

**CARACTERIZACIÓN DE LA DIRECCIONALIDAD DE
FLUJOS HÍDRICOS EN ÁREAS PRIORIZADAS DE LOS
PÁRAMOS DE RABANAL, GUERRERO Y SANTURBÁN**

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA



**INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN
INGFOCOL Ltda.**

NOVIEMBRE, 2013

CONTENIDO

	Pág.
1. CRITERIOS PARA LA GENERACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE RESPUESTA (UHR).....	5
1.1. CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS DEL SUELO EN VALORES DE CN.....	5
1.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL GRUPO HIDROLÓGICO	13
1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES.....	18
1.4. DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE RESPUESTA.....	21
2. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE LAS UNIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	24
2.1. RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS.....	24
2.2. POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS	34
3. BIBLIOGRAFÍA.....	41

LITA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de coberturas del suelo Páramo de Guerrero.....	6
Figura 2. Mapa de coberturas del suelo. Páramo Rabanal (Izquierda) y Guerrero (Derecha).....	7
Figura 3. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico A (Suelos Permeables).....	9
Figura 4. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico B (Suelos moderadamente permeables).....	10
Figura 5. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico C (Suelos de permeabilidad baja)	11
Figura 6. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico D (Suelos de permeabilidad muy baja).....	12
Figura 7. Mapas de suelos del IGAC. Escala 1:100.000	15
Figura 8. Convenciones Mapas de suelos del IGAC. Escala 1:100.000.....	16
Figura 9. Mapas de la Clasificación en Grupos Hidrológicos para los suelos	17
Figura 10. Mapa de pendientes	19
Figura 11. Clasificación de pendientes de acuerdo al IGAC.....	20
Figura 12 Triangulo textural.....	30
Figura 15 Mapa de texturas de suelos	31
Figura 16 Mapa de Conductividad hidráulica Saturada	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de CN para coberturas en Páramos en Colombia	8
Tabla 2 Clasificación de Pendientes de acuerdo a estudios del IGAC	18
Tabla 3 Categorías definidas para la columna de características	26
Tabla 4 Categorías definidas para la columna 3 de clases taxonómicas (Ordenes)	29
Tabla 5 Clasificación de materiales por tamaños de partículas).....	30
Tabla 6 Listado de categorías para la columna del material parental.....	34
Tabla 7 Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial alto	35
Tabla 8 Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial medio.....	36
Tabla 9. Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial medio.....	39

1. CRITERIOS PARA LA GENERACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE RESPUESTA (UHR)

Las unidades hidrológicas de respuesta (UHR) son arreglos espaciales las cuales responden de una forma étnica ante un mismo valor de precipitación, estas resultan de combinar parámetros de tipo de suelo, cobertura y pendiente del terreno y están condicionadas por la humedad del suelo en el momento de que ocurre la precipitación.

Las UHR buscan clasificar una cuenca o parte de esta en pequeñas unidades las cuales presentan un comportamiento similar ante la precipitación, es decir porciones de superficie que generan una escorrentía igual ante una misma cantidad de precipitación.

Los modelos lluvia- escorrentía buscan establecer una relación entre el volumen de precipitación y el volumen de escorrentía generado, expresando esta relación como un coeficiente de escorrentía.

$$\frac{V_{Esc}}{V_p} = C$$

Esta relación no es lineal y cada método busca estimarlo basado en diversos parámetros. El método del Número de curva (CN) explicado anteriormente basa esta relación en un valor que permite al mismo tiempo clasificar una cuenca o una región en UHR y establecer el cálculo de la escorrentía teniendo como entrada la precipitación. Para el proyecto nos basaremos en esta clasificación de CN teniendo en cuenta la cobertura del suelo, el tipo de suelo y la pendiente del terreno

1.1. CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS DEL SUELO EN VALORES DE CN

La cobertura del Suelo condiciona el grado de exposición del suelo a una superficie de infiltración (el suelo desnudo) y determina el grado de retención de precipitación en la

superficie la cual posteriormente se evaporará y no tendrá contacto con el suelo.

Para la clasificación de estas cobertura se trabajó con la cartografía existente para los páramos a escala 1:100.000 suministrada por el Instituto Alexander von Humboldt a través de la geodatabase.

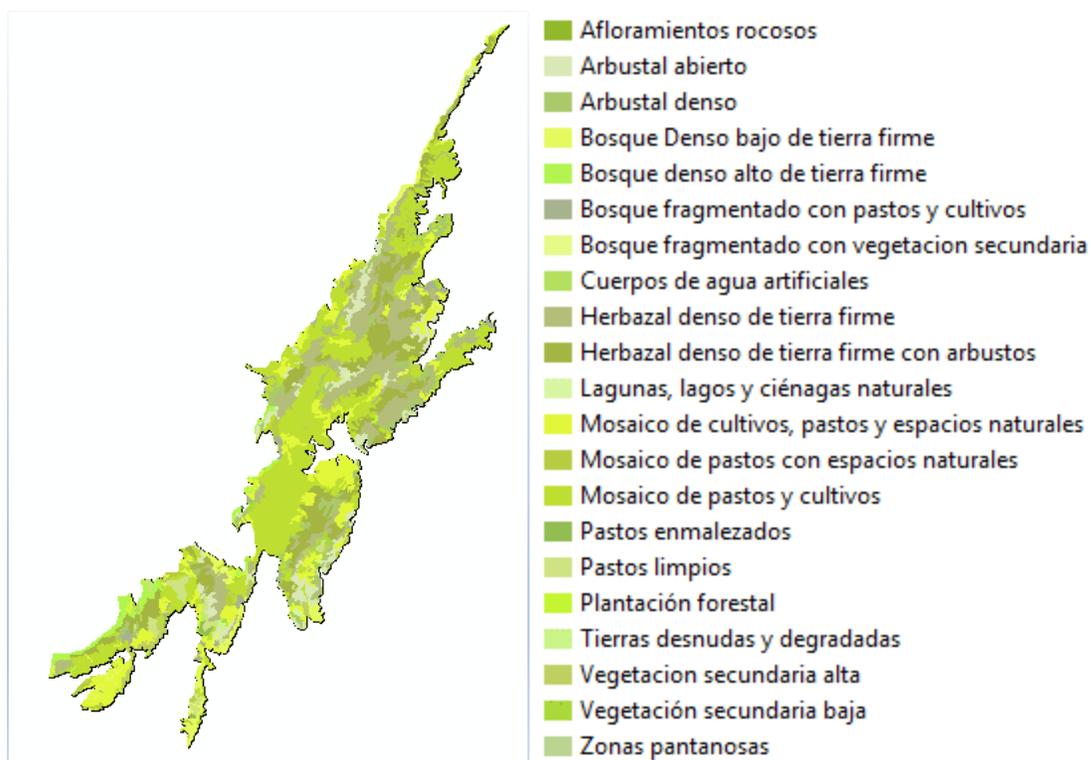


Figura 1. Mapa de coberturas del suelo Páramo de Guerrero

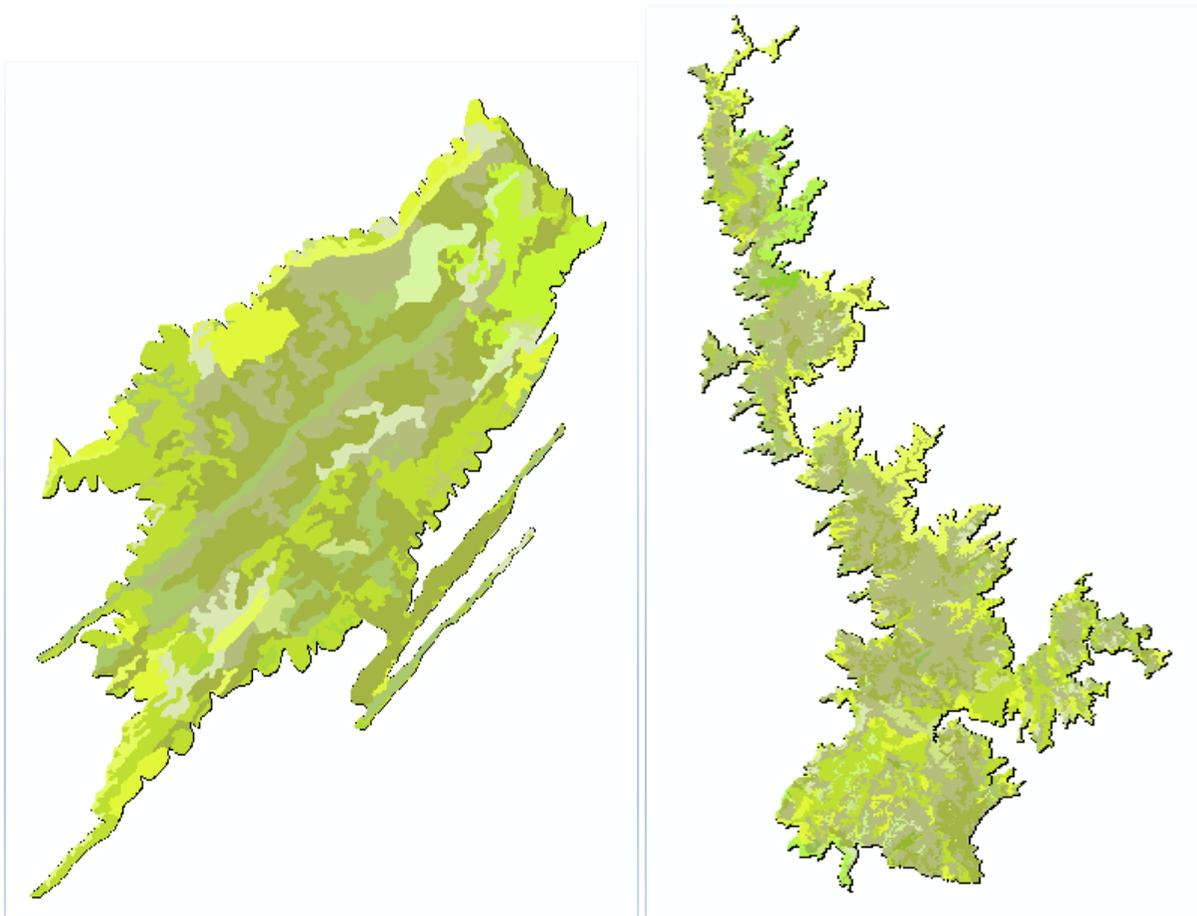


Figura 2. Mapa de coberturas del suelo. Páramo Rabanal (Izquierda) y Guerrero (Derecha)

De acuerdo a la cartografía se encontraron 21 tipos de cobertura de suelo, en las cuales se incluyen las superficies de agua en los páramos. Estas Coberturas como se presentó en el informe metodológico deben ser homologadas a números de curva (CN) para crear las unidades hidrológicas de respuesta. Para esto se utilizó como base la clasificación realizada por la Universidad de Texas, la cual es incluida en el programa de modelación hidrológica SWAT. La base de datos del SWAT incluye la clasificación de 127 coberturas de suelo asignándoles valores de CNa cada una de ellas para las 4 combinaciones posibles con tipos de suelo de acuerdo a su permeabilidad. Esto sirvió de base para obtener la clasificación de las Coberturas de los páramos, sin embargo, debido a que estos valores han sido estudiados y calibrados para coberturas en su mayoría típicas en Estados Unidos, se realizó por parte del equipo profesional del Instituto von Humboldt un

análisis de las características de la cobertura que definen la interceptación, evapotranspiración y escorrentía superficial para estimar valores de CN en coberturas de paramos (Duarte, B y Marín C, 2013)¹

Como resultado de esta clasificación se obtuvo valores de CN para los 21 tipos de cobertura, teniendo en cuenta su posible interacción con cuatro tipos de suelo con diferente grado de permeabilidad como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de CN para coberturas en Páramos en Colombia

TIPO DE COBERTURA - CARTOGRAFIA 1:100.000	COBERTURA HOMOLOGA EN EL SWAT	NÚMERO DE CURVA -CN			
		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Afloramientos rocosos					
Arbustal abierto	Range-Brush	35	65	75	85
Arbustal denso	Range-Brush	30	60	70	80
Bosque denso alto de tierra firme	Forest-Deciduous	25	50	65	75
Bosque Denso bajo de tierra firme	Forest-Mixed	30	55	70	75
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	Forest-Mixed	40	65	75	80
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Forest-Mixed	40	65	75	80
Cuerpos de agua artificiales	Water	92	92	92	92
Herbazal denso de tierra firme	Range-Grasses	35	65	75	80
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	Range-Grasses	32	60	70	75
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Water	92	92	92	92
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Agricultural Land-Generic	50	65	80	85
Mosaico de pastos con espacios naturales	Agricultural Land-Generic	55	65	75	80
Mosaico de pastos y cultivos	Agricultural Land-Generic	70	80	85	90
Pastos enmalezados	Range-Brush	35	65	75	80
Pastos limpios	Pasture	60	70	80	90
Plantación forestal	Forest-Evergreen	55	70	80	85
Vegetación secundaria baja	Range-Grasses	35	65	75	80
Vegetación secundaria alta	Range-Brush	30	60	70	75
Zonas pantanosas	Wetlands-Non-Forested	92	92	92	92

(CN para coberturas sobre suelos A: Permeables, B: Moderadamente Permeables, C: Permeabilidad baja, Permeabilidad muy baja)

¹ EL PAPEL DE LAS COBERTURAS VEGETALES DE LOS PÁRAMOS BAJO PROCESOS ECOLÓGICOS DE INTERPRETACIÓN, EVAPOTRANSPIRACIÓN Y ESCORRENTÍA. Documento en elaboración. Instituto Alexander von Humboldt. Proyecto Páramos y Sistemas de Vida.

Una vez clasificada las coberturas se elaboraron 4 mapas (formato shape) para cada páramo en el cuales se representan los valores del CN para cada una de las condiciones de suelo (Grupo hidrológico del Suelo A, B C, D). En la Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6 se presentan los mapas de CNs para los tres páramos.

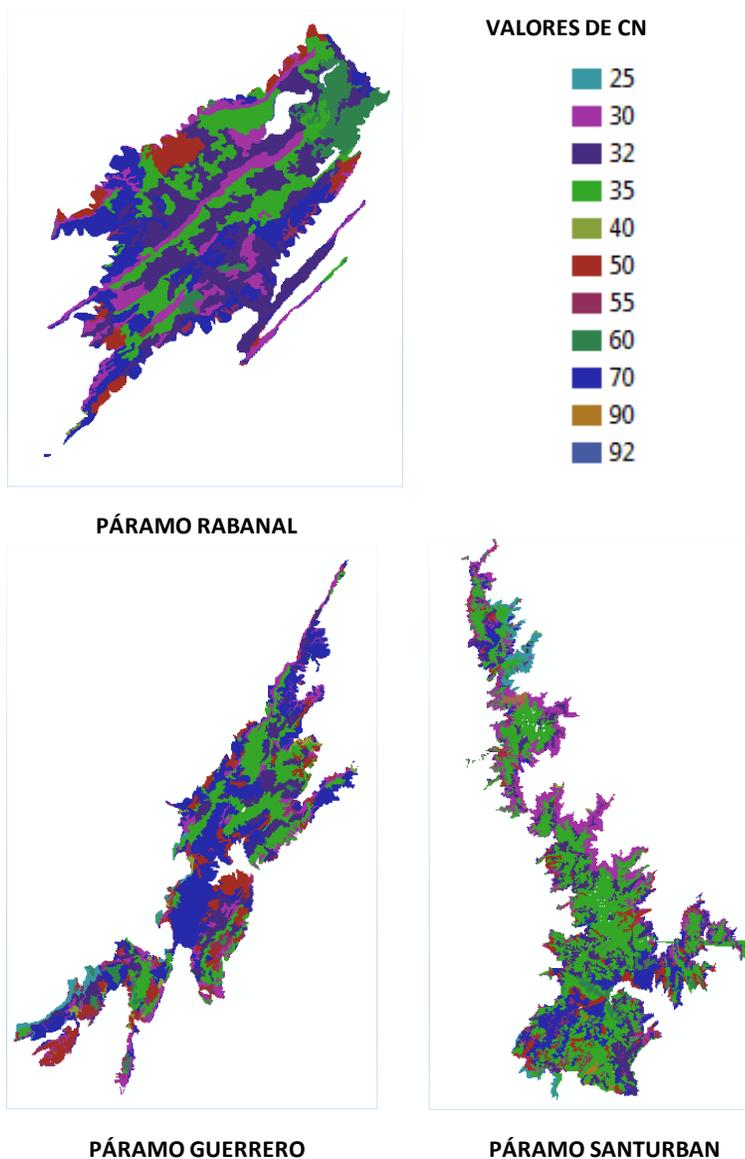


Figura 3. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico A (Suelos Permeables)

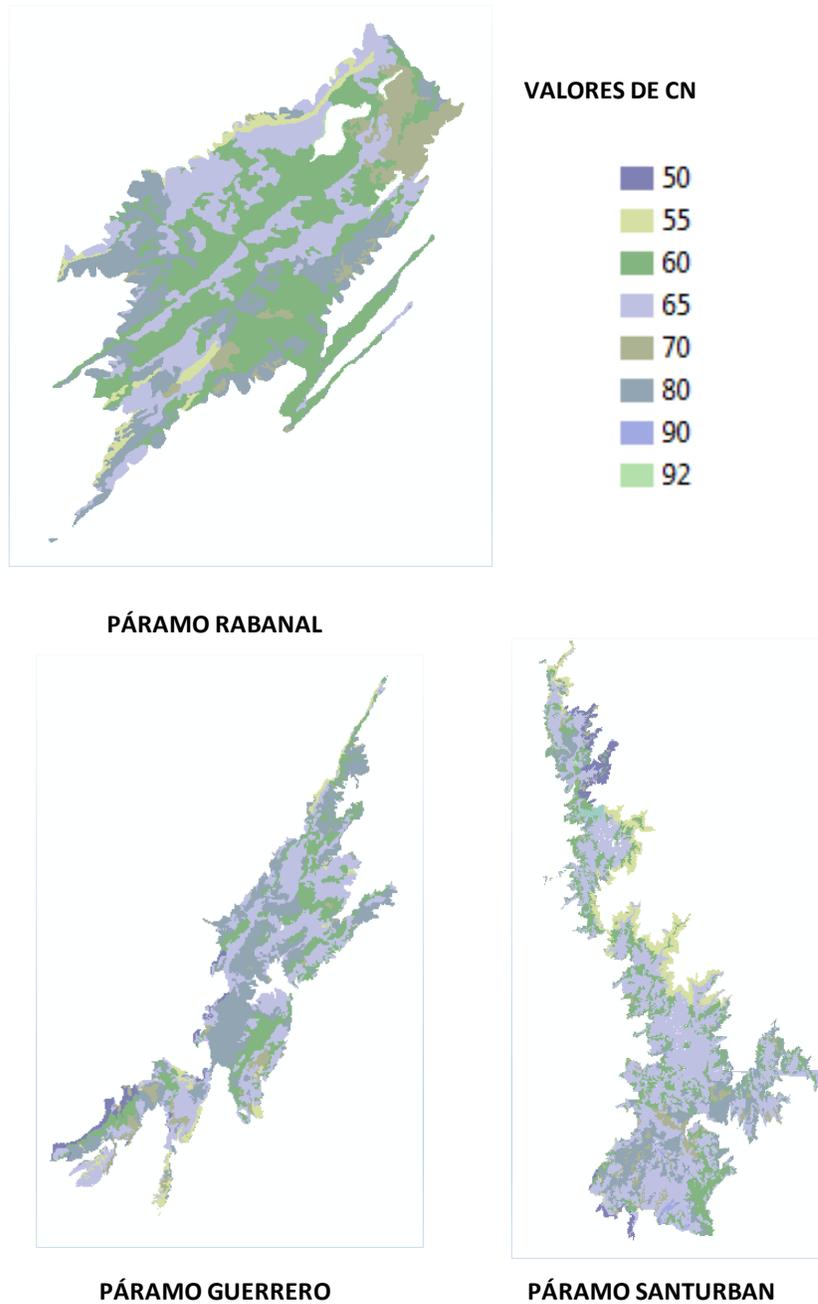


Figura 4. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico B (Suelos moderadamente permeables)

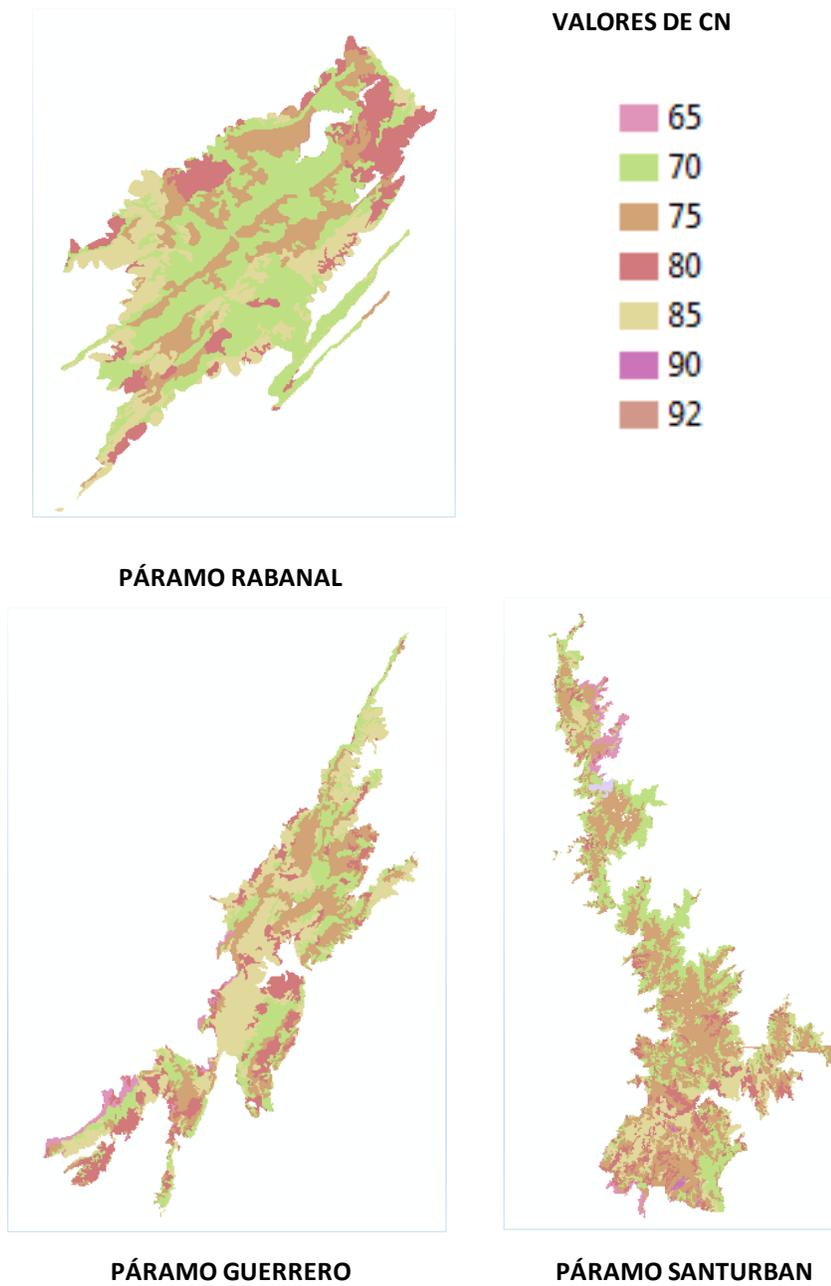


Figura 5. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico C (Suelos de permeabilidad baja)

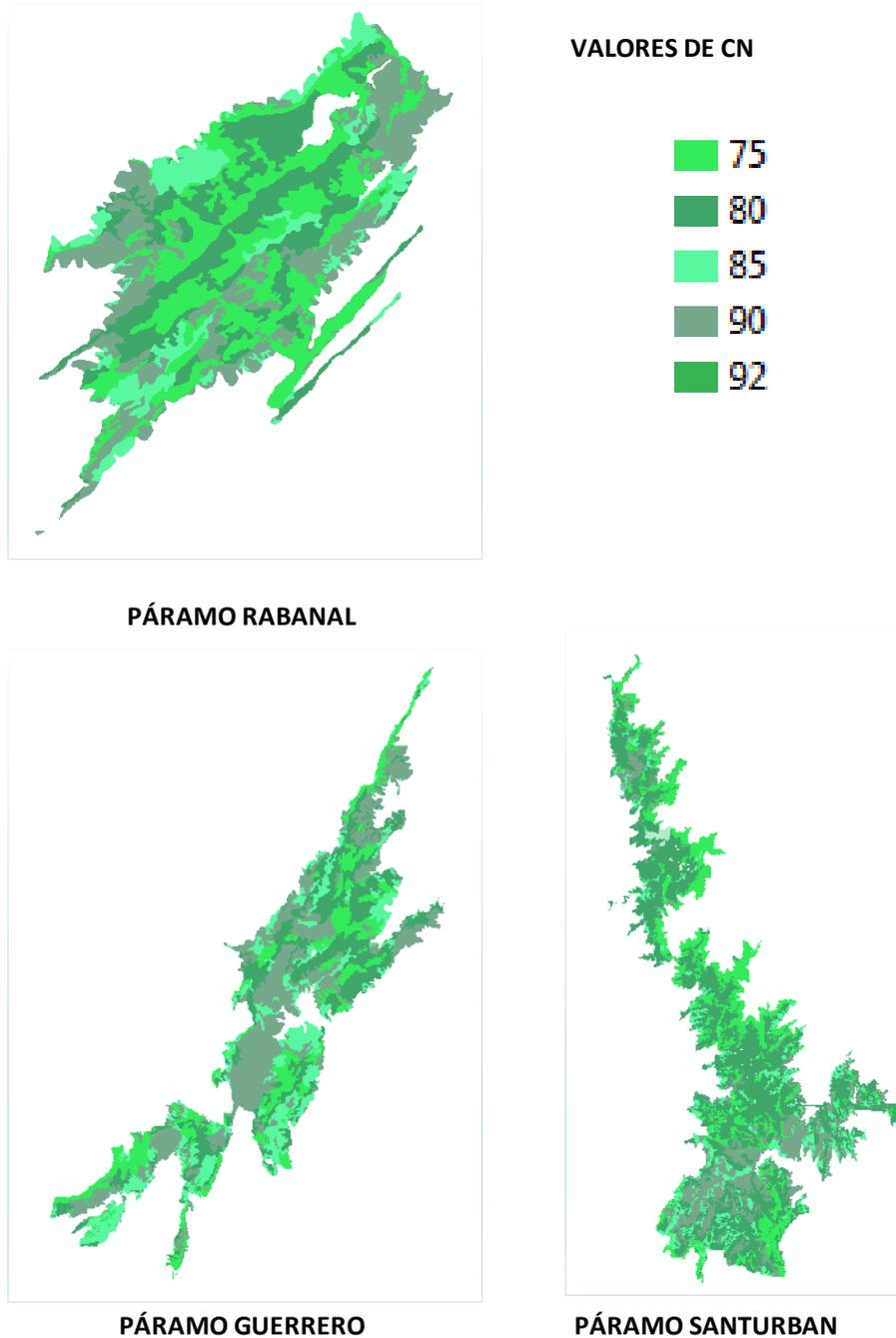


Figura 6. Mapa de valores de CN para el grupo hidrológico D (Suelos de permeabilidad muy baja)

1.2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL GRUPO HIDROLÓGICO

Para la definición del tipo de suelo se estableció una categorización de acuerdo a la metodología del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, por sus siglas en inglés). Esta metodología esta soportada en una caracterización de las propiedades físicas, principalmente asociadas con la conductividad hidráulica, las cuales determinan la velocidad de infiltración. Esta clasificación define cuatro categorías principales:

- A. **Grupo A.** Arenas con poco limo y arcilla. Suelos muy permeables
- B. **Grupo B.** Arenas finas y limos. Suelos permeables
- C. **Grupo C.** Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla. Suelos impermeables.
- D. **Grupo D.** Arcillas en grandes cantidades, suelos muy impermeables

Para la categorización de los suelos en los tres páramos de estudio (Rabanal, Guerrero y Santurbán) se usó la *geodatabase* existente para los páramos a escala 1:100.000 suministrada por el Instituto Alexander von Humboldt. En particular, se usó principalmente la columna que contiene la descripción de las características del suelo y algunas referencias a texturas y drenaje (*características*). La metodología también incluyó la revisión de la coherencia de estas columnas con las columnas de material parental (*material_p*) y de tipología taxonómica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA (*ordenes*).

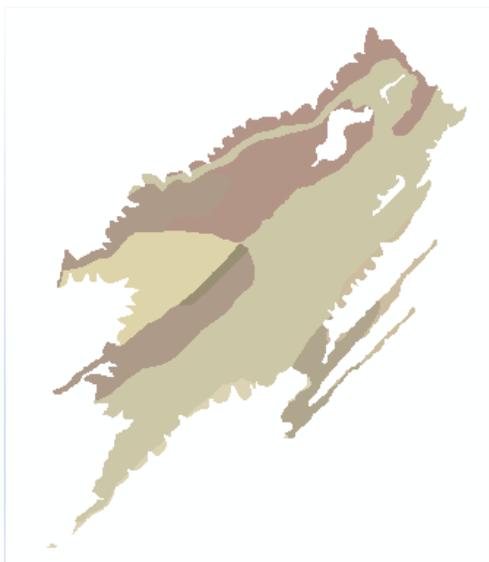
Para la revisión de la coherencia se hizo una relación cruzada de las tres columnas en cuestión:

- En los casos en los que la condición de drenaje estaba presente en los registros de la columna de características expresada como: pobremente drenado, bien

drenado y muy bien drenada se usó éste como primer criterio de categorización. Para la reclasificación de estos tres criterios en las cuatro categorías se usaron (i) el material parental y (ii) la clase taxonómica.

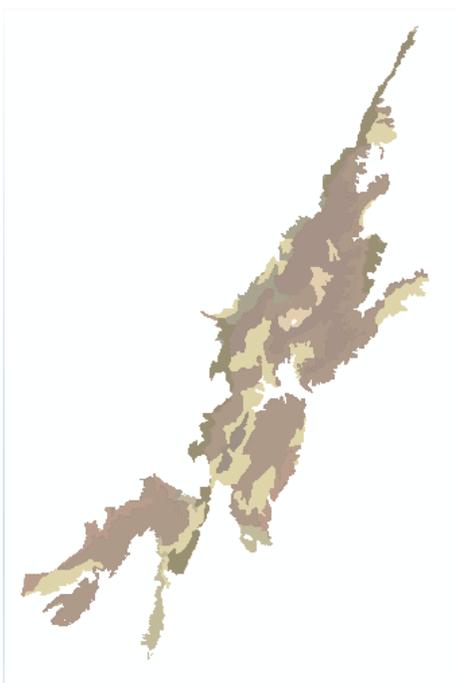
- Para los casos en los que no existía la referencia a la condición de drenaje del suelo, los registros presentan una clasificación por texturas, en estos casos se definen descripciones de texturas bastante dispersas, en algunos casos en referencia al tamaño de grano y en otras a la clasificación por texturas (explicada más ampliamente en el capítulo de Definición del Potencial Hidrogeológico) adoptada por la USDA desde 1938 y aceptada por la FAO y la Organización de las Naciones Unidas en muchos de sus estudio.

Los resultados de la clasificación se muestran en el anexo 1 (Anexo Digital). En la xxx se presentan los mapas de la distribución de los suelos de acuerdo a su clasificación en los grupos hidrológicos.



**MAPAS
SUELOS IGAC**

PÁRAMO RABANAL



PÁRAMO GUERRERO

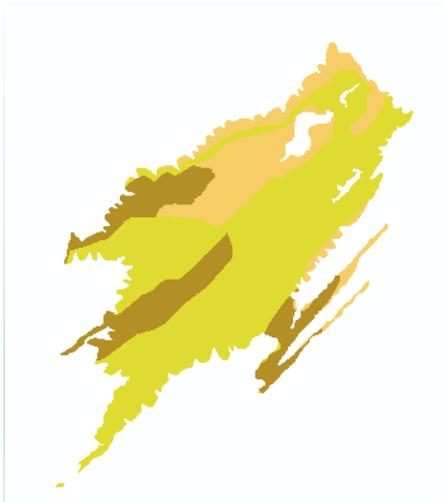


PÁRAMO SANTURBÁN

Figura 7. Mapas de suelos del IGAC. Escala 1:100.000

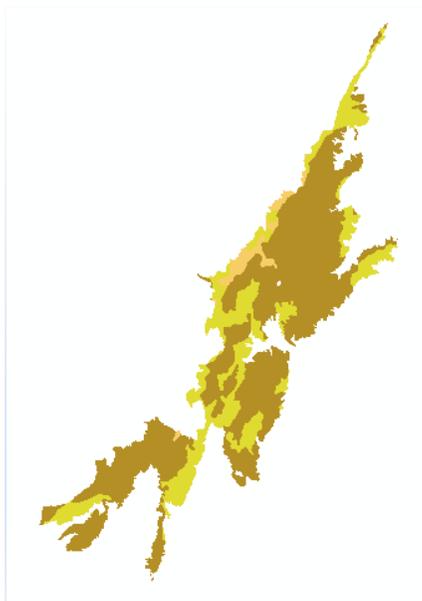
- Arcillolitas, limolitas, arcillas
- Areniscas
- Areniscas e inclusiones de lutitas
- Areniscas calizas
- Areniscas con inclusiones de caliza y lutitas
- Areniscas e inclusiones de lutitas
- Areniscas líticas y calcareas
- Areniscas, Gneis y esquistos
- Areniscas, arcillolitas calcareas y no; calizas, lutitas, cenizas volcanicas alteradas
- Areniscas, conglomerados - lutitas calcareas
- Areniscas, conglomerados, lutitas calcareas
- Areniscas, gneiss y esquistos
- Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos, Neis
- Areniscas, lutitas calcareas o no - calizas limolitas y cenizas volcanicas
- Cuarzomonzonita - Neiss
- Depositos superficiales clasticos, gravigenicos e hidrogravigenicos, coluviones heterometricos
- Depositos clasticos glaciogenicos, con intercalaciones de limoarcillosas y depositos organicos localizados
- Depositos clasticos glaciogenicos. En sectores ceniza volcanica
- Depositos de ceniza volcanica sobre rocas clasticas arenosas, limoarcillosas y conglomeraticas. En sectores materiales organicos
- Depositos superficiales clasticos, gravigenicos e hidrogravigenicos, coluviones heterometricos
- Depositos superficiales clasticos, hidrogenicos, aluviones mixtos
- Depositos superficiales de ceniza volcanica sobre rocas sedimentarias clasticas mixtas
- Depositos superficiales piroclasticos de ceniza volcanica sobre rocas sedimentarias clasticas mixtas
- Filitas y materiales aluviales gruesos y finos
- Gneiss
- Gneiss con inclusiones de esquistos
- Granitos
- Lutitas
- Lutitas, ortogneiss, esquistos y cenizas volcanicas en sectores
- Lutitas, ortogneiss, esquistos y cenizas volcanicas en sectores
- Mantos de ceniza volcanica sobre depositos clasticos gravigenicos
- Rocas clasticas arenosas y conglomeraticas
- Rocas clasticas arenosas y limoarcillas
- Rocas clasticas arenosas y limoarcillosas
- Rocas clasticas arenosas y limoarcillosas, y mantos de ceniza volcanica
- Rocas clasticas arenosas, limoarcillosas y carbonatadas con algunos depositos de ceniza volcanica
- Rocas clasticas arenosas, limoarcillosas y quimicas carbonatadas con algunos depositos de ceniza volcanica
- Rocas clasticas limoarcillosas con depositos de ceniza volcanica
- Rocas sedimentarias clasticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas
- Rocas sedimentarias clasticas mixtas y depositos superficiales piroclasticos de ceniza volcanica
- Rocas sedimentarias clasticas mixtas, parcialmente cubiertas con depositos de ceniza volcanica
- imentarias clasticas mixtas y depositos superficiales piroclasticos de ceniza volcanica
- lutitas con inclusiones de areniscas

Figura 8. Convenciones Mapas de suelos del IGAC. Escala 1:100.000



MAPAS
GRUPO HIDROLOGICO

PÁRAMO RABANAL



PÁRAMO GUERRERO



PÁRAMO SANTURBÁN

- A / Arenas con poco limo y arcilla. Suelos muy permeables
- B / Arenas finas y limos. Suelos permeables
- C / Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla. Suelos impermeables.
- D / Arcillas en grandes cantidades, suelos muy impermeables

Figura 9. Mapas de la Clasificación en Grupos Hidrológicos para los suelos

1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES

El grado de inclinación de las formas es básico en la caracterización del relieve, la pendiente influye en el tiempo de permanencia del agua sobre una superficie, determinado la velocidad del flujo superficial. Para su análisis y clasificación se trabajó con el Modelo de elevación digital (DEM) con resolución espacial de 30m.

Para clasificación de la pendiente en los páramos se utilizó como referencia la tipificación de los Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras departamentales realizados por el IGAC a escala 1:100.000, en estos se divide la variación de la pendiente en 7 categorías las cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de Pendientes de acuerdo a estudios del IGAC

Pendiente (%)		Relieve
0 -	3	Plano
3 -	7	Ligeramente plano
7 -	12	Ligeramente inclinado
12 -	25	Fuertemente ondulado
25 -	50	Fuertemente Quebrado
50 -	75	Escarpado
>75		Muy Escarpado

Basado en la clasificación del IGAC de la tabla se realizó un mapa de pendientes para cada uno de los páramos, en la Tabla 2 se presentan los valores de pendientes y en la Figura 10 se muestra la clasificación de las pendientes en los rangos propuestos en los estudios de Suelos del IGAC.

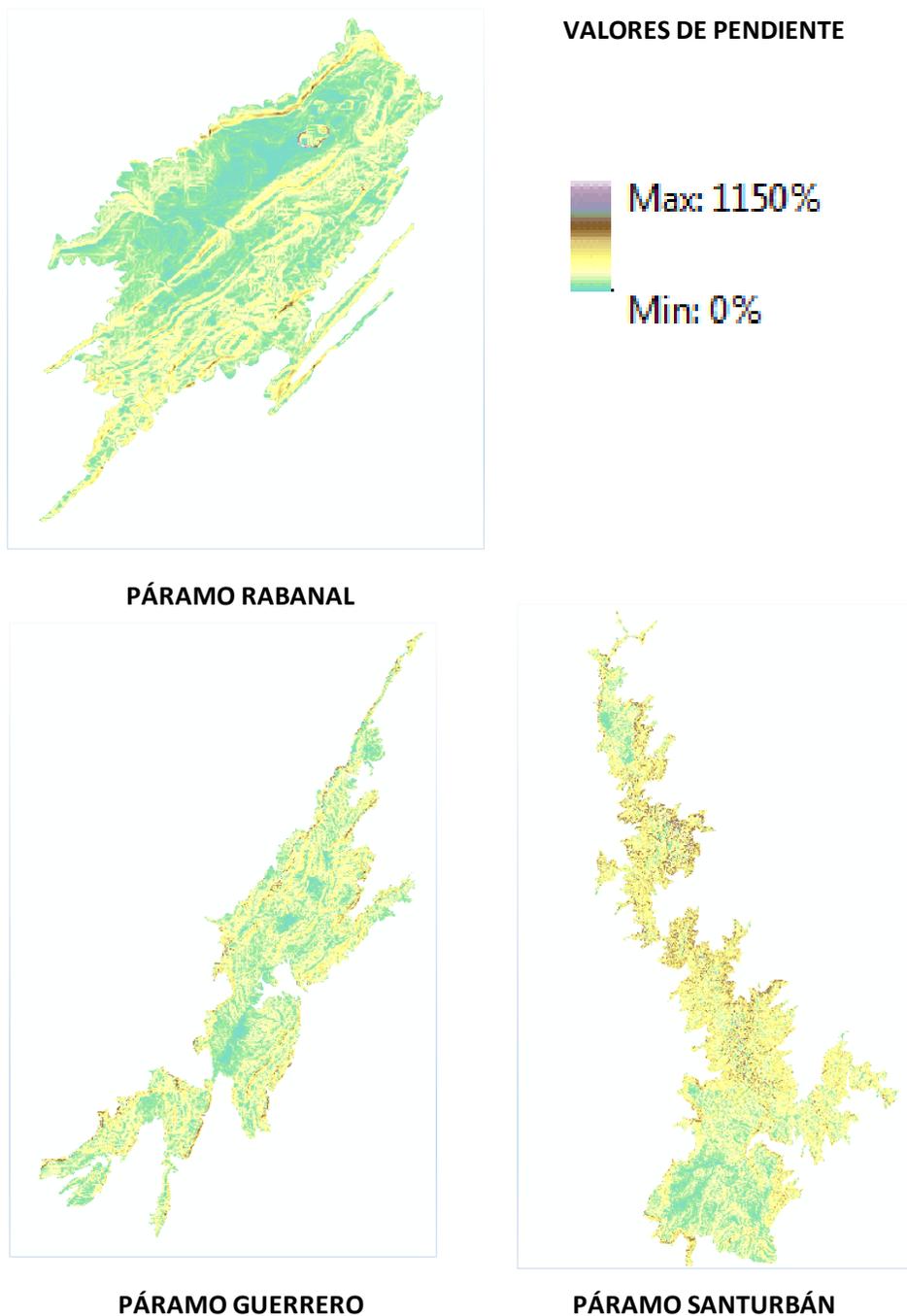
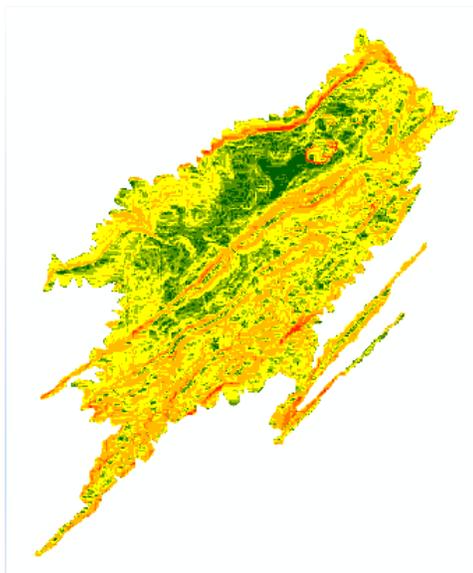


Figura 10. Mapa de pendientes

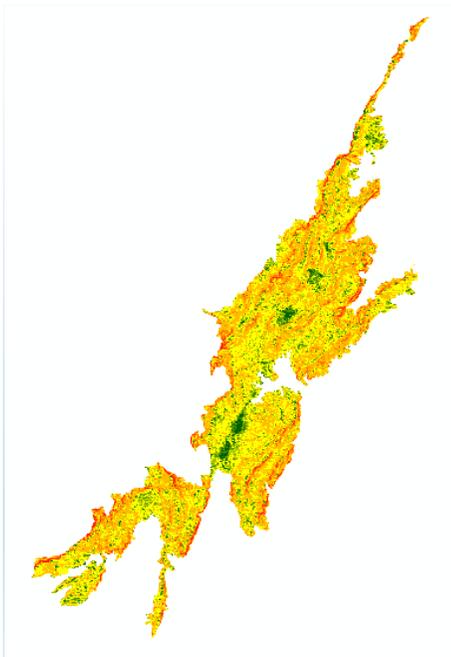


VALORES DE PENDIENTE

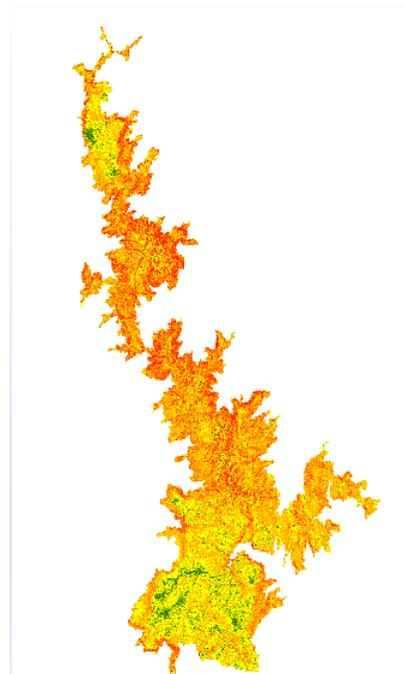
Calsificación IGAC

- 0% -3%, Plano
- 3% -7%, Ligeramente plano
- 7% -12%, Ligeramente inclinado
- 12% -25%, Fuertemente ondulado
- 25% -50%, Fuertemente Quebrado
- 50% -75%, Escarpado
- >75%, Muy Escarpado

PÁRAMO RABANAL



PÁRAMO GUERRERO



PÁRAMO SANTURBÁN

Figura 11. Clasificación de pendientes de acuerdo al IGAC

1.4. DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES HIDROLÓGICAS DE RESPUESTA

Para la definición de las unidades hidrológica de respuesta se debe realizar la combinación de los valores de cobertura, tipo de suelo y pendiente, la forma de unificar estos dos parámetros es tomar de la clasificación de números de curvas realizados para la cobertura y seleccionar el CN que esté de acuerdo con el grupo hidrológico del suelo sobre el cual se encuentre. Esta combinación de parámetros se realiza espacialmente utilizando herramientas de intersección espacial en ArcGIS en la Figura 12 se explica en una tabla como se lleva a cabo esta selección del CN.

USO DE LA TIERRA	COBERTURA TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
1.Rastrojo	Hileras Rectas	-----	77	86	91	94
2.Cultivos en Hileras	Hileras Rectas	Mala	71	81	88	91
	Hileras Rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de Nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de Nivel	Buena	65	75	82	86
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	66	74	80	82
3.Cultivos en Hileras Estrechas	Cur/Niv y Terrazas	Buena	62	71	79	81
	Hileras Rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras Rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de Nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de Nivel	Buena	61	73	81	84
4. Leguminosas en Hileras Estrechas o Forraje en Rotación	Cur/Niv y Terrazas	Mala	61	72	79	82
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	59	70	78	81
	Hileras Rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras Rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de Nivel	Mala	64	75	83	85
5.Pastos de Pastoreo	1/ Curvas de Nivel	Buena	55	69	78	83
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	63	73	80	83
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	51	67	76	80
	Curvas de Nivel	Mala	68	79	86	89
	Curvas de Nivel	Regular	49	69	79	84
6.Pastos de Corte	Curvas de Nivel	Buena	39	61	74	80
	Curvas de Nivel	Mala	47	67	81	88
	Curvas de Nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de Nivel	Buena	6	35	70	79
	Curvas de Nivel	Buena	30	58	71	78
7.Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
8.Patios		-----	59	74	82	86
9.Caminos de Tierra 2/		-----	72	82	87	89
10.Pavimentos		-----	74	84	90	92


NUMERO DE CURVA
CN

TIPO DE SUELO

COBERTURA DEL SUELO

Figura 12. Tabla de valores del número de curva (Tomado de Ven Te Chow, Hidrología aplicada)

Una vez se obtiene un valor de CN en condiciones normales o CN_2 , este valor se ajusta de acuerdo a la pendiente media de la UHR la cual se obtuvo del modelo de elevación digital. La ecuación de ajuste del valor de CN por pendiente es:

$$CN_{2s} = \frac{(CN_3 - CN_2)}{3} \cdot [1 - 2 \cdot \exp(-13.86 \cdot slp)] + CN_2$$

Donde:

CN_{2s} es el número de curva en condiciones medias ajustado por pendiente

CN_3 es el número de curva en condiciones húmedas

slp es la pendiente en m/m

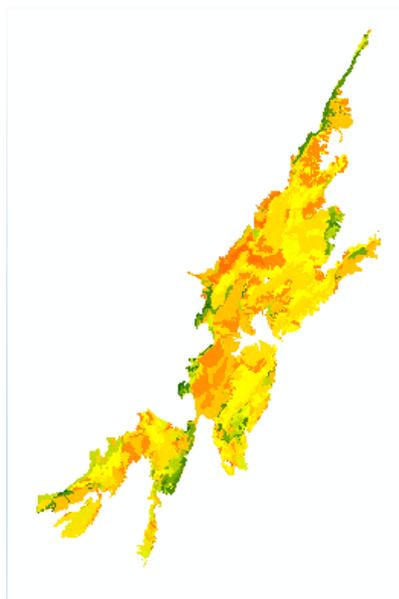
CN_2 es el número de curva en condiciones medias de humedad



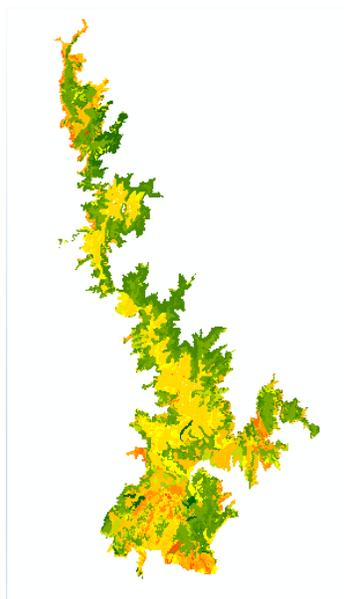
UNIDADES HIDROLOGICAS DE RESPUESTA

Ver detalle de la UHR en el Anexo 4

PÁRAMO RABANAL



PÁRAMO GUERRERO



PÁRAMO SANTURBÁN

Figura 13. Unidades hidrológicas de respuesta (En el anexo 5 se presentan las tablas que describen las características de cada una de las UHR obtenidas de la clasificación para los tres paramos)

2. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE LAS UNIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS

Para entender la aproximación usada en este trabajo para la definición del potencial hidrogeológico es necesario antes retomar la ecuación de Darcy modificada (usando la conjetura de Buckingham) que presentamos en la metodología para describir la infiltración en la primera capa de suelo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_s = -k_s k_{rw} \nabla h$$

Donde K_s : la conductividad hidráulica saturada (LT⁻¹)

K_{rw} : conductividad relativa no saturada (-)

En esta ecuación el término ∇h hacer referencia a la diferencia de potencial hidráulico entre la superficie y la primera capa de suelo o zona radicular. Retomando lo que habíamos definido antes utilizamos el término infiltración para referirnos al movimiento de agua más allá de la zona radicular, lo que comúnmente es asociado al término **recarga**. En este caso la recarga estará controlada por este gradiente y por la conductividad hidráulica no saturada de esta capa.

Adicionalmente, habíamos definido el concepto de *capacidad de infiltración aproximada* como la capacidad que tiene la primera capa de suelo (primeros 50 cm) para infiltrar siempre y cuando exista un gradiente de agua.

Desde esta perspectiva, *la capacidad de infiltración aproximada* esta controlada por la conductividad hidráulica saturada K_s y por parámetros del suelo no saturado de acuerdo al siguiente set de ecuaciones:

$$K_{rw}(S_w) = (S_e)^{1/2} - \left(1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right)^2$$

Donde:

$$S_e = \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \quad \gamma \quad S_r(h) = S_{wr} + \frac{1 - S_{wr}}{(1 + (\alpha h)^N)^m}$$

Donde:

- S_{wr} : saturación residual de agua
- α : inverso de la presión de entrada de aire
- N : factor de distribución de poro
- m : $1 - (1/N)$ para $N > 1$

Cabe recalcar que k_w se hace 1 cuando el suelo se encuentra saturado.

En este punto la metodología se concentra en la determinación de los parámetros hidráulicos que controlan el proceso de infiltración. Para la estimación de los parámetros hidráulicos, se usó la tabla de tipos de suelos suministrada en la geodatabase. En esta, después de analizar el contenido de todas las columnas e identificar las propiedades que describen, se definieron 3 columnas de interés en concordancia con la metodología para la clasificación incluida en el método de número de curva:

1. *Material_p*: que contiene la descripción del material parental del suelo. En esta se listan tipos de rocas y depósitos.
2. *Características*: que contiene una descripción de las características del suelo y algunas referencias a texturas y drenaje.
3. *Ordenes*: que contiene una clasificación de suelos (clases taxonómicas) de acuerdo al departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA)

De estas tienen particular importancia las columnas 2 y la 3 ya que este tipo de descripciones han sido ampliamente usadas para la definición de parámetros hidráulicos, particularmente han sido usadas como referencia en modelos basados en funciones de pedotransferencia (*pedotransfer functions*). La columna 1 fue usada en esta sección únicamente como referencia. Para la columna 2 (características) se definieron 51 categorías diferentes:

Tabla 3 Categorías definidas para la columna de características

ítem	Descripción
1	Relieves moderado a fuertemente ondulado con pendientes 7-12-25% y fuertemente quebrado a moderadamente escarpado 25-50-75%; profundos a superficiales; textura arcillosa, franco arcillosa arenosa, arcillo arenosa y franco arcillosa; reacción extremada
2	Superficiales, bien drenados, de textura franco arenosa. Fertilidad baja
3	Profundos, bien drenados, de textura franco arcillo arenosa. Fertilidad natural baja
4	Relieve moderado a fuertemente ondulado con pendientes 7-12-25-50%, profundos, superficiales y muy superficiales; texturas franco arenosa, franca, arcillosa y franco arcillosa; reacción extremada a fuertemente ácida, saturaciones de aluminio mayor del 70
5	Moderadamente profundos y superficiales, bien drenados, textura franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa. Fertilidad natural baja y alta
6	Muy superficiales y moderadamente profundos, bien drenados de textura franco arcillo arenosa con gravilla. Fertilidad baja
7	Superficiales y profundos, bien a excesivamente drenados, textura franco arcillosa y franco arcillo arenosa. Fertilidad media.
8	Relieve fuertemente ondulado y fuertemente quebrado con pendientes 12-25%; moderadamente profundos; reacción extremada a fuertemente ácida; texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo limosa; de aluminio mayor del 65%;
9	Relieve moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%; superficiales y profundos; texturas franco arenosa, arenosa franca, franca, arcillosa y franco arcillosa; reacción extremada a a muy fuertemente ácida; saturación de aluminio mayor
10	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%; profundos; texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo arenosa; reacción muy fuerte a moderadamente ácida; saturación de aluminio activo mayor del 50% en
11	Superficiales a moderadamente profundos, excesivamente drenados, fertilidad baja
12	Escasos suelos muy superficiales limitados por roca; bien drenados fertilidad natural muy baja
13	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales y profundos; texturas franco arenosa, franco arcillosa, franco arcillo arenosa; reacción muy fuerte a extremadamente ácida; alta saturación de aluminio en sectores
14	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales, moderadamente profundos y profundos, texturas franca, franco arcillosa, arenosa franca; reacción extrema a moderadamente ácida, fertilidad baja a muy baja y mode
15	Superficiales a profundos, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, muy fuerte a fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio y fertilidad baja

16	Moderadamente profundos a profundos, bien drenados, textura franca a franca arcillosa. Fertilidad media
17	Relieve ligeramente plano a moderadamente inclinado, con pendientes 1-12%; suelos profundos a muy superficiales, bien a pobremente drenados de texturas medias a gruesas, reacción muy fuerte a medianamente ácida, saturación de aluminio mediana a baja y fértil
18	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales y superficiales; texturas franco arenosa, franca; reacción extremada a moderadamente ácida, niveles tóxicos en aluminio; fertilidad baja y muy baja; erosión severa*
19	Relieves ligeros a fuertemente inclinados con pendientes 3-12% y 12-25%,
20	Relieves ligeros a fuertemente quebrados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, algunos sectores están afectados por erosión hídrica en grado ligero, suelos profundos a superficiales, bien drenados, con texturas moderadamente finas a gruesas, reacción muy
21	Profundos a superficiales, bien drenados, textura franca y arcillo limosa. Fertilidad natural baja
22	Muy superficiales limitados por nivel freático fluctuante, pobremente drenados, fertilidad natural baja
23	Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75%, hay evidencia de movimientos en masa (pata de vaca) afectados en sectores por fragmentos de roca en superficie; suelos muy superficiales por saturación
24	Relieve moderado a fuertemente quebrado y fuertemente inclinada a ligeramente empinada, con pendientes 12-25% y 25-50%; presentan movimientos en masa, pata de vaca, escurrimiento difuso y erosión hídrica, laminar en grado ligero; suelos superficiales, li
25	Relieve ligeramente plano y ligeramente inclinado con pendientes 1-3-7% profundos y superficiales; texturas franco arcillosa arenosa, franca, franco arenosa; reacción moderadamente ácida a neutra y muy fuertemente ácida; fertilidad natural moderada y muy
26	Superficiales, limitados por roca; bien drenados, abundante material orgánico en superficie. Fertilidad muy baja.
27	Superficiales, limitados por roca; bien drenados, textura franca a franco arcillosa. Fertilidad natural baja
28	Profundos, bien drenados de textura franco arcillo arenosa a franco arenosa. Fertilidad alta
29	Profundos, bien drenados. De textura franco a franco arcillo arenosa. Fertilidad baja
30	Muy superficiales, limitados por roca, excesivamente drenados, textura franco gravillosa, fertilidad muy baja
31	Moderadamente profundos, bien drenados, de textura franco arenosa a franca. Fertilidad natural baja

32	Relieves moderadamente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera.
33	Superficiales a moderadamente profundos; bien drenados, de textura franco arcillo arenosa. Fertilidad natural baja.
34	Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75%, afectados por erosión hídrica y escurrimiento difuso, en grado ligero, localmente presentan pedregosidad superficial; Los suelos son muy superfici
35	Profundos y superficiales, bien drenados, de textura franco arcillosa y arcillosa. Fertilidad natural baja y media
36	Moderadamente profundos, bien drenados, texturas arcillosas, fertilidad natural baja.
37	Muy profundo y moderadamente profundo, bien drenados, de textura franco arcillosa limosa a franco arenosa; fertilidad baja
38	Muy superficiales a superficiales, limitados por roca, bien drenados, de textura franco arenosa. Fertilidad natural baja
39	Relieves ligeramente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 3-12%, 12-25 y 25-50%, escarpados, con pendientes 3-12%, 12-25 y 25-50%, frecuente pedregosidad superficial,
40	Relieve fuertemente escarpado con pendientes superiores a 75%, suelos superficiales a profundos, bien a excesivamente drenados, de texturas medas a moderadamente gruesas, reacción extremada a muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y fertilidad
41	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes superiores a 25%,
42	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero
43	Relieve ligera a fuertemente quebrado, con pendientes 7-12%, 12-25% y 25-50%; afectados en sectores por erosión hídrica ligera y moderada; suelos profundos a moderadamente profundos, bien a moderadamente bien drenados, con texturas medias a finas, reacción
44	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.
45	Relieves moderadamente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera, suelos profundos a superficiales, bien drenados con texturas moderadamente finas a moderadamente g
46	Relieves ligera a moderadamente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica moderada y severa.
47	Relieve moderadamente quebrado a moderadamente escarpado, con pendientes de 12 a 75%, afectado en sectores por erosión hídrica ligera y moderada; suelos profundos superficiales, bien a moderadamente bien drenados, de texturas finas a moderadamente grue

48	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera.
49	Relieve moderado y fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%, suelos físicamente sin limitantes en su profundidad pero químicamente superficiales por presentar saturación de aluminio mayor del 75%, bien drenados, de texturas medias con gravi
50	Relieve moderada a fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%; afectados por erosión hídrica, laminar y pedregosidad superficial. Los suelos son superficiales, limitados por contenidos tóxicos de aluminio (SAI mayor del 60%), moderadamente b
51	Relieve moderadamente escarpado, con pendientes superiores al 50%, afectados por movimientos en (pate de vaca), con evidencias de erosión hídrica, laminar en grado ligero a moderado; suelos superficiales, limitados por saturaciones de aluminio mayores de

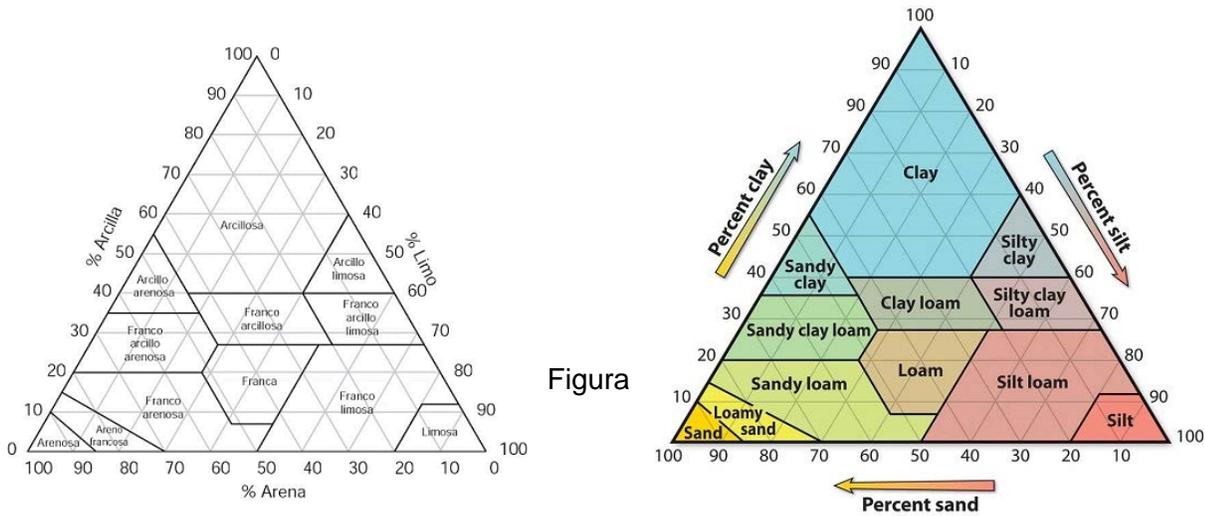
Para la columna 3 se definieron 4 categorías:

Tabla 4 Categorías definidas para la columna 3 de clases taxonómicas (Ordenes)

Item	Descripción
1	Inceptisoles
2	Entisoles
3	Afloramientos rocosos
4	Andisoles

Usando las columnas 2 y 3, se definió una nueva categorización basada exclusivamente en texturas. Para el caso de relacionar clases taxonómicas con texturas se usó la literatura disponible en el contexto latinoamericano (i.e. Gómez y Tobón, 2012, Nissen et al. 2006, Duarte et al. 2003, Poulenard et al. 2001, Lozano et al. 2000).

Para categorizar las texturas se usa comúnmente el triángulo textural propuesto por la USDA que se muestra en la Figura 12.



Figura

1.

Figura 14 Triangulo textural

 (Fuente: <http://soils4teachers.org/physical-properties>)

La definición de los materiales se hace de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 5 Clasificación de materiales por tamaños de partículas)

Nombre en español	Diámetro límite (mm)
Arcilla	<0.002
Limo	0.002–0.05
Arena muy fina	0.05–0.10
Arena Fina	0.10–0.25
Arena media	0.25–0.50
Arena gruesa	0.50–1.00
Arena muy gruesa	1.00–2.00

Los resultados de la recategorización por texturas se muestran en el Anexo 1. Recategorización por texturas de acuerdo a la clasificación de la USDA. En esta se definieron 9 diferentes texturas para las áreas de estudio. En el siguiente mapa se

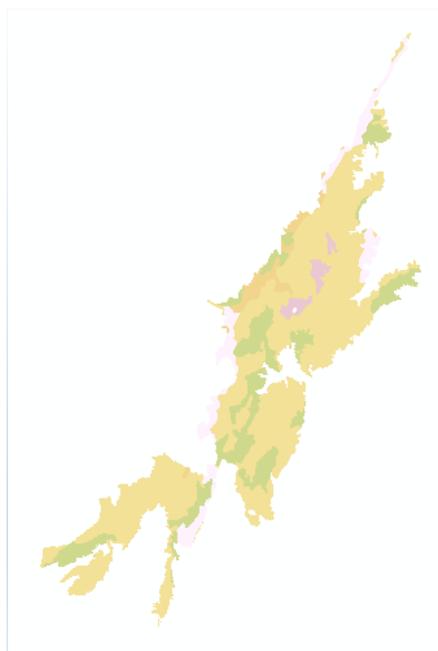
presenta la información especializada:



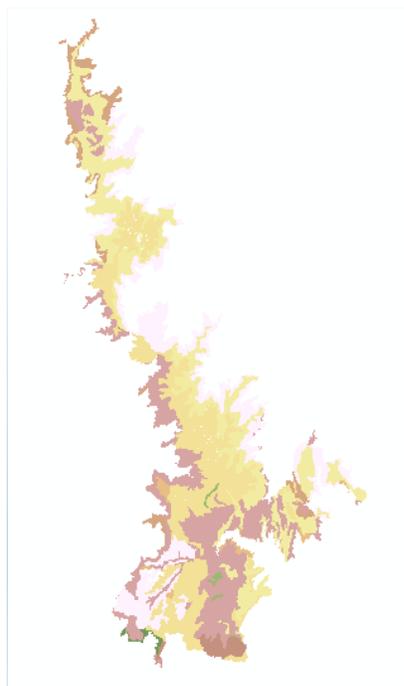
PÁRAMO RABANAL

TEXTURAS DE SUELOS

- Arcillosa
- Arcilloso
- Arenosa
- Arenoso Franco
- Franca
- Franca Arcillosa
- Franco Arcillo Arenosa
- Franco Arcillosa
- Franco Arcilloso
- Franco Arenosa
- Franco Limosa
- Gravas



PÁRAMO GUERRERO



PÁRAMO SANTURBÁN

Figura 15 Mapa de texturas de suelos

A partir de las texturas, se definieron los parámetros hidráulicos del suelo: conductividad hidráulica saturada, K_s , inverso de la presión de entrada de aire, α y el factor de poro, N . Para definir la conductividad hidráulica saturada se siguió una metodología comparativa que se describe a continuación:

1. Se hizo usando referencias basadas exclusivamente en texturas, para este fin las referencias mas citadas en la literatura relacionada con la temática son empleadas (i.e. Carsel & Parish, 1988, Schaap & Liej, 1998, Schaap et al. 2001, McBritney et al .2002, Balland et al. 2008 Veerecken et al. 2010). Para cada caso se define un valor de conductividad promedio y uno para la desviación estándar de acuerdo a los valores listados en la literatura usada, teniendo en cuenta que algunas de ellas presentan ya desviaciones estándar de muchos sitios evaluados (i.e. Carsel & Parish, 1988).
2. Por otra parte, se validaron los valores obtenidos con el anterior método con valores de estimaciones directas reportados en la literatura asociados a casos en la región (i.e. Colombia, Ecuador, Venezuela, Chile, Perú). Para este caso se tomaron como referencia las clases taxonómicas de la USDA y las texturas reportadas a manera de porcentajes de limo, arena y arcilla en los artículos revisados (Gómez y Tobón, 2012, Nissen et al. 2006, Duarte et al. 2003, Poulenard et al. 2001, Lozano et al. 2000).

Los parámetros de Van Genuchten α y N fueron estimados exclusivamente a partir de las texturas. Los valores obtenidos se presentan en el Anexo 2. Parámetros hidráulicos del suelo. En el siguiente mapa se muestran los valores de conductividad hidráulica saturada, K_s : A manera de ejemplo, para obtener valores unitarios de recarga de referencia se asumieron valores de saturación del 50 y 75% y un gradiente ∇h de 1.0. Los valores obtenidos se presentan en el Anexo 3. Valores de recarga de referencia.

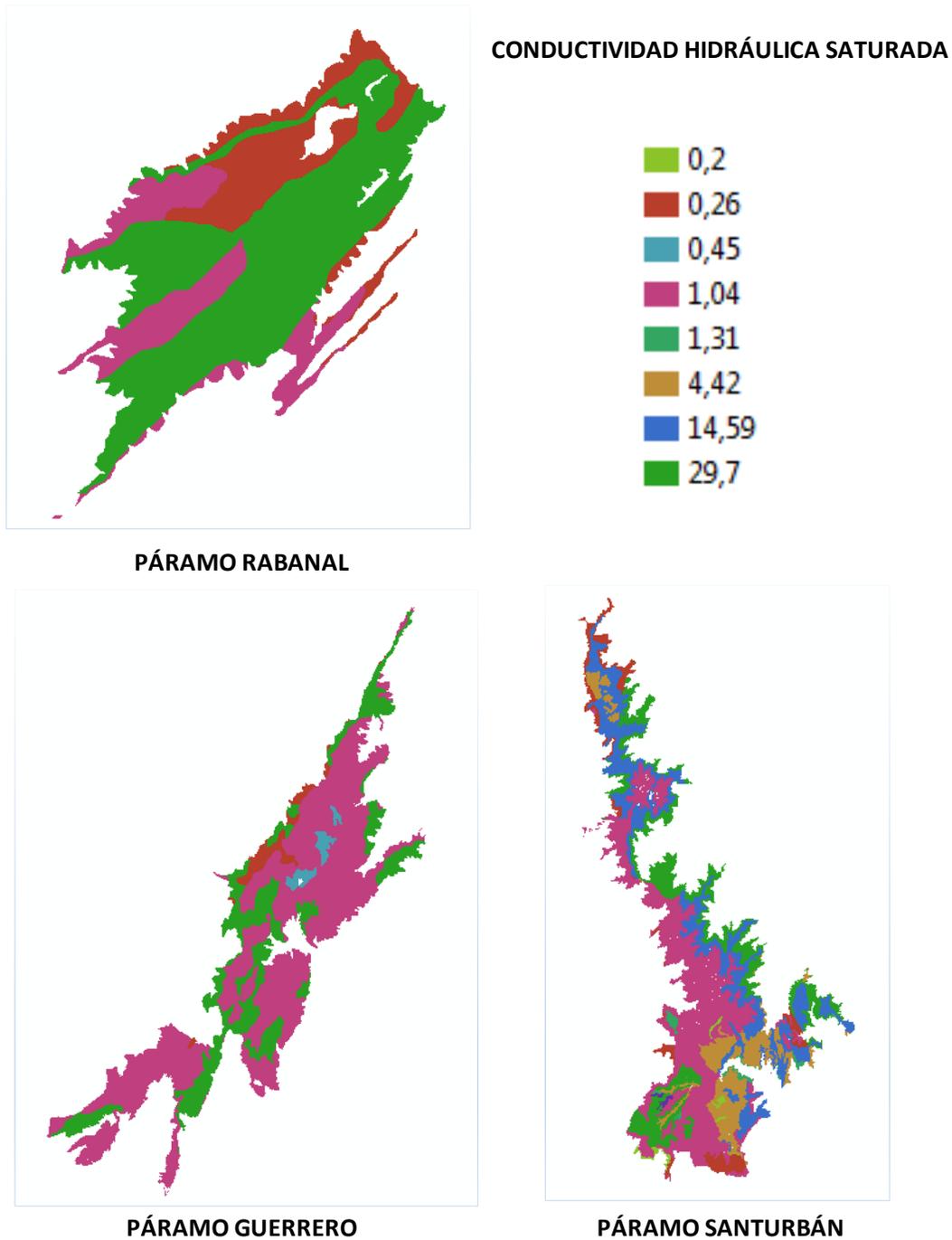


Figura 16 Mapa de Conductividad hidráulica Saturada

2.2. POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS

Para definir la potencialidad hidrogeológica de las unidades geológicas es necesario comparar las características físicas del material parental con las unidades definidas a partir de texturas y la zonificación de los parámetros hidráulicos definida en la sección anterior. La homologación de estas unidades nos permite definir unidades hidrogeológicas que tienen mayor potencial para ser consideradas como acuíferos. Para este fin se usó la columna de material parental descrita en la sección anterior. En los registros de esta columna se pueden definir 43 categorías como se muestra en la tabla 3.

Tabla 6 Listado de categorías para la columna del material parental

item	Descripción
1	Arcillolitas, limolitas, arcillas
2	Areniscas
3	Areniscas e inclusiones de lutitas
4	Areniscas calizas
5	Areniscas con inclusiones de caliza y lutitas
6	Areniscas e inclusiones de lutitas
7	Areniscas líticas y calcáreas
8	Areniscas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas alteradas
9	Areniscas, conglomerados - lutitas calcáreas
10	Areniscas, conglomerados, lutitas calcáreas
11	Areniscas, Gneis y esquistos
12	Areniscas, gneiss y esquistos
13	Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos, Neis
14	Areniscas, lutitas calcáreas o no - calizas limolitas y cenizas volcánicas
15	Cuarzomonzonita - Neiss
16	Depósitos superficiales clásticos, gravigúnicos e hidrogravigúnicos, coluviones heteromórficos
17	Depósitos clásticos glaciogúnicos. En sectores ceniza volcánica
18	Depósitos clásticos glaciogúnicos, con intercalaciones de limoarcillosas y depósitos orgánicos
19	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y conglomeráticas
20	Depósitos superficiales clásticos, gravigúnicos e hidrogravigúnicos, coluviones heteromórficos
21	Depósitos superficiales clásticos, hidrogúnicos, aluviones mixtos
22	Depósitos superficiales de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas mixtas
23	Depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas
24	Filitas y materiales aluviales gruesos y finos
25	Gneiss
26	Gneiss con inclusiones de esquistos
27	Granitos
28	Sedimentarias clásticas mixtas y depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica
29	Lutitas
30	lutitas con inclusiones de areniscas
31	Lutitas, ortogneiss, esquistos y cenizas volcánicas en sectores
32	Lutitas, ortogneiss, esquistos y cenizas volcánicas en sectores
33	Mantos de ceniza volcánica sobre depósitos clásticos gravigúnicos
34	Rocas clásticas arenosas y conglomeráticas
35	Rocas clásticas arenosas y limoarcillas
36	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas
37	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas, y mantos de ceniza volcánica
38	Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica
39	Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica
40	Rocas clásticas limoarcillosas con depósitos de ceniza volcánica
41	Rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas
42	Rocas sedimentarias clásticas mixtas y depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica
43	Rocas sedimentarias clásticas mixtas, parcialmente cubiertas con depósitos de ceniza volcánica

Al cruzar la columna de material parental con las texturas y conductividades hidráulicas anteriormente se establecieron unidades con una mayor inclinación a constituir acuíferos, unidades con potencial medio y otro con un potencial bajo, los cuales se muestra en las tablas 7, 8 y 9, respectivamente.

Tabla 7 Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial alto

Material Parental	Características	Clase Taxonómica	Textura
Areniscas, Gneis y esquistos	Superficiales a moderadamente profundos, excesivamente drenados, fertilidad baja	Inceptisoles	Arenoso Franco
Cuarzomonzonita - Neiss	Superficiales a profundos, bien drenados, texturas moderadamente gruesas, muy fuerte a fuertemente ácidos, muy alta saturación de aluminio y fertilidad baja	Andisoles	Gravas
Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y conglomeráticas. En sectores materiales orgánicos	Relieves ligera a fuertemente quebrados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, algunos sectores están afectados por erosión hídrica en grado ligero, suelos profundos a superficiales, bien drenados, con texturas moderadamente finas a gruesas, reacción muy	Entisoles	Arenosa
Gneiss	Superficiales, limitados por roca; bien drenados, abundante material orgánico en superficie. Fertilidad muy baja.		
Granitos	Muy superficiales, limitados por roca, excesivamente drenados, textura franco gravilosa, fertilidad muy baja		
Rocas clásticas arenosas y conglomeráticas	Moderadamente profundos, bien drenados, de textura franco arenosa a franca. Fertilidad natural baja		
Rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas	Relieves moderadamente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera.		
	Relieve fuertemente escarpado con pendientes superiores a 75%, suelos superficiales a profundos, bien a excesivamente drenados, de texturas medas a moderadamente gruesas, reaccion extremada a muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y fertilita		
	Relieve moderado y fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%, suelos físicamente sin limitantes en su profundidad pero químicamente superficiales por presentar saturación de aluminio mayor del 75%, bien drenados, de texturas medias con gravi		

Tabla 8 Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial medio

Material Parental	Características	Clase Taxonómica	Textura
Areniscas	Superficiales, bien drenados, de textura franco arenosa. Fertilidad baja	Inceptisoles	Franco Arenosa
Areniscas e inclusiones de lutitas	Profundos, bien drenados, de textura franco arcillo arenosa. Fertilidad natural baja	Entisoles	Franco Arcillo Arenosa
Areniscas calizas	Relieve moderado a fuertemente ondulado con pendientes 7-12-25-50%, profundos, superficiales y muy superficiales; texturas franco arenosa, franca, arcillosa y franco arcillosa; reaccion extremada a fuertemente ácida, saturaciones de aluminio mayor del 70	Afloramientos rocosos	Franca
Areniscas e inclusiones de lutitas	Muy superficiales y moderadamente profundos, bien drenados de textura franco arcillo arenosa con gravilla. Fertilidad baja	Andisoles	
Areniscas, conglomerados - lutitas calcáreas	Relieve moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%; superficiales y profundos; texturas franco arenosa, arenosa franca, franca, arcillosa y franco arcillosa; reaccion extremada a muy fuertemente ácida; saturación de aluminio mayor		
Areniscas, conglomerados, lutitas calcáreas	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%; profundos; texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo arenosa; reaccion muy fuerte a moderadamente ácida; saturación de aluminio activo mayor del 50% en		
Areniscas, gneiss y esquistos	Escasos suelos muy superficiales limitados por roca; bien drenados fertilidad natural muy baja		
Depósitos superficiales clásicos, gravínicos e hidrogravínicos, coluviones heterométricos	Moderadamente profundos a profundos, bien drenados, textura franca a franca arcillosa. Fertilidad media		
Depósitos clásticos glaciogénicos. En sectores ceniza volcánica	Relieve ligeramente plano a moderadamente inclinado, con pendientes 1-12%; suelos profundos a muy superficiales, bien a pobremente drenados de texturas medias a gruesas, reaccion muy fuerte a medianamente ácida, saturación de aluminio meda a baja y fert		

Depósitos clásticos glaciogénicos, con intercalaciones de limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales y superficiales; texturas franco arenosa, franca; reacción extremada a moderadamente ácida, niveles tóxicos en aluminio; fertilidad baja y muy baja; erosión severa*		
Depositos superficiales clásticos, gravigénicos e hidrogravigénicos, coluviones heterométricos	Profundos a superficiales, bien drenados, textura franca y arcillo limosa. Fertilidad natural baja		
Filitas y materiales aluviales gruesos y finos	Relieve ligeramente plano y ligeramente inclinado con pendientes 1-3-7% profundos y superficiales; texturas franco arcillosa arenosa, franca, franco arenosa; reacción moderadamente ácida a neutra y muy fuertemente ácida; fertilidad natural moderada y muy		
Gneiss	Superficiales, limitados por roca; bien drenados, textura franca a franco arcillosa. Fertilidad natural baja		
Gneiss con inclusiones de esquistos	Profundos, bien drenados de textura franco arcillo arenosa a franco arenosa. Fertilidad alta		
Granitos	Profundos, bien drenados. De textura franco a franco arcillo arenosa. Fertilidad baja		
lutitas con inclusiones de areniscas	Superficiales a moderadamente profundos; bien drenados, de textura franco arcillo arenosa. Fertilidad natural baja.		
Lutitas, ortogneiss, esquistos y cenizas volcánicas en sectores	Moderadamente profundos, bien drenados, texturas arcillosas, fertilidad natural baja.		
	Muy profundo y moderadamente profundo, bien drenados, de textura franco arcillosa limosa a franco arenosa; fertilidad baja		
Mantos de ceniza volcánica sobre depósitos clásticos gravigénicos	Muy superficiales a superficiales, limitados por roca, bien drenados, de textura franco arenosa. Fertilidad natural baja		
Rocas clásticas arenosas y limoarcillas	Relieves ligeramente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 3-12%, 12-25 y 25-50%, escarpados, con pendientes 3-12%, 12-25 y 25-50%, frecuente pedregosidad superficial,		
Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas, y mantos de ceniza volcánica	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes superiores a 25%,		
Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero		
Rocas clásticas limoarcillosas con depositos de ceniza volcánica	Relieve ligera a fuertemente quebrado, con pendientes 7-12%, 12-25% y 25-50%; afectados en sectores por erosión hídrica ligera y moderada; suelos profundos a		

	moderadamente profundos, bien a moderadamente bien drenados, con texturas medias a finas, reacción		
Rocas sedimentarias clásticas mixtas y depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica	Relieves ligeros a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar en grado ligero.		
Rocas sedimentarias clásticas mixtas, parcialmente cubiertas con depósitos de ceniza volcánica	Relieves moderadamente inclinados a ligeramente escarpados, con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera, suelos profundos a superficiales, bien drenados con texturas moderadamente finas a moderadamente g		
	Relieves ligeros a moderadamente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica moderada y severa.		
	Relieve moderadamente quebrado a moderadamente escarpado, con pendientes de 12 a 75%, afectado en sectores por erosión hídrica ligera y moderada; suelos profundos a superficiales, bien a moderadamente bien drenados, de texturas finas a moderadamente gruesa		
	Relieves ligera a fuertemente escarpados, con pendientes de 25 a 75%, afectados en sectores por erosión hídrica laminar ligera.		
	Relieve moderada a fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 50%; afectados por erosión hídrica, laminar y pedregosidad superficial. Los suelos son superficiales, limitados por contenidos tóxicos de aluminio (SAI mayor del 60%), moderadamente b		
	Relieve moderadamente escarpado, con pendientes superiores al 50%, afectados por movimientos en (pate de vaca), con evidencias de erosión hídrica, laminar en grado ligero a moderado; suelos superficiales, limitados por saturaciones de aluminio mayores de		

Tabla 9. Categorías para las columnas de estudio asociadas a unidades con potencial medio

Material Parental	Características	Clase Taxonómica	Textura
Arcillolitas, limolitas, arcillas	Relieves moderado a fuertemente ondulado con pendientes 7-12-25% y fuertemente quebrado a moderadamente escarpado 25-50-75%; profundos a superficiales; textura arcillosa, franco arcillosa arenosa, arcillo arenosa y franco arcillosa; reacción extremada a*	Inceptisoles	Arcillosa
Areniscas con inclusiones de caliza y lutitas	Moderadamente profundos y superficiales, bien drenados, textura franco arcillo arenosa, franco arcillosa y arcillosa. Fertilidad natural baja y alta	Entisoles	Franco Arcillosa
Areniscas líticas y calcáreas	Superficiales y profundos, bien a excesivamente drenados, textura franco arcillosa y franco arcillo arenosa. Fertilidad media.	Andisoles	Franco Arcilloso
Areniscas, arcillolitas calcáreas y no; calizas, lutitas, cenizas volcánicas alteradas	Relieve fuertemente ondulado y fuertemente quebrado con pendientes 12-25%; moderadamente profundos; reacción extremada a fuertemente ácida; texturas franco arenosa, franco arcillo arenosa, arcillosa y arcillo limosa; saturación de aluminio mayor del 65%;		Franco Limosa
Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos, Neis	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales y profundos; texturas franco arenosa, franco arcillosa, franco arcillo arenosa; reacción muy fuerte a extremadamente ácida; alta saturación de aluminio en sectore		Arcilloso
Areniscas, lutitas calcáreas o no - calizas limolitas y cenizas volcánicas	Relieves moderado a fuertemente escarpado con pendientes mayores del 50%, muy superficiales, moderadamente profundos y profundos, texturas franca, franco arcillosa, arenosa franca; reacción extrema a moderadamente ácida, fertilidad baja a muy baja y mode		Franca Arcillosa
Depósitos clásticos glaciogénicos, con intercalaciones de limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Relieves ligera a fuertemente inclinados con pendientes 3-12% y 12-25%,		
Depositos superficiales clásticos, hidrogénicos, aluviones mixtos	Muy superficiales limitados por nivel freático fluctuante, pobremente drenados, fertilidad natural baja		
Depósitos superficiales de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas mixtas	Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75%, hay evidencia de movimientos en masa (pata de vaca) afectados en sectores por fragmentos de roca en superficie; suelos muy superficiales por satur		

Depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas mixtas	Relieve moderado a fuertemente quebrado y fuertemente inclinada a ligeramente empinada, con pendientes 12-25% y 25-50%; presentan movimientos en masa, pata de vaca, escurrimiento difuso y erosión hídrica, laminar en grado ligero; suelos superficiales, li		
imentarias clásticas mixtas y depositos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica	Relieve moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes 12-25%, 25-50% y 50-75%, afectados por erosión hídrica y escurrimiento difuso, en grado ligero, localmente presentan pedregosidad superficial; Los suelos son muy superfici		
Lutitas	Profundos y superficiales, bien drenados, de textura franco arcillosa y arcillosa. Fertilidad natural baja y media		

Los resultados para todos los registros se presentan en el Anexo 4 (Digital).

3. BIBLIOGRAFÍA

Bear, J. [1972], Dynamics of fluids in porous media, American Elsevier, New York. Beyer, W. [1964], 'Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve', WWT 14, 165–168.

Busch, K.-F., Luckner, L. & Tiemer, K. [1993], Geohydraulik, Vol. 3 of Lehrbuch der Hydrogeologie, Borntraeger, Berlin.

Carsel, R., Parrish, R., 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. Water Resour. Res, 24(5):755–769.

Dunne, T., Black, R., 1970. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. Water Resources Research, 6(5):1296–1311.

Freeze, R., Harlan, R., 1969. Blueprint for a physically-based, digitally-simulated hydrologic response model. Journal of Hydrology, 9(3):237–258.

Hazen, A. [1892], 'Some physical properties of sands and gravels with special reference to their use in filtration.' Ann. Rep. State Board of Health Mass. 24, 541–556.

Horton, R., 1931. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 12:189–202.

Horton, R., 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 14:446–460.

Horton, R., 1936. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 17:344–357.

Hölting, B. [1995], Hydrogeologie, 5. edn, Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart.

Kollet, S., Maxwell, R., 2006. Integrated surface–groundwater flow modeling: A free-surface overland flow boundary condition in a parallel groundwater flow model. Advances in Water Resources, 29(7):945–958.

Kumar, R., Samaniego, L., & Attinger, S. (2010). The effects of spatial discretization and model parameterization on the prediction of extreme runoff characteristics. Journal of Hydrology, 392(1), 54-69.

Panday, S., Huyakorn, P., 2004. A fully coupled physically-based spatially-distributed

model for evaluating surface/subsurface flow. *Advances in Water Resources*, 27(4):361–382.

Pérez, A. J., Abrahao, R., Causapé, J., Cirpka, O. A., & Bürger, C. M. (2011). Simulating the transition of a semi-arid rainfed catchment towards irrigation agriculture. *Journal of Hydrology*, 409(3), 663-681.

Schaap, M., Leij, F., 1998. Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Science*, 163(10):765.

Schaap, M., Leij, F., van-Genuchten, M., 2001. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251(3-4):163–176.

Van-Genuchten, M., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 44(5):892–898.

Vanderkwaak, J., Loague, K., 2001. Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model. *Water Resources Research*, 37(4):999–1013.

S.I. Neitsch, J.G. Arnold, Kiniry, J.R. Williams. Soil and water assessment tool, Theoretical documentation, 2009.

B. Duarte, C. Marin. El papel de las coberturas vegetales de los páramos bajo procesos ecológicos de interpretación, evapotranspiración y escorrentía. Documento en elaboración. Instituto Alexander von Humboldt. Proyecto Páramos y Sistemas de Vida.