

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DE LA MICROCUENCA RIO BELLA-DISTRITO MARIANO DÁMASO BERAÚN - LAS PALMAS

SPATIAL DISTRIBUTION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL BELLA RIVER MICROWATERSHED, DISTRICT MARIANO DÁMASO BERAUN - LAS PALMAS

Wilder Junco¹, Juan Rengifo², Alex Rengifo³

Recepción: 21 de abril de 2017

Aceptado: 10 de junio de 2017

Resumen

Se determinaron parámetros morfométricos, caracterizando, analizando e interpretando la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca río Bella, distrito de Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas, a partir del uso del SIG. Se determinó el número de calicatas, muestreo de suelos, registro de datos y anotaciones diversas; la fase de laboratorio consistió en análisis físicos y químicos del suelo; la fase final de gabinete en elaboración de mapas temáticos, así como la evaluación estadística de las variables en estudio. Como resultado, presenta una superficie de 3463,48 ha y perímetro 29,4 Km, índice de compacidad con tendencia a concentrar grandes volúmenes de escurrimiento de una lluvia intensa, presenta una forma oval redonda a oval oblonga. El comportamiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos pertenecen al grupo textural franco de textura media (predominando el franco arcillo arenoso), seguido del grupo textural arenoso, de textura gruesa (arenoso franco) y en menor proporción el grupo textural arcilloso de textura fina (arcilloso), respecto a la materia orgánica y nitrógeno, el 81 % del área están en el rango mayor a 4 % ; y el 90 % presenta niveles adecuados de fósforo y niveles bajos de potasio, por lo que consideramos a estos suelos poco fértiles; se logró interpretar las propiedades físicas y químicas del suelo presentes por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Palabras clave: Parámetros morfométricos, distribución espacial, calicatas, propiedades físicas y químicas, microcuenca.

Abstract

Morphometric parameters were determined, characterizing, analyzing and interpreting the spatial distribution of the physical and chemical properties of soils in physiographic units of the microwatershed Bella river, district of Mariano Damaso Beraun-Las Palmas, from the use of Geographic Information Systems (GIS). The number of test pits, soil sampling, data logging and various annotations was determined; the laboratory stage consisted of soil physical and chemical analysis; the final phase of cabinet in preparation of thematic maps and statistical evaluation of variables under study. As a result, it has an area of 3463,48 ha and 29,4 Km perimeter, compactness index tending to concentrate large volumes of runoff from heavy rain, it has an oval shape round to oblong oval. The behavior of the physical properties and chemical soil belong to the franc textural group of medium texture (predominantly sandy clay loam soil), followed by sandy textural group, coarse texture (sandy loam) and to a lesser extent the clayey textural group texture fine (clay), with respect to organic matter and nitrogen, 81 % of the area are in the range greater than 4 %; and 90 % have adequate levels of phosphorus and low levels of potassium, so we consider these infertile soils; it was possible to interpret the physical and chemical properties of soil present physiographic units by Bella River microwatershed.

Key words: morphometric parameters, spatial distribution, test pits, physical and chemical properties, microwatershed.

¹ Ing. Recursos Naturales Renovables mención Conservación de suelos y agua. E-mail: jc_tua_88@hotmail.com

² Ing. Recursos Naturales Renovables mención Conservación de suelos y agua. Docente en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. E-mail: prt1@hotmail.com

³ Economista. Docente en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. E-mail: alrero2002@gmail.com

Introducción

Nuestro país se caracteriza por presentar una gran variabilidad climática lo cual incide en tener también una variabilidad de suelos, por lo que es común que él se esté usando de manera inadecuada al suelo debido a la carencia de conocimiento que se tiene respecto a sus características. Por ello es recomendable, que previa determinación de la actividad económica a realizar en un terreno, conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a partir del cual se pueda recomendar el tipo de actividad a realizar como por ejemplo agrícola, pastoreo y forestal. La utilización del sistema de información geográfica (SIG) en diversos campos del quehacer humano se ha incrementado en los últimos años demostrando ser una herramienta muy útil en la toma de decisiones. En la agricultura tiene gran aplicabilidad en el área de contaminación de suelos, fertilidad y manejo de suelos, entre otras. Uno de los aspectos de mayor utilidad es el estudio de la variabilidad espacial de suelos y la predicción de valores en puntos no muestreados a través del uso de las interpolaciones (15).

Debido a esto se propone efectuar el modelamiento espacial por unidades fisiográficas del suelo de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca río Bella mediante análisis en el laboratorio de suelos e imágenes satelitales georeferenciadas en distintos puntos de la microcuenca con la finalidad de determinar el estado actual del suelo. En la microcuenca río Bella se encuentra asentadas los caseríos de Bella, Bella Alta, Melitón Carbajal Río Oro y Río Tigre; con una población proveniente de la sierra de Huánuco, quienes practican la agricultura de acuerdo a su realidad y con la tecnología de sus antepasados sin tener en cuenta la realidad de la zona y como producto de la agricultura migratoria y el mal manejo de los suelos se observa que existe una baja producción de sus cultivos (cacao, café, plátano, etc.), que trae consigo problemas en la calidad de vida de la población. En base a esta problemática se genera interrogantes sobre cómo están distribuidas espacialmente las propiedades físicas y químicas del suelo en la microcuenca río Bella que permitirá demarcar en forma homogénea los nutrientes del suelo en la microcuenca río Bella.

Métodos y técnicas

Características generales del área de estudio

La microcuenca río Bella está ubicada políticamente en la región Huánuco, provincia Leoncio Prado y distrito de Mariano Dámaso Beraún; está comprendida por cuatro caseríos:

Bella, Melitón Carbajal Río Oro, Bella Alta y Río Tigre. La mencionada microcuenca tiene un área aproximada de 3 463,48 ha y un perímetro de 29 700 m. geográficamente se encuentra en la parte centro oriental del país y presenta las siguientes coordenadas UTM 386109 E, 8968114 N" y una altitud de 722 msnm en la desembocadura.

Materiales y equipos

Imágenes de satélite RapidEye de 5 m x 5 m de resolución del 2013, Carta Nacional empalme N° 19k, elaborado por el IGN, muestras de suelo, cámara fotográfica, receptor, sistema de posicionamiento global (GPS) marca GARMIN modelo Map 62sc y computadora portátil.

Metodología de imagen satelital

Se realizó el análisis del área de estudio mediante la información cartográfica física y digital disponible como imágenes satelitales (RapidEye) recopilada con la finalidad de realizar la delimitación de la cuenca y con esto generar un mapa base de pendientes, fisiográfico y de esta manera determinar los parámetros morfométricos: área, perímetro, longitud de la cuenca y ancho de la cuenca como también el factor de forma y coeficiente de compacidad, pendiente del cauce principal y de cuenca como también el número de orden, para de esta manera tener un acercamiento de la realidad de la zona a investigar.

Características morfométricas de la microcuenca río Bella

Para la determinación de las características morfométricas se recopiló los datos e información como: curvas de nivel, cuenca y ríos, que sirvieron para detallar los parámetros de forma, la red hidrográfica, relieve, siguiendo la metodología propuesta por FUENTES (2004) y VILLON (2002).

Propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca río Bella

Se realizó la identificación del lugar, se determinó el número de muestras por cada unidad fisiográfica, muestreo de suelos y registro de datos. La captura de información se realizó mediante contacto directo en el terreno por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS). Se realizó el análisis físico y químico del suelo de acuerdo a los métodos establecidos en el Cuadro 1, en el gabinete de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para su posterior interpretación y con los resultados se realizó la interpolación para representarlo cartográficamente la distribución de los nutrientes en toda la microcuenca.

Cuadro 1. Indicadores de suelos y métodos de determinación

Indicadores	Metodología de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo (pH)	Método del potenciómetro relación suelo agua 1:1
Nitrógeno total	% M.O. x 0.045
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado. Extracto NaHCO ₃ 0.5 M, pH 8.5
Potasio disponible	Método del Ácido sulfúrico 6N
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Método de Acetato de Amonio 1N. pH: 7.0 (suelos con pH > 5.5).
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	Absorción atómica
Potasio (K)	Absorción atómica
Sodio (Na)	Absorción atómica
(CICe).	Desplazamiento con KCl 1 N (Suelos con pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno	Método de Yuan
Calcio más magnesio	Método de E.D.T.A (Versenato)

Fuente: Vásquez, 1997

Representación gráfica

Se realizó mediante mapas temáticos, se trabajó con el Sistema Universal Transversal Mercator (UTM) y con la proyección del Datum WGS 84 zona 18L Hemisferio Sur. A partir de los resultados de los parámetros físicos y químicos del suelo obtenidos en el laboratorio, se llevó al sistema GIS y se identificaron en el software con sus respectivas coordenadas, ubicándolas espacialmente en la microcuenca río Bella, para ello se utilizó el kriging ordinario predeterminado porque es apropiado para modelizar con precisión los datos de manera uniforme en toda el área de la cuenca y el interpolador Kriging del spatial analysis tools, nos permitió generar superficies a partir de aproximaciones geoestadísticas con la finalidad de determinar áreas de tipo raster. Se generó los mapas temáticos en formato raster, y la escala de trabajo fue de 1/50,000. Se clasificó el suelo de acuerdo a sus características y propiedades y los criterios de interpretación fueron de acuerdo a su fertilidad.

Resultados

Características morfométricas de la microcuenca río Bella

Según el análisis morfométrico se determinó la superficie y la forma de la cuenca; calculándose una extensión de 34,6 Km² y una elevación media de 1 270 m.s.n.m. Se determinó el factor de forma de 0,43, índice de compacidad 1,4, longitud de la cuenca 10,9 Km y ancho de la cuenca 4,7 Km (Cuadro 2). Otros parámetros morfométricos determinados fueron: la longitud del cauce principal 9,36 Km; longitud de curva 8,6 Km, longitud total de las corrientes 12,9 cursos de agua, pendiente del cauce principal 0,11 m/m, pendiente de la microcuenca 0,11 m/m, por último, se determinó el rectángulo equivalente, donde el lado mayor fue de 11,75 Km y el lado menor fue de 2,95 Km.

Cuadro 2. Parámetros morfométricos de la microcuenca río Bella

Parámetros morfométricos	Valor	Unidad
Área de la cuenca	34,6	Km ²
Perímetro de la cuenca	29,4	Km
Longitud de la cuenca	10,9	Km
Ancho de la cuenca	4,7	Km
Longitud del cauce principal	9,6	Km
Cota mayor de la cuenca	1 860	msnm
Cota menor de la cuenca	680	msnm
Cota mayor del cauce principal	1760	msnm
Longitud de la curva	8,6	Km
Longitud total de las corrientes	12,9	unidad
Factor de forma de la cuenca	0,43	Adimensional
Coefficiente de compacidad (Kc)	1,4	Adimensional
Pendiente del cauce principal	0,11	m/m
Pendiente de la cuenca	0,11	m/m
Altitud promedio de la cuenca	1270	msnm
Lado mayor L, se toma el signo(+)	11,75	Km
Lado mayor L, se toma el signo (-)	2,95	Km

Propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca río Bella

En el Cuadro 3, se muestra la textura del suelo representada por los porcentajes de arena, arcilla y limo con su respectivo error estándar y su coeficiente de variación, donde las unidades fisiográficas CAMD y TAP presentan mayores porcentajes de arena, presentando una textura gruesa franco arenoso con (EE 1,75 y EE 1,76) respectivamente y su (CV 19,45 y 16,63), mientras que las unidades fisiográficas de CBLD, CBMD y CAFD, presentan mayores porcentajes de arcillas, obteniéndose clases texturales franco arcillosas, franco arcillo limosas y arcillosas, las demás unidades presentan suelos de textura francas.

Cuadro 3. Textura del suelo por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Arena	Arcilla	Limo	Error estándar	Coefficiente Variación
CAFD	22,68	49,54	27,78	8,67	24,90
CAMD	52,68	18,54	28,78	1,75	19,45
CBLD	22,68	42,54	34,78	9,07	25,44
CBMD	20,61	42,04	37,28	1,45	7,57
MB	32,18	34,32	34,78	1,15	8,68
TAO	45,68	26,05	29,28	2,7	12,81
TAP	52,18	23,04	24,78	1,76	16,63
TBI	40,68	31,54	27,78	2,00	6,56

El Cuadro 4, muestra que en promedio la unidad fisiográfica CAFD presentan pH moderadamente ácidos ($6,07 \pm 0,07$ EE), mientras con pH extremadamente ácidos se encuentran las unidades CBLD ($4,34 \pm 0,26$ EE), MB ($4,47 \pm 0,27$ EE), TAO ($4,08 \pm 0,23$ EE) y TAP ($4,41 \pm 0,20$ EE),

finalmente con promedios de pH muy fuertemente ácidos las unidades fisiográficas CAMD ($4,64 \pm 0,17$ EE), CBMD ($4,92 \pm 0,61$ EE) y TBI con ($4,67 \pm 0,26$ EE), los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 4. Reacción del suelo (pH) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	pH	6,07	0,02	0,07	2,33
CAMD	pH	4,64	0,11	0,17	7,17
CBLD	pH	4,34	0,27	0,26	12,02
CBMD	pH	4,92	1,50	0,61	24,90
MB	pH	4,47	0,30	0,27	12,31
TAO	pH	4,08	0,21	0,23	11,26
TAP	pH	4,41	0,16	0,20	8,96
TBI	pH	4,67	0,27	0,26	11,14

El Cuadro 5, muestra que en promedio la unidad fisiográfica CBLD presento un bajo contenido de materia orgánica ($0,81\% \pm 0,20\%$ EE), mientras con promedios altos de materia orgánica las unidades CAFD ($6,92\% \pm 0,41\%$ EE), TAO ($4,17\% \pm 0,67\%$ EE), CBMD ($3,05 \pm 0,94\%$ EE) y, TAP ($3,05\% \pm$

$0,61\%$ EE), CAMD ($2,54\% \pm 0,17\%$ EE), TBI con ($2,24\% \pm 0,51\%$ EE), finalmente MB ($2,03\% \pm 0,41\%$ EE), los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y son muy dispersos para el modelo.

Cuadro 5. Materia orgánica (%) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	m.o	6,92	0,50	0,41	10,17
CAMD	m.o	2,54	0,03	0,10	7,04
CBLD	m.o	0,81	0,12	0,20	43,30
CBMD	m.o	3,05	2,62	0,94	53,04
MB	m.o	2,03	0,50	0,41	34,64
TAO	m.o	4,17	1,34	0,67	27,76
TAP	m.o	3,05	1,12	0,61	34,64
TBI	m.o	2,24	0,78	0,51	39,44

El Cuadro 6, muestra que en promedio la unidad fisiográfica CBLD presentan bajos contenido de nitrógeno ($0,037\% \pm 0,006\%$ EE), mientras con

contenidos medios de nitrógeno las unidades TBI ($0,11\% \pm 0,010\%$ EE), CAMD ($0,11\% \pm 0,003\%$ EE), TAO ($0,19\% \pm 0,031\%$ EE), TAP ($0,14\% \pm$

0,026% EE), y MB ($0,14\% \pm 0,026\%$ EE), finalmente con promedios altos en nitrógeno, CAFD ($0,31\% \pm 0,020\%$ EE), y CBMD ($0,21\% \pm 0,052\%$ EE), los

coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 6. Nitrógeno (%) en las diferentes unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	nitrógeno	0,31	0,001	0,020	11,17
CAMD	nitrógeno	0,11	0,00003	0,003	5,09
CBLD	nitrógeno	0,037	0,00013	0,006	3,49
CBMD	nitrógeno	0,21	0,0082	0,052	43,49
MB	nitrógeno	0,14	0,00213	0,026	33,79
TAO	nitrógeno	0,19	0,00203	0,031	29,50
TAP	nitrógeno	0,14	0,00213	0,026	33,79
TBI	nitrógeno	0,11	0,00030	0,010	15,74

Cuadro 7, muestra que en promedio las unidades fisiográficas CAMD con ($13,99 \text{ ppm} \pm 27,63 \text{ ppm EE}$), TAO ($10,02 \text{ ppm} \pm 1,78 \text{ ppm EE}$), TAP ($11,79 \text{ ppm} \pm 20,22 \text{ ppm EE}$) y CBMD ($7,59 \text{ ppm} \pm 9,50 \text{ ppm EE}$) presentan contenidos medios de P₂O₅,

mientras con promedios bajos las unidades TBI ($1,86 \text{ ppm} \pm 0,34 \text{ ppm EE}$), CBLD ($1,89 \text{ ppm} \pm 0,42 \text{ ppm EE}$), MB ($05,22 \text{ ppm} \pm 0,17 \text{ ppm EE}$), finalmente CAFD con ($6,44 \text{ ppm} \pm 4,71\% \text{ EE}$), los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y mucha dispersión para el modelo.

Cuadro 7. Fósforo disponible (ppm) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	P ₂ O ₅	6,44	4,71	4,71	33,70
CAMD	P ₂ O ₅	13,99	27,63	27,63	37,56
CBLD	P ₂ O ₅	1,89	0,42	0,42	34,44
CBMD	P ₂ O ₅	7,59	9,50	9,50	40,63
MB	P ₂ O ₅	5,22	0,17	0,17	7,95
TAO	P ₂ O ₅	10,02	1,78	1,78	13,30
TAP	P ₂ O ₅	11,79	20,22	20,22	38,13
TBI	P ₂ O ₅	1,86	0,34	0,34	31,52

El Cuadro 8, muestra que en promedio las unidades fisiográficas CBMD con ($265,45 \text{ kg/ha} \pm 64,83 \text{ kg/ha EE}$), TAO ($262,83 \text{ kg/ha} \pm 64,87 \text{ kg/ha EE}$), TBI ($221,31 \text{ kg/ha} \pm 47,86 \text{ kg/ha EE}$), CAFD ($166,51 \text{ kg/ha} \pm 18,70 \text{ kg/ha EE}$), TAP ($161,66 \text{ kg/ha} \pm 17,22$

kg/ha EE) MB ($12,6,32 \text{ kg/ha} \pm 17,95 \text{ kg/ha EE}$) y CAMD ($144,43 \text{ kg/ha} \pm 21,95 \text{ kg/ha EE}$), presentan contenidos bajos de K₂O, mientras con contenidos medios la unidad CBLD ($314,92 \text{ kg/ha} \pm 49,34 \text{ kg/ha EE}$), los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y mucha dispersión para el modelo.

Cuadro 8. Potasio disponible (kg/ha) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	K ₂ O	166,51	1048,69	18,70	19,45
CAMD	K ₂ O	144,43	1444,97	21,95	26,32
CBLD	K ₂ O	314,92	7304,78	49,34	27,14
CBMD	K ₂ O	265,45	12607,69	64,83	42,30
MB	K ₂ O	126,32	966,14	17,95	24,61
TAO	K ₂ O	262,83	12623,20	64,87	42,75
TAP	K ₂ O	161,66	889,96	17,22	18,45
TBI	K ₂ O	221,31	6872,47	47,86	37,46

El Cuadro 9, muestra que en promedio la unidad fisiográfica TAO presenta una capacidad de intercambio catiónico muy baja con (4,59 meq/100 g de suelo \pm 0,36 meq/100 g de suelo EE), mientras para las demás unidades presentan una capacidad de intercambio catiónico baja que van desde 5,06 meq/100 g de suelo hasta los 10,42 meq/100 g de suelo con su respectivo error estándar, los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 9. CIC (meq/100 g de suelo) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	CIC	6,67	2,83	0,97	25,60
CAMD	CIC	5,31	1,21	0,55	20,72
CBLD	CIC	6,75	2,18	0,74	21,88
CBMD	CIC	5,24	0,47	0,34	13,04
MB	CIC	10,42	1,55	0,62	11,95
TAO	CIC	4,59	0,51	0,36	15,54
TAP	CIC	8,49	2,12	0,73	17,15
TBI	CIC	5,06	0,39	0,36	12,30

El Cuadro 10, muestra que en promedio la unidad fisiográfica CAFD presenta contenidos medios de calcio con (5,34 meq/100 g de suelo \pm 0,76 meq/100 g de suelo EE), mientras para las demás unidades presentan promedios bajos de calcio que van desde 1,31 meq/100 g de suelo hasta los 4,67 meq/100 g de suelo con su respectivo error estándar, los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 10. Calcio (meq/100 g de suelo) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	Calcio	5,34	1,74	0,76	24,74
CAMD	Calcio	1,31	0,07	0,14	20,94
CBLD	Calcio	2,77	0,23	0,24	17,48
CBMD	Calcio	1,94	0,20	0,22	22,98
MB	Calcio	4,67	0,49	0,35	15,00
TAO	Calcio	1,78	0,13	0,18	20,23
TAP	Calcio	3,90	1,34	0,58	29,71
TBI	Calcio	1,42	0,11	0,20	23,85

El Cuadro 11, muestra que en promedio la unidad fisiográfica CAMD presento un mayor contenido de magnesio con (1,24 meq/100 g de suelo \pm 0,15 meq/100 g de suelo EE), mientras con menor contenido la unidad CBLD (0,24 meq/100 g de suelo \pm 0,017 meq/100 g de suelo EE), seguido CAFD (0,95 meq/100 g de suelo \pm 0,127 meq/100 g de suelo EE), finalmente las demás unidades fisiográfica presentaron contenidos de magnesio que oscilaron en promedio de 0,32 hasta 0,37 meq/100 g de suelo, con sus respectivo error estándar, mientras los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 11. Magnesio en (meq/100 g de suelo) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	Magnesio	0,95	0,065	0,127	26,75
CAMD	Magnesio	1,24	0,089	0,149	24,12
CBLD	Magnesio	0,24	0,01	0,017	13,62
CBMD	Magnesio	0,37	0,018	0,067	36,92
MB	Magnesio	0,32	0,004	0,030	18,75
TAO	Magnesio	0,37	0,016	0,062	33,75
TAP	Magnesio	0,35	0,000	0,000	0,00
TBI	Magnesio	0,37	0,013	0,057	30,56

El Cuadro 12, muestra que en promedio las unidades fisiográficas presentan contenidos de aluminio que van desde 1,90 meq/100 g de suelo hasta los 3,32 meq/100 g de suelo con sus

respectivos errores estándar, los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo.

Cuadro 12. Aluminio en (meq/100 g de suelo) por unidades fisiográficas de la microcuenca río Bella

Fisiografía	Variable	Media	Varianza	Error estándar	Coefficiente de Variación
CAFD	aluminio	1,99	0,02	0,08	7,25
CAMD	aluminio	2,32	0,15	0,19	16,47
CBLD	aluminio	3,04	0,68	0,41	27,24
CBMD	aluminio	2,11	0,01	0,07	5,77
MB	aluminio	3,16	0,69	0,48	26,35
TAO	aluminio	1,90	0,13	0,18	19,34
TAP	aluminio	3,32	0,35	0,30	17,77
TBI	aluminio	2,40	0,19	0,22	17,94

MB: montaña baja, CAFD: colina alta fuertemente disectada, CAMD: colina alta moderadamente disectada, CBMD: colina baja moderadamente disectada, CBLD: colina baja moderadamente disectada, TAO: terraza alta ondulada, TAP: terraza alta plana, TBI: terraza baja inundable

Representación cartográfica de la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca río Bella

- Textura del suelo

La distribución de la textura del suelo por unidades fisiográficas en el primer horizonte de la microcuenca río Bella, se observa, la textura franco arcillo arenoso se presenta en mayor proporción con una extensión de 2261,81 ha, que representa un 65,30% del área total de la microcuenca, textura franco arcilloso en una extensión de 694,15 ha, que representa un 20,04% del área total de la microcuenca, textura franco en una extensión de 268,59 ha que representa un 7,76% del área total de la microcuenca, textura franco arenoso en una extensión de 169,64 ha, que representa un 4,90% del área total de la microcuenca, textura arenoso franco en una extensión de 51,78 ha, que representa un 1,50% del área total de la microcuenca, textura arcilloso en una extensión de 14,29 ha que representa un 0,41% del total del área de la microcuenca y en menor proporción la textura franco limoso con una extensión de 3,22 ha, que representa un 0,09% del área total de la microcuenca Río Bella (Cuadro 13).

Cuadro 13. Textura del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Textura	Área (ha)	%
Arcilloso	14,291	0,41%
Arenoso franco	51,781	1,50%
Franco	268,594	7,76%
Franco arcillo arenoso	2 261,808	65,30%
Franco arcilloso	694,151	20,04%
Franco arenoso	169,642	4,90%
Franco limoso	3,219	0,09%
Área Total	3 463,486	100%

Mientras que en el segundo horizonte predomina la textura franco arcilloso una extensión de 1195,97 ha, que representa un 34,53% del área total de la microcuenca, franco arcillo arenoso con una extensión de 1124,89 ha, que representa un 32,48% del área total de la microcuenca, franco con una extensión de 645,84 ha que representa un 18,65% del área total de la microcuenca, arcilloso con una extensión de 346,53 ha, que representa un 10,01% del área total de la microcuenca, franco arenoso con una extensión de 126,82 ha, que representa un 3,66% del área total de la microcuenca y arcillo limoso con una extensión de 23,37 ha que representa un 0,67% del total del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 14).

Cuadro 14. Textura del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Textura	Área (ha)	%
Arcillo limoso	23,37	0,67%
Arcilloso	346,53	10,01%
Franco	645,84	18,65%
Franco arcillo arenoso	1 124,89	32,48%
Franco arcilloso	1 195,97	34,53%
Franco arenoso	126,82	3,66%
Área Total	3 463,42	100%

pH del suelo en la microcuenca río Bella

En el Cuadro 15, primer horizonte del suelo se muestra como está distribuida la reacción del suelo por unidades fisiográficas en toda la microcuenca río Bella, donde los suelos de reacción fuertemente ácida con rangos de 4,6 a 5,4 se presenta en mayor proporción con una extensión de 2,925,21 ha que representa un 84,46% del área total de la microcuenca, seguido de los suelos de reacción extremadamente ácida con rangos menores a 4,5 con una extensión de 338,79 ha que representa un

9,78% del área total de la microcuenca, y en menor proporción los suelos de reacción moderadamente ácida con rangos de 5,5 a 6,5 con una extensión de 199,49 ha que representa un 5,76% del área total de toda la microcuenca río Bella.

Cuadro 15. pH del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de pH	Área (ha)	%
Menor a 4,5	Extremadamente ácido	338,79	9,78%
4,6 - 5,4	Fuertemente ácido	2925,21	84,46%
5,5 - 6,5	Moderadamente ácido	199,49	5,76%
6,6 - 7,3	Neutro	0,00	0,00%
7,4 - 8,5	Moderadamente alcalino	0,00	0,00%
mayor 8,5	Fuertemente alcalino	0,00	0,00%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el Cuadro 16, segundo horizonte a mayor profundidad predomina los suelos extremadamente ácidos con rangos menor a 4,5% con una extensión de 2551,09 ha que representa un 73,66%, seguido de un suelo fuertemente ácida con rangos de 4,6 a 5,4 con una extensión de 799,95 ha que representa el 23,10% del área total de toda la microcuenca y en menor proporción suelos de reacción moderadamente ácida con rangos de 5,5 a 6,5 con una extensión de 112,48 ha que representa el 3,25% del área total de toda la microcuenca río Bella.

Cuadro 16. pH del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de pH	Área (ha)	%
Menor a 4,5	Extremadamente ácido	2 551,09	73,66%
4,6 - 5,4	Fuertemente ácido	799,95	23,10%
5,5 - 6,5	Moderadamente ácido	112,48	3,25%
Área Total		3 463,52	100%

Materia orgánica disponible

La materia orgánica del suelo presente en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles altos con rangos mayores de 4% en una extensión de 2 805,47 ha que representa un 81% del área total de la microcuenca, seguido del nivel medio con rangos de 2 a 4% en una extensión de 646,97 ha que representa un 18,7% del área total de la microcuenca y niveles bajos con rangos menores a 2% en una extensión de 10,90 ha que representa un 0,30% del área total de la microcuenca Río Bella (Cuadro 17).

Cuadro 17. Materia orgánica del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de materia orgánica	Área (ha)	%
Menor a 2	Bajo	10,90	0,3%
2 - 4	Medio	646,97	18,7%
mayor a 4	Alto	2 805,47	81,0%
Área Total		3 463,35	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos que presenta un nivel medio con rangos de 2 a 4% en una superficie de 2619,66 ha que representa un 75,60% del área total de la microcuenca, seguido del nivel alto con rangos mayor a 4% en una extensión de 464,54 ha que representa un 13,4% del área total de la microcuenca y niveles bajos con rangos menores a 2% en una extensión de 379,31 ha que representa un 11% del área total de la microcuenca río Bella (Cuadro 18).

Cuadro 18. Materia orgánica del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de materia orgánica	Área (ha)	%
Menor a 2	Bajo	379,31	11,0%
2 - 4	Medio	2 619,66	75,6%
mayor a 4	Alto	464,54	13,4%
Área Total		3 463,52	100%

Nitrógeno disponible en el suelo

El nitrógeno disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles altos con rangos de 0,15% a 0,25% en una extensión de 3 018,11 ha que representa un 87,14% del área total de la microcuenca, niveles moderada con rangos de 0,10% a 0,15% en una extensión de 293,54 ha que representa un 8,48% del área total de la microcuenca, niveles muy alta con rangos mayores a 0,25% en una extensión de 137,72 ha que representa un 3,98% del área total de la microcuenca, niveles bajos con rangos de 0,05% a 0,10% en una extensión de 12,26 ha que representa un 0,35% del área total de la microcuenca y niveles muy bajo con rangos menores a 0,05% en una extensión de 1,85 ha que representa al 0,05% del área total de la microcuenca río Bella (Cuadro 19).

Cuadro 19. Nitrógeno del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango (%)	Descripción del nitrógeno	Área (ha)	%
Menor a 0,05	Muy baja	1,85	0,05%
0,05 - 0,10	Baja	12,26	0,35%
0,10 - 0,15	Moderada	293,54	8,48%
0,15 - 0,25	Alta	3 018,11	87,14%
mayor a 0,25	Muy alta	137,72	3,98%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del nitrógeno en el suelo con un nivel moderada con rangos de 0,10% a 0,15% en una superficie de 1709,19 ha que representa un 49,35% del área total de la microcuenca, seguido del nivel bajo con rangos de 0,05% a 0,10% en una extensión de 1691,28 ha que representa un 48,83% del área total de la microcuenca, niveles altos con rangos de 0,15% a 0,25% en una extensión de 36,23 ha que representa un 1,05% del área total de la microcuenca, nivel muy bajo con rangos menor a 0,05% en una extensión de 26,05 ha que representa un 0,75% del área total de la microcuenca y un nivel muy alto con rango mayor a 0,25% en una extensión de 0,71 ha que representa un 0,02% del área total de la microcuenca río Bella (Cuadro 20).

Cuadro 20. Nitrógeno del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango (%)	Descripción	Área (ha)	%
Menor a 0,05	Muy baja	26,05	0,75%
0,05 - 0,10	Baja	1 691,28	48,83%
0,10 - 0,15	Moderada	1 709,19	49,35%
0,15 - 0,25	Alta	36,23	1,05%
mayor a 0,25	Muy alta	0,71	0,02%
Área Total		3 463,45	100%

Fósforo disponible en el suelo

La distribución del fósforo disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles adecuadas con rangos de 7 ppm a 15 ppm en una extensión de 3 119,27 ha que representan un 90,06% del área de la microcuenca, niveles bajo con rangos de 3 ppm a 7 ppm en una extensión de 257,72 ha que representan un 7,44% del área de la microcuenca, niveles altos con rangos de 15 ppm a 25 ppm en una extensión de 77,91 ha que representan un 2,25% del área de la microcuenca y niveles muy baja con rangos menores a 3 ppm en una extensión de 8,59 ha que representan un 0,25% del área total de la microcuenca Río Bella (Cuadro 21).

Cuadro 21. Fósforo del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción del fósforo	Área (ha)	%
Menor a 3	Muy baja	8,59	0,25%
3 - 7	Baja	257,72	7,44%
7 - 15	Adecuada	3 119,27	90,06%
15 - 25	Alta	77,91	2,25%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del fósforo en el suelo con un nivel bajo con rangos

de 3 ppm a 7 ppm en una extensión de 2 926,93 ha que representan un 84,51% del área de la microcuenca, niveles adecuada con rangos de 7 ppm a 15 ppm en una extensión de 380,93 ha que representan un 11% del área de la microcuenca, niveles muy bajo con rangos menor a 3 ppm en una extensión de 148,57 ha que representan un 4,29% del área de la microcuenca y niveles altos con rangos de 15 ppm a 25 ppm en una extensión de 7,05 ha que representan un 0,20% del área total de la microcuenca río Bella (Cuadro 22).

Cuadro 22. Fósforo del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción del fósforo	Área (ha)	%
Menor a 3	Muy baja	148,57	4,29%
3 - 7	Baja	2 926,93	84,51%
7 - 15	Adecuada	380,93	11,00%
15 - 25	Alta	7,05	0,20%
Área Total		3 463,49	100%

Óxido de Potasio disponible en el suelo

La distribución del óxido de potasio disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca Río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles muy baja con rangos menor de 300 (kg/ha) en una extensión de 2 941,70 ha que representan un 84,93% del área de la microcuenca y niveles medio con un rango de 300 (kg/ha) a 600 (kg/ha), en una extensión de 521,78 ha que representan un 15,07% del área de la microcuenca Río Bella (Cuadro 23).

Cuadro 23. Oxido de potasio del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de óxido de potasio	Área (ha)	%
Menor a 300	Muy baja	2 941,70	84,93%
300 - 600	Medio	521,78	15,07%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del óxido de potasio en el suelo con niveles muy baja con rangos menor de 300 (kg/ha) en una extensión de 3 397,48 ha que representan un 98,09% del área de la microcuenca y niveles medio con un rango de 300 (kg/ha) a 600 (kg/ha), en una extensión de 66,04 ha que representan un 1,91% del total del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 24).

Cuadro 24. Oxido de potasio del segundo horizonte del suelomicrocuenca río Bella

Rango	Descripción de óxido de potasio	Área (ha)	%
Menor a 300	Muy baja	3 397,48	98,09%
300 - 600	Medio	66,04	1,91%
Área Total		3 463,52	100%

Capacidad de intercambio catiónico en el suelo

La distribución de la capacidad de intercambio catiónico disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles baja con rangos de 6 (Cmol(+)/kg) a 12 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3 459,54 ha que representan un 99,89% del área de la microcuenca y niveles moderada con rangos de 12 (Cmol(+)/kg) a 25 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 3,95 ha que representan un 0,11% del total del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 25).

Cuadro 25. CIC del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de CIC	Área (ha)	%
Menor a 6	Muy baja	3 463,49	100,00%
Área Total		3 463,5	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo con niveles muy baja con rangos menor a 6 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3,463,49 ha que representan al 100% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 26).

Cuadro 26. CIC del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de CIC	Área (ha)	%
Menor a 6	Muy baja	3463,49	100,00%
Área Total		3463,5	100%

Calcio disponible en el suelo

La distribución del calcio disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles baja con rangos de 2 (Cmol(+)/kg) a 5 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3 136,53 ha que representan un 90,56% del área de la microcuenca, niveles moderada con rangos de 5 (Cmol(+)/kg) a 10 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 238,03 ha que representan un 6,87% del área de la microcuenca y niveles muy baja con rangos menores a 2 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 88,93 ha que representan un 2,57% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 27).

Cuadro 27. Calcio del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de calcio	Área (ha)	%
Menor a 2	Muy baja	88,93	2,57%
2 - 5	Baja	3 136,53	90,56%
5 - 10	Moderada	238,03	6,87%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del calcio en el suelo con niveles baja con rangos de 2 (Cmol(+)/kg) a 5 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3 142,73 ha que representan un 90,74% del área de la microcuenca y niveles muy baja con rangos menores a 2 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 320,79 ha que representan un 9,26% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 28).

Cuadro 28. Calcio del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de calcio	Área (ha)	%
Menor a 2	Muy baja	320,79	9,26%
2 - 5	Baja	3 142,73	90,74%
Área Total		3 463,52	100%

Magnesio disponible en el suelo

La distribución del magnesio disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observan niveles baja con rangos menor de 0,5 (Cmol(+)/kg) a 1,50 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 2 529,09 ha que representa un 73,02% del área de la microcuenca, niveles moderada con rangos de 1,50 (Cmol(+)/kg) a 4,00 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 794,47 ha que representan un 22,94% del área de la microcuenca, niveles muy baja con rangos menor a 0,50 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 132,43 ha que representan un 3,82% del área de la microcuenca y niveles alta con rangos de 4 (Cmol(+)/kg) a 8 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 7,49 ha que representan un 0,22% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 28).

Cuadro 28. Magnesio del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de magnesio	Área (ha)	%
Menor a 0,50	Muy baja	132,433	3,82%
0,5 - 1,50	Baja	2 529,092	73,02%
1,5 - 4	Moderada	794,466	22,94%
4 - 8	Alta	7,495	0,22%
Área Total		3 463,486	1,00

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del magnesio en el suelo con niveles baja con rangos menor de 0,5 (Cmol(+)/kg) a 1,50 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 2 029,027 ha que representa un 58,58% del área de la microcuenca, niveles muy baja con rangos menor a 0,50 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 1390,736 ha que representan un 40,15% del total del área de la microcuenca y niveles moderada con rangos de 1,50 (Cmol(+)/kg) a 4 (Cmol(+)/kg) en una

extensión de 43,73 ha que representan un 1,26% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 30).

Cuadro 30. Magnesio del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de magnesio	Área (ha)	%
Menor a 0,50	Muy baja	1 390,736	40,15%
0,5 - 1,50	Baja	2 029,027	58,58%
1,5 - 4	Moderada	43,733	1,26%
Área Total		3 463,496	100%

Potasio disponible en el suelo

La distribución del potasio disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observa niveles muy baja con rangos menor de 0,10 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 2 973,77 ha que representan un 85,86% del área de la microcuenca, niveles baja con rangos de 0,10 (Cmol(+)/kg) a 0,20 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 371,81 ha que representan un 10,74% del área de la microcuenca, niveles moderada con rangos de 0,20 (Cmol(+)/kg) a 0,40 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 110,90 ha que representan un 3,20% del área de la microcuenca y niveles adecuada con rangos de 0,40 (Cmol(+)/kg) a 0,70 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 7,01 ha que representan un 0,20% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 31).

Cuadro 31. Potasio del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de potasio	Área (ha)	%
Menor a 0,10	Muy baja	2 973,77	85,86%
0,10 - 0,20	Baja	371,81	10,74%
0,20 - 0,40	Moderada	110,90	3,20%
0,40 - 0,70	Adecuada	7,01	0,20%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del potasio en el suelo con niveles muy baja con rangos menores a 0,10 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3,332,63 ha que representan un 96,22% del área de la microcuenca y niveles baja con rangos de 0,10 (Cmol(+)/kg) a 0,20 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 130,89 ha que representan un 3,78% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 32).

Cuadro 32. Potasio del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de potasio	Área (ha)	%
Menor a 0,10	Muy baja	3 332,63	96,22%
0,10 - 0,20	Baja	130,89	3,78%
Área Total		3 463,52	100%

Sodio disponible en el suelo

La distribución del sodio disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observa niveles muy baja con rangos menor a 0,10 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3,242,54 ha que representan un 93,62% del área de la microcuenca y niveles baja con rangos de 0,10 (Cmol(+)/kg) a 0,30 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 220,94 ha que representan un 6,38% del total del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 33).

Cuadro 33. Sodio del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de sodio	Área (ha)	%
Menor a 0,10	Muy baja	3 242,54	93,62%
0,10 - 0,30	Baja	220,94	6,38%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad del sodio en el suelo con niveles muy baja con rangos menores a 0,10 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3,342,54 ha que representan un 96,51% del área de la microcuenca y niveles baja con rangos de 0,10 (Cmol(+)/kg) a 0,30 (Cmol(+)/kg), en una extensión de 120,75 ha que representan un 3,49% del total del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 34).

Cuadro 34. Sodio del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de sodio	Área (ha)	%
Menor a 0,10	Muy baja	3 342,74	96,51%
0,10 - 0,30	Baja	120,75	3,49%
Área Total		3 463,49	100%

Capacidad de intercambio catiónico equivalente en el suelo

La distribución de la capacidad de intercambio catiónico equivalente disponible en el suelo en el primer horizonte de la microcuenca río Bella por unidades fisiográficas se observa niveles medio con rangos de 4 (Cmol(+)/kg) a 30 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 3,214,21 ha que representan un 92,80% del área de la microcuenca y niveles bajo con rangos menor a 4 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 249,28 ha que representan un 7,20% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 35).

Cuadro 35. CICE del primer horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de CICE	Área (ha)	%
Menor a 4	Bajo	249,28	7,2%
4 - 30	Medio	3 214,21	92,8%
Área Total		3 463,49	100%

Mientras que en el segundo horizonte a medida que se profundiza el suelo observamos la disponibilidad de la capacidad de intercambio catiónico equivalente en el suelo con niveles medio con rangos de 4 (Cmol(+)/kg) a 30 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 2906,17 ha que representan un 83,90% del área de la microcuenca y niveles bajo con rangos menores a 4 (Cmol(+)/kg) en una extensión de 557,36 ha que representan un 16,10% del área de la microcuenca río Bella (Cuadro 36).

Cuadro 36. CICE del segundo horizonte del suelo microcuenca río Bella

Rango	Descripción de CICE	Área (ha)	%
Menor a 4	Bajo	557,36	16,1%
4 - 30	Medio	2 906,17	83,9%
Área Total		3 463,53	100%

Discusión

Según el análisis morfométricos se pudo determinar un área de 34,6 km². El área de la microcuenca del río Bella es el parámetro más importante, influye directamente en la cantidad de agua que pueda producir y consecuentemente en la magnitud de los caudales; viene a ser la proyección horizontal de la superficie que se puede determinar directamente en un plano topográfico, siendo determinante la escala de presentación; mientras que el perímetro (P) es definida por la longitud del límite exterior del contorno de la delimitación del área de la microcuenca. Para JOOMOLA (2013) una cuenca es una superficie terrestre asociada a uno o varios elementos. La cuenca hidrográfica de un río o de una estación es la porción de territorio para la cual cada gota de agua cayendo en ella es susceptible de llegar al río o a la estación, Su límite se llama también parte aguas. La forma de la microcuenca se caracteriza con el índice o coeficiente de compacidad Kc se debe a Gravelius, con un valor de 1,4 donde la forma es de oval redonda a oval oblonga y su tendencia a las crecidas es media. Para LEANDRO (2009) una cuenca exorreica forma las corrientes de aguas superficiales; mientras que las cuencas endorreicas determinan la corriente de aguas subterráneas. Mientras que la elevación media de la microcuenca, es un factor relacionado con la temperatura y la precipitación con 1270 m.s.n.m. La Pendiente media de la microcuenca es otro factor relacionado con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de la corriente, afecta notablemente a la relación lluvia escurrimiento pues reduce el tiempo de concentración y acorta el periodo de infiltración; que para ROCHA (1998) existe, pues, correlación entre pendientes, velocidades y tamaño característico de los sólidos en movimiento y la pendiente fluvial es variable a lo

largo del recorrido que el río hace desde sus nacientes hasta la desembocadura. En general en las partes altas están las mayores pendientes, En las partes bajas de los cauces fluviales la pendiente disminuye notablemente.

La unidad fisiográfica CAMD, TAP, TBI, TAO presenta una textura franco arenoso, mientras que CBLD, CBMD, CAFD, y MB presenta una textura franco arcilloso; presentando suelos de textura uniforme y del grupo textural franco, los cuales son aptos para el establecimiento y producción de cultivos, ZAVALETA (1992) menciona que las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, y que los suelos de textura franca mantienen una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes Los suelos presentan un pH de fuerte a moderadamente ácidos (4,08 - 6,07) en todas las unidades fisiográficas esto se debe a la intensa deforestación de la zona, influencia de la altitud, morfología, topografía y a ello se unen las intensas precipitaciones que ayudan al lavado de nutrientes; los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y poca dispersión para el modelo y con ello el error estándar fue mayor en CBMD, AREVALO y SANCO (2002) encontró tendencias similares en el comportamiento del pH respecto a la altitud, agregando además la relación de este parámetro con las características mineralógicas de los materiales geológicos que originaron los suelos estudiados.

El contenido bajo, medio y alto de materia orgánica y nitrógeno es de nivel medio estaría obedeciendo a la hojarasca presente en el suelo, a diferencias en niveles de contenido por la altitud y unidad fisiográfica y a la estrecha relación C/N, ya que los coeficientes de variación presentan poca homogeneidad y son muy dispersos, respecto a ello CEPEDA (1991) indica, que al realizar las labores de limpieza, el tallo, hojas y todas las raíces son abandonadas en el suelo; al ser descompuestos incrementan los niveles de materia orgánica y nitrógeno, del mismo modo, el contenido y composición de la MO están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos.

El contenido de fósforo es muy bajo y bajo probablemente al proceso de fijación del fósforo por los minerales arcillosos del tipo 1:1 caoliníticos o por los óxidos o hidróxidos de fierro y aluminio que estas presentan cargas positivas y con el anión fósforo forman complejos insolubles, FASSBENDER (1987) indica que la adsorción de iones fosfato a la superficie del complejo coloidal como partículas de arcilla, material orgánico e hidróxidos de Al y Fe, es debido a las cargas electropositivas de la superficie de estos

componentes; donde el error estándar fue mayor en CAMD y TAP. En cuanto al potasio, calcio y magnesio como en estos suelos solo tienen pH bajos, las arcillas en estos suelos generan cargas positivas que impiden la adsorción del potasio, calcio y magnesio facilitando la remoción por el agua teniendo en cuenta que esta zona es de alta precipitación; el error estándar fue mayor en TAO y CBMD para el potasio, mientras que para el calcio fue mayor en CAFD y para el magnesio CAMD, al respecto FASSBENDER (1987) indica que los factores que influyen sobre los nutrientes en el suelo son el régimen hídrico, la actividad biológica que a su vez depende del pH y la fertilización. Tanto el hidrógeno y el aluminio están íntimamente ligados debido que ambos forman la acidez cambiante; es por ello que, en los suelos ácidos, sujetos a fuertes precipitaciones (como en la selva y zonas alto andinas) predominan H^+ y Al^{+++} , (NAVARRO, 2003). Mientras que el incremento en el Ca^{++} conlleva a un incremento del CIC, esto asociado a otros cationes de cambio; tal como indica GUERRERO (2000) que el CIC es suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.).

La representación cartográfica está orientada al conocimiento del suelo mediante la distribución espacial de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca río Bella, lo que se muestra en los mapas es como están distribuidos los nutrientes de los suelos, así como también es proveer información de cómo se encuentran estos suelos por unidades fisiográficas y en base a ello planificar su uso de la tierra. CEPEDA (1991) menciona que en el Perú no existe una metodología propia, se ha adaptado los lineamientos del manual de levantamiento de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Metodología de la FAO.

Para el caso de las fracciones coloidales, el incremento y disminución en el contenido de arcilla, limo y arena varían según tipo de textura que se presenten en el suelo, que para nuestro caso la microcuenca río Bella presenta en mayor proporción la textura franco arcillo arenoso, seguido de la textura franco arcilloso, y en menor proporción el franco limoso; tal como lo señala SANCHEZ (2007) que los suelos presentan una proporción de arena, limo y arcilla, Mientras que mayor contenido de arena, menor contenido de limo y menor contenido de arcilla, estas características favorecen el crecimiento de las plantas.

Los mapas nos dan como resultado una variación espacial en el contenido y nivel de las propiedades físicas y químicas del suelo de la microcuenca brindando una información útil para la toma de decisiones. Algunos autores realizaron una evaluación espacial mediante un análisis geoestadístico, como es el caso de VASQUEZ et

al. (2010) quien visualizó y graficó la variabilidad de cada propiedad evaluada y se evidenció la existencia de moderada dependencia espacial en las propiedades excepto en los contenidos de arena, Ca^{+2} , CIC, P u Cu que revelan fuerte dependencia espacial, El índice de homogeneidad multivariado para los suelos en estudio fue bajo, siendo textura, Na^+ , B, Fe, K, pH, Ca y MO las propiedades con mayor contribución a la heterogeneidad.

Los resultados obtenidos, a partir de mapas generados mediante el método de interpolación kriging, que generó una mayor uniformidad; para OLIVER (1990), Kriging es apropiado para modelizar con precisión datos que tengan un comportamiento uniforme en toda la zona considerada, y es inapropiado para modelizar fenómenos que tengan rupturas importantes o grandes cambios abruptos. Es muy útil por su carácter predictivo cuando se dispone de pocos datos de muestreo. La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interpretación entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo y consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas; se deben tomar en cuenta los siguientes elementos para determinar la fertilidad de los suelos: pH, CIC, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible. Que para nuestro caso la microcuenca río Bella presenta un pH de extremada, fuerte y moderadamente ácida, materia orgánica bajo, medio y alto, muy bajo, bajo, moderada alta y muy alta en nitrógeno, fósforo muy bajo, bajo, adecuada y alta, baja y moderada en CIC. La distribución del calcio, magnesio, potasio, sodio CICe no es uniforme porque tanto como en el norte, sur y medio estarían obedeciendo a la textura del suelo (contenido de arena, limo y arcilla). En la mayor parte de la microcuenca río Bella predomina la textura franco arcillo arenoso tal como se mostró en la Figura 24, lo que implica que predominen más cargas negativas y estas permitirían la adsorción del Ca, Mg y K; para JARAMILLO (2003), el suelo es una entidad compleja que se caracteriza por la presencia de múltiples atributos, existiendo menor variabilidad en aquellas propiedades edáficas en su condición natural.

El contenido del fósforo en los suelos de la microcuenca río Bella en la parte alta, media y baja es el adecuado, posiblemente estarían obedeciendo al efecto de la reacción del suelo o pH mostrado en la Figura 26, al respecto se conoce que el pH controla la dinámica del fósforo. Para FASSBENDER (1987) la capacidad de fijación del P correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica, hidróxidos libres de aluminio, hierro y arcilla de los suelos; los factores más importantes son el pH y el contenido de hidróxidos

libres de Fe y la materia orgánica. El contenido alto de materia orgánica explica la relación que existe entre ambos, porque (la distribución espacial del nitrógeno y la materia orgánica está asociada), es por ello que un incremento de materia orgánica trae consigo el incremento del nivel de nitrógeno (Figura 28 y Figura 30) tal como lo señala NAVARRO (2003) y FERNANDEZ (2006) quienes indican que la mayor parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician.

Referencias bibliográficas

1. Acebedo E, Xarrasco A, León O, Silva P, Castillo G, Borie G, Martinez E, Gonzales S, Ahumada. Criterios de calidad del suelo agrícola, [Internet]. USDA, 2005. [Citado 22 de febrero de 2006]. Disponible en: <http://soils.usda.gov/sqi/informe>.
2. Achuy J. ArcGis. Manual de sistema de información geográfica. Grupo Universitario S.A.C. Perú, 2006; 321 p.
3. Aguilar, M, Aguilar F, Carvajal F, Agüera F. Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales del terreno agrícola; 2001.
4. Aguilar F, Aguilar M, Carvajal F, Agüera F, Sanchez P. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de modelos digitales de elevaciones, In: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Universidad de Almería; 2002.
5. Bruz D, De Gruijter J, Barsman B, Visschers R, Bregt A, Brewuwsma A, Bouma J. The performance of spatial interpolation methods and cloropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study, *Environmetrics*. 1996; 7(1):1-16.
6. Cepeda D. Química de Suelos. 2 ed, Trillas S.A. México; 1991. 167 p.
7. Contantinesco L. Conservación de suelos para países de desarrollo, Boletín N° 10 FAO, Roma; 1976.
8. Chen Z. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [Internet] 2000. [Citado 12 de febrero de 2016] Disponible en: <http://www.ftc.agnet.org/>.
9. Dombeck M. El agua y cuencas hidrográficas [Internet]. 2012. [Citado 10 de junio de 2016] Disponible en: http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/pdf/el_agua_y_las_cuencas_hidrograficas.pdf.
10. Doran J, Lincoln N. Guía para la evaluación de la calidad del suelo, [Internet]: USDA, 1999. [Citado 22 de noviembre de 2005] Disponible en: <http://soils.usda.gov/sqi>
11. Fallas J. Comparación de dos métodos de interpolación para elaborar un modelo de elevación digital a partir de curvas de nivel a escala 1: 200,000 para Costa Rica, Universidad Nacional, Programa Regional en Manejo de vida silvestre y Ciencias Ambientales; 2003.
12. Fassbender H. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed, IICA, San José, Costa Rica; 1987.
13. Fernandez R. Manual de técnicas de análisis de suelos, Instituto Mexicano del petróleo, México D.F.; 2006.
14. Gonzales SA. Distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq), Nueva Requena – Ucayali. [Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables]. [Tingo María]: Universidad Nacional Agraria de la Selva. 1987.
15. Henríquez C, Killorn R, Bertsch F, Sancho F. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador kriging. *Agronomía Costarricense*. 2005; 29 (2): 73-81.
16. Holdridge L. Ecología basada en zonas de vida, Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, San José de Costa Rica; 1987. 216p.
17. Jaramillo D. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; 2003: 553 – 572.
18. Joomla. El agua y cuencas hidrográficas, Universidad Autónoma del Estado de México [Internet] 2013. [Citado 10 de junio de 2015]. Disponible en: <http://idrisi.uaemex.mx/index.php/esta-semana/nocion/lista-de-nociones/46-que-es-una-cuenca-hidrografica>.
19. Leandro M. Caracterización de las cuencas [Internet] 2009. [Citado 10 de junio de 2015]. Disponible en: http://irrigacion.chapingo.mx/planest/documentos/apuntes/hidrologia_sup/C_UENCAS.pdf.
20. Mejía AE, Acosta WE, Diosdado HB. Distribución espacial de los suelos de un área productiva de palma de aceite (*Elaeis guineensis* L.) en San Lorenzo, Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo; 2010.
21. MINAG. Cadena agropecuaria de papa: Manejo y fertilidad de suelos, Guía técnica de orientación al productor; 2009. 50 p.
22. Navarro G. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España; 2003.
23. Oliver M. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems", *International journal of geographic information systems*. 1990; 4: 313–332.
24. SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Washington, DC; 1993.

25. Sub Estacion Bella Alta. Estación meteorológica instalada en el sector Bella Alta, en el fundo de la familia Morales en el año 2003; 2010.
26. Vargas R. Mapeo digital del suelo y su evaluación con fines de producción de caña de azúcar en los municipios de Ixiamas y San Buenaventura. Conservación Internacional Bolivia y Conservación Estratégica; 2009. 140p
27. Villacorta S. Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos con cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de la Asociación de Palmicultores de Shambillo (ASPASH), en el distrito Padre Abad, provincia Padre Abad y región Ucayali. [Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables Mención Conservación de Suelos y Agua]. [Tingo María]: Universidad Nacional Agraria de la Selva. 2014.
28. Zavala S. Estudio morfopedológico como base para la recuperación de suelo degradados en Tingo María. [Tesis MsC] [La Molina] Universidad Nacional Agraria la Molina. 1999.
29. Zavaleta G. Edafología, El suelo en relación con la producción, Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú; 1992.