior a lo cual se registró la altura inicial de la lámina de agua y se recolectaron lecturas en periodos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 45 y 60 minutos. La velocidad de infiltración fue establecida a través de la siguiente ecuación:

$$VI \text{ prom} = I \text{ acum} / t \quad (1)$$

Donde: *VI prom*: tasa de infiltración promedio (m); *I acum*: infiltración acumulada; *t*: tiempo (s)

Propiedades Físicas del Suelo

Densidad aparente

Para determinar la masa de suelo seco se empleó el método del cilindro (MC), que consiste en extraer muestras del suelo utilizando un cilindro metálico, para estimar la masa de suelo seco contenida en su interior. El método consistió en introducir un cilindro de 5 cm de altura y 7 cm de diámetro, nivelando el suelo con los bordes previo a extraer la muestra, la cual se secó por 24 horas en la estufa a 105 °C hasta obtener su peso constante, para posteriormente calcular su valor aplicando la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Pss}{Vol^3} \quad (2)$$

Donde: *Da*: densidad aparente (gr/cc); *Pss*: peso del suelo seco (gr); *Vol*: volumen del cilindro (cc)

Textura del suelo

Para determinar la textura del suelo se utilizó el método de Bouyoucos ecuación (3)-(5), que consiste en determinar el porcentaje de partículas de arena, limo y arcilla presentes. El método del Bouyoucos emplea un hidrómetro, instrumento que mide el asentamiento de las partículas del suelo debido a la disminución de la densidad de suspensión. En este procedimiento se utilizó un dispersante de Calgón para disgregar las partículas y estimar las proporciones de arena, limo y arcilla.

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 seg}}{\text{peso de la muestra (g) a } 105^\circ \text{ C}} \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida a las 2 h} \times 100}{\text{peso de la muestra (g) a } 105^\circ \text{ C}} \quad (4)$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arcilla} + \% \text{ Arena}) \quad (5)$$

Densidad de raíces

A través del uso de un cilindro plástico de 7 cm de diámetro por 5 cm de alto se procedió a extraer una muestra de suelo de la cual se obtienen las raíces presentes. En una hoja milimetrada se midió la longitud de las raíces principales y secundarias, y se determinó el número de nodulaciones presentes. Para obtener los totales de cada muestra se realizó una sumatoria de la longitud de raíces y del número de modulaciones.

Para estimar la longitud de raíces, se utilizó la fórmula de Newman (1965) ecuación (6).

$$R = \frac{\pi \times N \times A}{2 H} \quad (6)$$

Dónde: R : longitud de raíces (cm); N : número de intercepciones; A : Área de la superficie donde están distribuidas las raíces (cm²); H : longitud total de las líneas de referencia (cm)

El volumen de la muestra se determina considerando el diámetro interno de 7 cm y la altura de 5 cm, con la ecuación (7).

$$V = \frac{\pi r^2}{2} \quad (7)$$

Dónde: V : Volumen (cm³)

Por último, la densidad longitudinal de raíces fue determinada por la ecuación (8).

$$Lx = \frac{\text{Longitud de raíces}(R)(cm)}{\text{Volumen de la muestra}(V)(cm^3)} \quad (8)$$

El tipo de cobertura estimó datos in situ con el objetivo de verificar el porcentaje de área cubierta a nivel de dosel y sotobosque, los datos fueron tomados donde se realizó la prueba de infiltración y adicional se ubicaron cuatro subparcelas aleatorias de 2 m x 2 m con el fin de obtener un valor promedio de cada parcela. Los datos fueron recolectados mediante el uso de la APP Canopy Cover Free versión 1.03 diseñada para dispositivos móviles Android. El software calcula automáticamente la cobertura a partir de la zona verde, lo cual fue una lectura válida para sotobosque a diferencia de dosel que debido a la altura de cobertura y acción de la luz el software únicamente identifica los espacios libres de cobertura siendo necesario restar del dato obtenido el 100% para determinar su valor.

Para determinar la correlación existente entre las variables cuantitativas, los datos fueron procesados con el software SPSS (IBM 2013), con el cual se estableció los estadísticos descriptivos y se realizó un análisis de correspondencia múltiple (figura 3) y un análisis de correlación de Pearson R² con las variables no categóricas, para el análisis del coeficiente de variación de la variable caudal (tabla 9).

Cabe señalar, que previo el análisis, todos los valores porcentuales de cobertura de sotobosque y cobertura de dosel, fueron convertidos en base a la función raíz cuadrada.

Estimación de biomasa e identificación de especies

Con la ayuda de un experto botánico se realizó la identificación de especies in situ con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 cm, distribuidos en cinco clases diamétricas e igualmente se registró la altura (m) para determinar la predominancia de especies y su heterogeneidad a nivel de dosel en cada parcela. Los grupos, según su distribución diamétrica se clasificaron en: grupo 1 de 10 cm a 20 cm; grupo 2 de 20,1 cm a 30 cm; grupo 3 de 30,1 cm a 40 cm; grupo 4 de 40,1 cm a 50 cm y grupo 5 mayores a 50 cm.

Para el caso de árboles ramificados en la base inferior a la altura del pecho se tomó la medida bajo la división del tronco.

Factores ambientales

Precipitación

Los valores de la precipitación fueron descargados de la base de datos de la estación meteorológica del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, ubicado en la estación Biológica Pindo Mirador.

Caudal

Para la determinación de caudales se utilizó el método de velocidad / superficie, mismo que depende de dos factores como son la velocidad media de la corriente y el área de sección transversal del canal, que se calcula mediante la ecuación (9)

$$Q = A \times V \quad (9)$$

Donde: Q : caudal (m^3 / s); A : área de mojado (m^2); V : velocidad (m/s)

La unidad métrica de caudal se expresa en m^3/s , no obstante, si la corriente es menor se puede expresar en L/s . Además, los factores de pendiente, rugosidad del piso y forma influyen en la velocidad de la corriente, las cuales se encuentran expresadas en la ecuación (10) de Manning.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (10)$$

Donde: V : velocidad media de la corriente (m/s); R : radio hidráulico (m); S : pendiente de media del canal (m); n : coeficiente de rugosidad de Manning. (tabla 2)

R se obtiene mediante la ecuación (11).

$$R = \frac{A}{P} \quad (11)$$

Donde: A : área de la sección (m^2) y P : perímetro mojado del cauce (m)

Para el coeficiente de rugosidad de Manning se asigna un valor de $n= 0,016$, tipo de cobertura en cauce, sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos.

Se realizó un análisis de correspondencia múltiple, con el uso del software SPSS 22 a través de una reducción de dimensiones, para las variables no categóricas, e identificar como se agrupan las diferentes parcelas en función de sus características, de la misma forma se realizó un análisis de varianza con el software INFOSTAT para determinar si existen diferencias significativas en cuanto a la velocidad de infiltración entre las parcelas ubicadas en el bosque y en el pasto.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en función al tipo de cobertura (tabla 2) y en función a la distancia al borde (tabla 3) se describen a continuación.

Tabla 2. Medidas resumen en función del tipo de cobertura

Cobertura	Descripción	Velocidad de infiltración cm/seg ^{0.5}	Densidad aparente (gr/cm ³)
Bosque	Media	0,09	0,28
	D.E.	0,10	0,13
	Mín.	0,02	0,15
	Máx.	0,32	0,48
Pasto	Media	0,07	0,40
	D.E.	0,10	0,07
	Mín.	0,01	0,32
	Máx.	0,27	0,51

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla 3. Medidas resumen en función de la distancia al borde del río

Distancia	Descripción	Velocidad de infiltración cm/seg ^{0.5}	Densidad aparente (g/cm ³)
20 m	Media	0,04	0,35
	D.E.	0,04	0,12
	Mín.	0,01	0,22
	Máx.	0,10	0,51
50 m	Media	0,05	0,32
	D.E.	0,03	0,12
	Mín.	0,01	0,15
	Máx.	0,08	0,41
100 m	Media	0,16	0,35
	D.E.	0,16	0,15
	Mín.	0,01	0,15
	Máx.	0,32	0,48

[Fuente: Elaboración propia]

En la tabla 2 se evidencia que la mayor velocidad de infiltración se dio en la cobertura de bosque con un valor de 0,09 cm/seg 0.5, resultado que concuerdan con González et al. (2016) que los suelos forestales presentan una velocidad muy superior a la de los suelos agrícolas, por su alto contenido de materia orgánica y los innumerables canales en el subsuelo producto de la acción de las raíces primarias y secundarias hacen más eficiente la recarga de agua hacia el suelo incrementando la infiltración. Cabe señalar que de acuerdo a la desviación estándar (tabla 3) la distancia al borde del río a los 100 m, presenta mayor dispersión frente a su valor promedio.

En cuanto a la densidad aparente los pastos presentan el valor promedio más alto (tabla 2) con un valor de 0,40 gr/cm³. Situación resultante a través del tiempo por acción del pisoteo del ganado y la subsiguiente compactación del suelo presenta una mayor densidad aparente promedio en los iniciales 40cm del perfil en comparación a las muestras tomadas en bosque con suelos de poca intervención antrópica indicando un efecto benéfico sobre su conservación y sostenibilidad, debido al contenido de materia orgánica en la capa superficial y aporte continuo de residuos orgánicos a través del tiempo.

Y en referencia al borde del río a los 100 m se cuantifica la mayor dispersión con respecto a su media aritmética, puede observarse en la tabla 3.

Tomando como referencia la composición textural del suelo, el bosque presenta una mayor permeabilidad debido al alto contenido de arena (tabla 4), a diferencia de la composición textural en pasto cuya concentración de arcilla es mayor con presencia de suelos impermeables. Ante lo cual González (2011), describe que la zona de bosque provista de suelos Franco a Franco arenoso presentan una posibilidad de infiltración alta a muy alta en función a su concentración de arenas contrario a la composición textural en pasto de tipo Franca, Franco arcillo arenosa y Franco arcillosa, cuya posibilidad de infiltración es alta, media y baja, resultados que concuerda con las variaciones de los valores de la velocidad de infiltración (tabla 2) y su estrecha relación entre el tipo de textura encontrado y las velocidades de infiltración.

Tabla 4. Resultados de la composición textural de suelos en bosques y pasto.

Cobertura	Distancia al borde del río (m)	% de Arena	% de Limo	% de Arcilla	Textura
Bosque	20	65,3	27,0	7,7	Franco arenosa
	50	55,5	28,0	16,5	Franco arenosa
	100	43,0	33,5	23,5	Franca
Pasto	20	51,5	27,0	21,5	Franco arcillo arenosa
	50	37,5	30,5	32,0	Franco arcillosa
	100	48,0	29,5	22,5	Franca

[Fuente: Elaboración propia]

Los resultados de la Densidad longitudinal de raíces DLR (tabla 5), muestran una densidad longitudinal promedio de 0,22 m para bosque y 0,33 m para pasto, mostrando un valor superior en pasto contrario a los resultados obtenidos para la velocidad de infiltración, densidad aparente y textura a los cuales se les atribuye una estrecha relación, ante lo cual se concuerda con los factores que pudieron incidir en estos valores según el estudio de Rodríguez et al. (1994), cuyos autores destacan mayor o menor densidad de raíces en dependencia del proceso de distribución del sistema radical, mostrando diferencias altamente significativas en diferentes profundidades, distancia y localizaciones, dependiendo del alejamiento del eje del tallo y profundidad, lo cual justificaría tales resultados según las muestras de suelo tomadas con el cilindro plástico para la obtención de raíces. De acuerdo a la distancia al borde del río a los 50 m la densidad longitudinal de raíces muestra la mayor desviación estándar de 0,22 m, lo cual atribuye a bosque no intervenido, presentando mayor dispersión frente a su valor promedio (tabla 6).

En el caso de la longitud de raíces, la tabla 5 muestra que la cobertura de pasto presenta el valor más alto con respecto a la media, cuyo valor es 2,31 m, valor que se asocia al número de ejes de raíz, altura promedio, DAP promedio y cobertura de dosel, relación que coincide con lo manifestado por Delgado et al. (2008) quien indica que el desarrollo, profundidad, longitud, y la densidad de las raíces de un árbol, se encuentran relacionados a la textura, resistencia a la penetración y compactación del suelo, así como también a la disponibilidad de humedad y nutrientes presentes. De manera general se estima también la distancia al borde del río, en la que se evidencia que la mayor dispersión se ubica a los 100 m del borde del río con un valor de 1,74 m (tabla 6).

De acuerdo a la tabla 5 los resultados de la cobertura vegetal a nivel de dosel y sotobosque, muestran que los pastos presentan los mayores valores promedio a nivel de cobertura de dosel y sotobosque con el 0,41 % y 0,64 % respectivamente, resultados que conforme lo expuesto por Donis (2015) mientras mayor sea el porcentaje de cobertura, mayor es la

posibilidad de infiltración de agua en el suelo. Ante lo cual cabe considerar que según el valor obtenido en pasto a nivel de sotobosque su valor atribuye en su mayoría a que la cobertura se encuentra cubierto por gramalote (*Axonopus scoparius*), valor que incide al alto porcentaje de cobertura vegetal a nivel del suelo. Sin embargo, bosque presenta la mayor dispersión alrededor de la media, tanto a nivel de dosel y sotobosque con el 0,22 % y 0,29 % (tabla 6). Finalmente, se describe la distancia al borde del río, donde el mayor valor promedio se ubica a los 100 m con una cobertura de dosel de 0,49 %, mientras que la cobertura de sotobosque concentra el mayor porcentaje a los 20 m con el 0,64 %, porcentajes que evidencian la presencia de plantas pequeñas y árboles jóvenes cubiertos por el dosel a la espera de claros para su crecimiento, proceso que concuerda con lo expuesto por Bastias (2005), que áreas de mayor cobertura a nivel de dosel, no favorece al desarrollo del sotobosque. Si analizamos de desviación estándar tenemos como resultado que a los 50 m del borde del río se encuentra mayor dispersión que tienen los datos respecto de su media aritmética. (tabla 6).

Tabla 5. Medidas resumen en función del tipo de cobertura

Cobertura	Descripción	Densidad longitudinal de raíces (m)	Longitud radial de raíces (m)	% Cobertura dosel	% Cobertura sotobosque
Bosque	Media	0,22	1,47	0,37	0,58
	D.E.	0,09	0,51	0,22	0,29
	Mín.	0,14	0,44	0,10	0,03
	Máx.	0,38	1,90	0,70	0,95
Pasto	Media	0,33	2,31	0,41	0,64
	D.E.	0,17	1,64	0,17	0,07
	Mín.	0,20	0,96	0,22	0,55
	Máx.	0,63	5,33	0,67	0,71

[Fuente: Elaboración propia]

Tabla 6. Medidas resumen en función de la distancia al borde del río

Distancia	Descripción	Densidad longitudinal de raíces (m)	Longitud radial de raíces (m)	% Cobertura dosel	% Cobertura sotobosque
20 m	Media	0,23	1,33	0,31	0,64
	D.E.	0,09	0,60	0,21	0,08
	Mín.	0,14	0,44	0,10	0,55
	Máx.	0,38	1,89	0,67	0,71
50 m	Media	0,30	1,67	0,38	0,57
	D.E.	0,22	0,86	0,22	0,39
	Mín.	0,16	0,96	0,21	0,03
	Máx.	0,63	2,92	0,70	0,95
100 m	Media	0,30	2,71	0,49	0,60
	D.E.	0,12	1,75	0,11	0,12
	Mín.	0,20	1,74	0,38	0,45
	Máx.	0,47	5,33	0,63	0,71

[Fuente: Elaboración propia]

En la figura 2, se describe el análisis de correspondencia múltiple, en la que se puede observar que la mayor parte de las parcelas se agrupa en un solo grupo y presentan una alta asociación con poca variabilidad debido a su cercanía, mientras que las parcelas dos y cinco indican que sus características, las muestran diferentes al resto de parcelas.

El análisis de varianza, para la velocidad de infiltración, no mostró diferencias significativas en $p \leq 0,05$ tanto para la cobertura, como la distancia al borde del río.

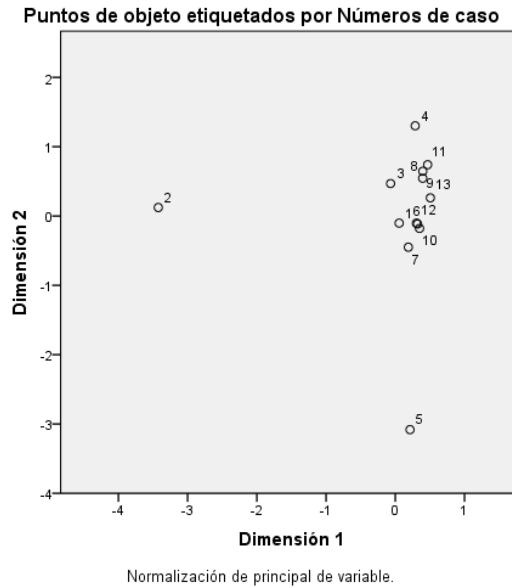


Fig. 2 - Representación gráfica del análisis de correspondencia múltiple.

La interpretación de los datos se realizó a través del diseño estadístico de coeficiente de correlación lineal de Pearson, con el objetivo de medir el grado de correlación entre las diferentes variables relacionadas linealmente (tabla 7), identificándose que para $p \leq 0,01$, categoría bosque se evidencia una correlación positiva muy fuerte entre las variables: arena-limo y arena-arcilla; para la cobertura de pasto entre la densidad aparente-cobertura de sotobosque; y, para los dos tipos de cobertura entre las variables parcela-distancia.

Mientras que, para la correlación $p \leq 0,05$, se evidencia una correlación positiva considerable entre las variables: distancia-arcilla, parcela-arcilla y arcilla-limo en bosque y una correlación negativa entre las variables: parcela-arena, cobertura de dosel-cobertura de sotobosque, diferente a los resultados de la cobertura pasto donde, únicamente densidad de raíces-arcilla evidencian una correlación negativa muy fuerte.

Para el resto de variables, se identificó una correlación negativa considerable entre distancia-arena en bosque y en pasto arena-arcilla y opuesto una correlación positiva considerable en bosque entre la velocidad de infiltración-densidad aparente y para el tipo de cobertura pasto entre parcela y longitud de raíces.

Tabla 7. Análisis de Correlación R² de Pearson.

Cobertura		Dist.	Parcela	Vel. infiltración	Densidad aparente	Densidad raíces	Cobertura dosel	Cobertura sotobosque	Long. raíces	Arena	Limo	Arcilla
Bosque	distancia	1	0,927**	0,509	0,150	0,037	0,570	-0,129	0,567	-0,754	0,608	0,778*
Bosque	Vel. infiltración	0,509	0,278	1	0,780	0,495	0,532	-0,242	0,263	0,103	-0,121	-0,086
	Densidad aparente	0,150	-0,116	0,780	1	0,551	0,040	0,285	0,223	0,383	-0,564	-0,260
	Densidad raíces	0,037	-0,236	0,495	0,551	1	0,188	0,008	0,446	0,031	0,050	-0,071
	Cobertura dosel	0,570	0,633	0,532	0,040	0,188	1	-0,828*	0,594	-0,340	0,341	0,315
	Cobertura sotobosque	-0,129	-0,295	-0,242	0,285	0,008	-0,828*	1	-0,243	0,034	-0,209	0,062
	Long. raíces	0,567	0,570	0,263	0,223	0,446	0,594	-0,243	1	-0,582	0,442	0,615
	Arena	-0,754	-0,782*	0,103	0,383	0,031	-0,340	0,034	-0,582	1	-0,912**	-0,976**
	Limo	0,608	0,625	-0,121	-0,564	0,050	0,341	-0,209	0,442	-0,912**	1	0,801*
	Arcilla	0,778*	0,810*	-0,086	-0,260	-0,071	0,315	0,062	0,615	-0,976**	0,801*	1
Pasto	distancia	1	0,946**	0,544	-0,256	0,246	0,124	-0,082	0,585	-0,091	0,182	-0,035
Pasto	Vel. infiltración	0,544	0,320	1	-0,485	0,314	-0,115	-0,620	-0,305	0,033	0,087	-0,082
	Densidad aparente	-0,256	-0,321	-0,485	1	-0,531	-0,592	0,918**	0,036	0,015	0,559	-0,358
	Densidad raíces	0,246	0,355	0,314	-0,531	1	-0,060	-0,337	0,065	-0,706	-0,514	0,914*
	Cobertura dosel	0,124	0,262	-0,115	-0,592	-0,060	1	-0,431	0,454	0,542	-0,631	-0,069
	Cobertura sotobosque	-0,082	-0,043	-0,620	0,918**	-0,337	-0,431	1	0,385	-0,137	0,394	-0,128
	Long. raíces	0,585	0,750	-0,305	0,036	0,065	0,454	0,385	1	0,011	-0,172	0,096
	Arena	-0,091	-0,211	0,033	0,015	-0,706	0,542	-0,137	0,011	1	-0,093	-0,789
	Limo	0,182	0,021	0,087	0,559	-0,514	-0,631	0,394	-0,172	-0,093	1	-0,539
	Arcilla	-0,035	0,166	-0,082	-0,358	0,914*	-0,069	-0,128	0,096	-0,789	-0,539	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Especies arbóreas existentes

En las parcelas de 20 m x 20 m se realizó un inventario de especies arbóreas con DAP (diámetro a la altura del pecho) mayor o igual a 10 cm, procediendo a estimar su altura total y número de individuos presentes, con el apoyo de un experto en botánica (tabla 8). Tras lo cual se identificaron las especies representativas en bosque: *Lacistema aggregatum* (P.J. Bergius) Rusby (16), *Wettinia maynensis* Spruce (15), *Inga multinervis* T.D. Penn. (9) y *Hieronyma asperifolia* Pax & K. Hoffm (9), cuya distribución es baja. Las especies más representativas en áreas de pasto son: *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski (16), *Miconia splendens* (Sw.) Griseb. (10), *Hieronyma asperifolia* Pax & K. Hoffm. (5) y *Lacistema aggregatum* (P.J. Bergius) Rusby (5), especies pioneras de madera blanda, fácil propagación y rápido crecimiento, las cuales habitan naturalmente en los sistemas de rotación de cultivos. En la tabla 8 se describen las alturas de los árboles por estrato y porcentaje de representatividad.

Tabla 8. Distribución por grupos de DAP y tipo de cobertura.

Grupo	(DAP)		bosque		Pasto		Promedio global	%
			N° de Individuos	%	N° de Individuos	%		
	desde	hasta						
GRUPO	10 cm	20 cm	88	59%	42	64%	130	61%
GRUPO	20.1 cm	30 cm	38	26%	12	18%	50	23%
GRUPO	30.1 cm	40 cm	12	8%	7	11%	19	9%
GRUPO	40.1 cm	50 cm	8	5%	3	5%	11	5%
GRUPO	> 50 cm		2	1%	2	3%	4	2%
TOTALES			148		66		214	1

[Fuente: Elaboración propia]

Las familias arbóreas más representativas dominantes del bosque son: Leguminosae, Arecaceae, Lacistemataceae, Melastomataceae y Urticaceae cuya densidad es alta, dominado por árboles jóvenes. En pasto las familias más representativas son: Melastomataceae y Compositae, con una densidad media y con mayor número de árboles jóvenes, que al igual que en el tipo de cobertura bosque la densidad de árboles grandes y frondosos es baja. Coincidiendo así con lo descrito por Luzuriaga (2014), que el bosque estudiado en la estación Biológica Pindo Mirador sufrió una fragmentación alrededor de la laguna hace muchos años, lo cual refleja una reducción de la composición florística de árboles grandes.

Medición de caudales de la microcuenca alta del río Pindo

Para medir el caudal del río Pindo se utilizó la ecuación de Manning (ecuación 9), con los datos tomados durante los meses de agosto 2017 a julio 2018 en los sectores: cuenca alta, afluente y puente metálico. A través de los cuales se puede observar que los caudales más elevados se presentan en el puente metálico ubicado aguas abajo del área de estudio, misma que se atribuye a la suma de corrientes que aumentan su caudal y variabilidad, diferenciándose de los demás caudales ubicados en el área de estudio aguas arriba, como se puede observar en la figura 3.

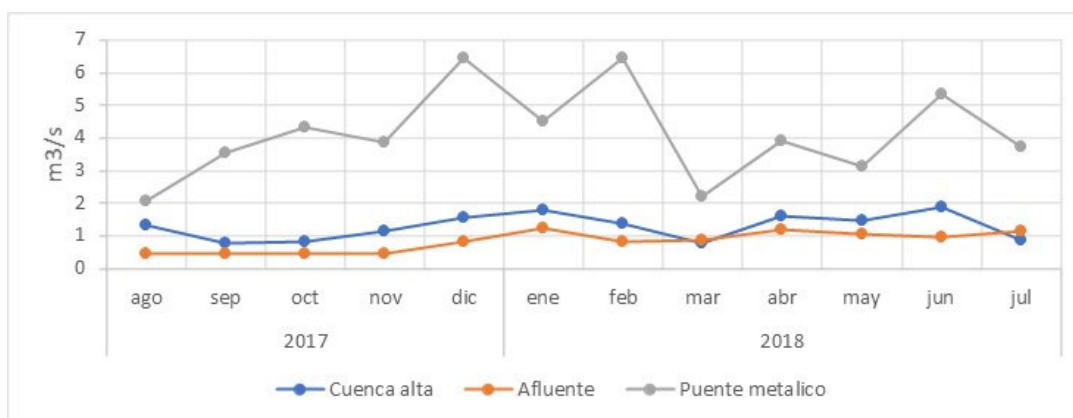


Fig. 3 - Caudales de la microcuenca del río Pindo sectores cuenca alta, afluente y puente metálico

Conclusiones

El uso del suelo bosque presentó una mayor infiltración promedio en discordancia con el pasto, sin embargo, estos valores no fueron significativos. Los valores promedio de la densidad aparente en pasto parcialmente compactado por el pisoteo del ganado y la rotación

de cultivos, reportaron la mayor densidad aparente contrario del bosque, que posee una menor densidad aparente debido a su alta porosidad. De acuerdo a la composición textural del suelo el bosque, presenta alto contenido de arena provista de suelos Franco Arenoso, Franco, cuya posibilidad de infiltración es alta a muy alta, a la inversa del pasto, que muestra mayor contenido de arcilla con suelos de tipo Franco, Franco Arcilloso Arenoso y Franco Arcilloso con posibilidad de infiltración alta, media y baja. En cuanto a los valores promedio la densidad longitudinal de raíces en bosque y pasto, no presentan diferencias significativas. En cuanto al valor promedio según el tipo de cobertura a nivel de dosel y sotobosque, pasto registra el mayor porcentaje. De acuerdo al análisis estadístico, la velocidad de infiltración cm/seg 0.5, densidad aparente (gr/cm³) y longitud radial de raíces (m) a los 100 m del borde del río cuantifica la mayor dispersión respecto a su valor promedio, en contraste con la densidad longitudinal de raíces (m), % cobertura dosel y % cobertura sotobosque que registra a los 50 m.

Referencias

1. Abril R., Yanez Y., Villarroel C., Idrovo I., Caicedo E., Vargas M., Tapia A. and Valle M. "Influence of land use and geomorphology on the flow of the Pindo river", *Journal of Environmental Hydrology*, 27 (9): 1-14, ISSN 1058-3912, Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Vida, Ecuador. 2019
2. Bastias M. "Composición de especies y cobertura del sotobosque en bosques vírgenes de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) En Monte Alto, XII Región", Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 2005.
3. Delgado R., Castro L., Cabrera E., Mujica M., Caniche S., Navarro L. y Noguera I. "Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo fluventic haplustoll de textura franco-arenosa de Maracay", *Agronomía Tropical*, 58 (3): 245-255, ISSN 0002-192X, Venezuela. 2008.
4. Donis L. "Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro", Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 2015.
5. FAO. "Forests and water", International momentum and action, ISBN 978-92-5-107418-3, Rome. 2013.
6. González A., Álvarez P., González M. y Aguirre Z. "Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo", *Revista del Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonía*, 6 (1): 50-59, ISSN 1390-590, Universidad Nacional de Loja, Ecuador. 2016.
7. González W. "Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá", Tesis de Magister Scientiae, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Escuela de posgrado del CATIEE (Turrialba), Costa Rica. 2011.
8. Luzuriaga C. "Inventario florístico del bosque que rodea a la laguna en la estación Biológica Pindo Mirador Pastaza-Ecuador", *Revista de Investigación Científica*, 5 (6): 15 -25, ISSN 2600-5557, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador. 2014.

9. Rodríguez L., Camacaro M. y Pire R.” Densidad Longitudinal de Raíces en Naranja Valencia (*Citrus sinensis* L.) sobre el patrón de Limón Volkameriana (*Citrus volkameriana* Pasq.) en la zona de Sicariagua, Estado Lara”, *Bioagro* 6 (2): 35-39, Venezuela. 1994

10. Sierra R. “Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental”, Editorial Rimana, ISBN 9978409432 9789978409435, Quito, Ecuador. 1999.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.