

A man wearing a blue and white plaid shirt, brown pants, and a wide-brimmed hat is riding a white horse. He is herding a group of cows of various colors (black, brown, white) in a lush green field. The background is filled with tall green trees. The scene is captured from a rear perspective of the man on the horse.

# Anexo 1

Análisis Fichas  
metodológicas de criterios  
y variables de la Unidad  
Física Homogénea UFH

## 1. Fichas metodológicas del componente físico

1.1. Criterio Condiciones Climáticas	03
1.1.1. Variable índice de disponibilidad de humedad para los cultivos (IDHc)	04
1.1.2. Variable temperatura media anual	07
1.2. Criterio capacidad de laboreo	09
1.2.1. Variable pendiente	11
1.2.2. Variable pedregosidad	13
1.3. Criterio condiciones de enraizamiento	16
1.3.1. Variable profundidad efectiva	17
1.3.2. Variable textura	19
1.4. Criterio disponibilidad de humedad	22
1.4.1. Variable regímenes de humedad	23
1.5. Criterio disponibilidad de oxígeno	26
1.5.1. Variable drenaje natural	27
1.5.2. Variable susceptibilidad a inundaciones	29
1.6. Criterio disponibilidad de nutrientes	32
1.6.1. Variable acidez (pH)	34
1.6.2. Variable saturación de bases	37
1.6.3. Variable carbono orgánico	40
1.6.4. Variable capacidad de intercambio catiónico (CIC)	42
1.7. Criterio toxicidad por sales, sodio y aluminio	45
1.7.1. Variable salinidad o sodicidad	47
1.7.2. Variable saturación de aluminio	50
1.8. Criterio susceptibilidad a la pérdida de suelos	53

03



# 1. Fichas metodológicas del componente físico

## 1. 1. Criterio Condiciones Climáticas

### Ficha metodológica del criterio

Componente: físico. Subcomponente: climático

Criterio: condiciones climáticas

### Variables asociadas al criterio

- Índice de disponibilidad de humedad para los cultivos (IDHc), expresado como IDH.
- Temperatura media anual, expresada en °C/año.

### Definición del criterio

Conjunto de elementos climáticos o propiedades del sistema climático (definidas como variables) que interactúan entre sí en las capas inferiores de la atmósfera, lo cual afecta directamente la fisiología de las plantas (FAO, 1976; UPR, 2013).

### Importancia del criterio

El clima influye en el desarrollo de todas las especies vegetales en todos sus componentes. Los parámetros climáticos como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y el brillo solar son determinantes para los cultivos debido a su relación con el rendimiento y calidad de los productos cosechados.

También es la integración del conjunto de propiedades de la unidad de tierra y dependen principalmente de los elementos acuosos y termodinámicos de la atmósfera, así como la de las diferentes formas de la topografía. Igualmente, el clima influye positiva o negativamente en el desarrollo de las especies vegetales.

### Limitantes de evaluación del criterio

Debido al escaso cubrimiento de estaciones meteorológicas que registran los diferentes parámetros del clima, como por ejemplo precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa, etc., se genera inconvenientes, para conocer con más detalle su distribución espacial en algunas regiones del país.

### Metodología de evaluación

Las condiciones climáticas se determinaron a partir de información base elaborada por el IDEAM a escala 1:100.000 para el periodo 1981-2010. A partir de estas, se realizó un ejercicio de integración de estos elementos del clima.

### 1.1.1 Variable índice de disponibilidad de humedad para los cultivos (IDHc)

<b>Ficha metodológica de variable</b>	
<b>Componente: Físico. Subcomponente: Climático</b>	
<b>Criterio asociado: condiciones climáticas</b>	
<b>Variable:</b> índice de disponibilidad de humedad para los cultivos (IDHc)	<b>Unidad de medida: adimensional</b>
<b>Definición</b>	

Índice de la relación mensual entre la evapotranspiración actual, refiriéndose a la cantidad de agua que suministra la precipitación en dicho mes, que es evapotranspirada y, la evapotranspiración del cultivo mensual, llevado a una medida de tendencia anual, expresados en valores de 0 a 1.

#### Importancia de la variable

Las necesidades de agua de los cultivos son estimadas a través de la evapotranspiración de los cultivos y son suplidas en la medida que la precipitación esté disponible, que para este caso la definimos como evapotranspiración actual; de allí que este índice muestra dicha relación, donde indica que cuando los valores estén cercanos a 1, las necesidades del cultivo están siendo compensadas y en la medida que se aleja aumentan los déficit de agua, afectando el establecimiento, crecimiento, desarrollo y producción. Para esta variable incluimos el término de evapotranspiración actual, donde se hace un supuesto de equivalencia a la evapotranspiración real, lo cual nos permite realizar una inferencia entre la disminución del rendimiento relativo de las cosechas por agua, versus el déficit, sin incluir en el coeficiente de productividad que sería otro análisis.

#### Limitantes de la evaluación de la variable

Colombia presenta una amplia gama de condiciones climáticas que van desde lo semidesértico (La Guajira) hasta lo muy húmedo (el Choco) y desde el nivel del mar (costas Caribe y Pacífica) hasta la criósfera (Nevados), que dificultan de manera importante establecer mapas nacionales, dado que en muchas regiones del país los modelos de estimación de la evapotranspiración (evapotranspiración de referencia ETo Penman-Monteith y del cultivo ETc) se sobreestima o subestima, sobre todo en las regiones con condiciones evaporativas bajas.

Dicho análisis de humedad para los cultivos se centra únicamente en lo climático, excluyendo el suelo (almacenamiento de agua del suelo), primero porque no se cuenta con información nacional de humedad aprovechable (capacidad de campo menos punto de marchitez permanente); además que la información de suelos que tiene cubrimiento nacional son los estudios generales de suelos del país (escala 1:100.000) y estos contienen asociaciones como unidades cartográficas de suelos. Es así, que, al no incluir en el modelo, la capacidad de almacenamiento del suelo, no es conveniente incluir en el modelo el almacenamiento anterior mes a mes, con lo que conlleva a la inconveniencia de incluir las pérdidas de agua por escorrentía, como se sugiere con la precipitación efectiva (80%, FAO/AGLW, USDA por Crowat 8.0 y otras recomendadas), además de que no se cuenta con mapa nacional de está.

### Metodología de procesamiento de la información

El procesamiento de esta variable se realiza en un sistema de información geográfico, a través de mapas ráster de precipitación, evapotranspiración de referencia y evapotranspiración del cultivo mes a mes, mediante los siguientes cálculos ráster:

El índice de disponibilidad de humedad (*IAHc*) se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$IAHc = [(ETa_{ene}/ETc_{ene}) + (ETa_{feb}/ETc_{feb}) \dots\dots\dots (ETa_{dic}/ETc_{dic})]/12$$

$$ETa=ETc \text{ cuando } P \geq ETc \text{ y } ETa=P \text{ cuando } P < ETc$$

Donde:

*P*= precipitación mensual multianual.

*ETc*= evapotranspiración del cultivo mensual bajo condiciones estándar.

Donde *ET<sub>a</sub>* es la evapotranspiración actual, refiriéndose a la cantidad de agua que suministra la precipitación en dicho mes y es evapotranspirada; los anteriores generados a partir de la normal climatológica 1981 al 2010.

Por su parte, la evapotranspiración del cultivo (*ETc*) es:

$$ETc = Kc * ETo$$

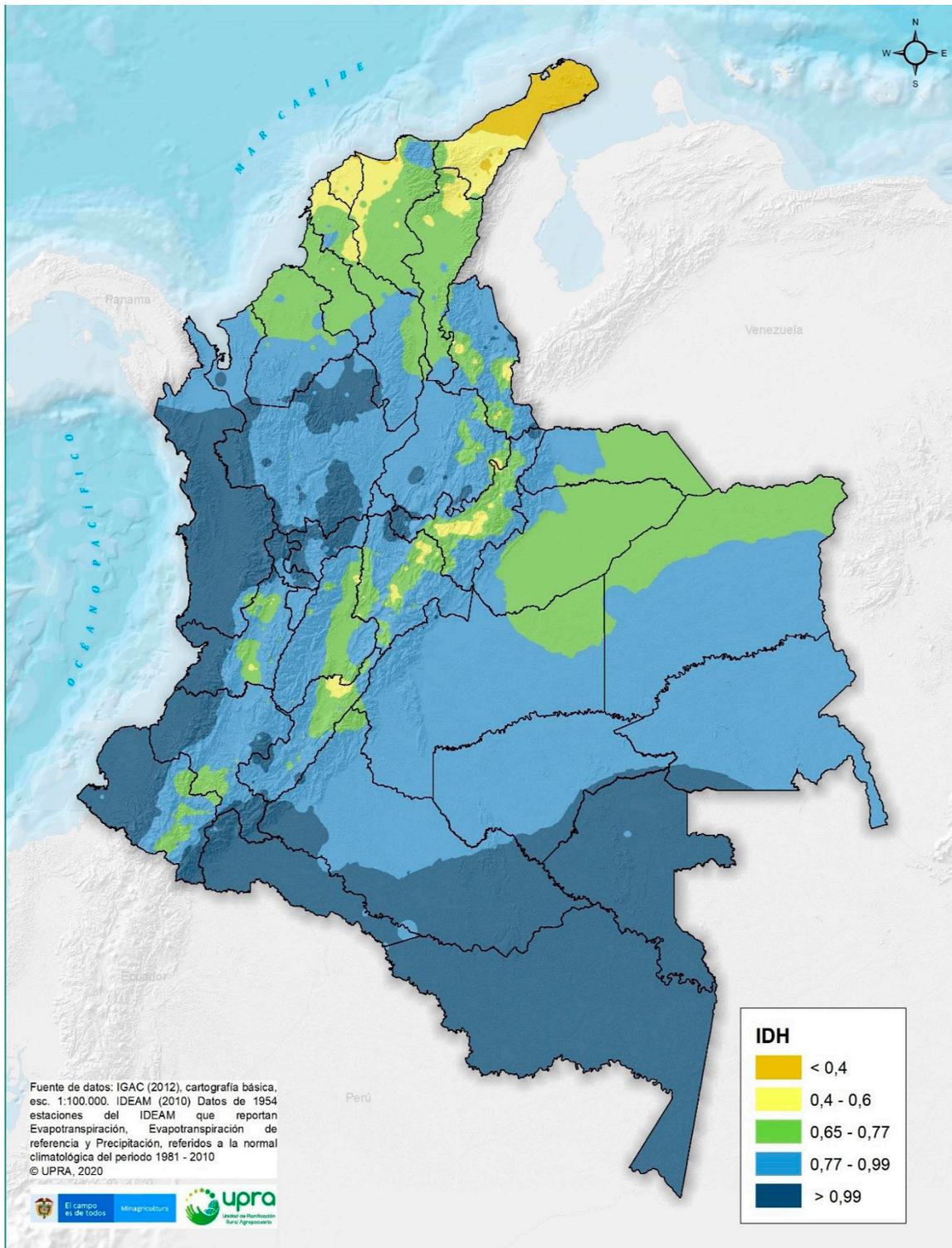
Donde:

*Kc*: coeficiente hídrico.

*ETo*= evapotranspiración de referencia mensual (*demanda de evapotranspiración de la atmósfera, en función de un cultivo de referencia, específicamente pasto con una altura de 0,12m, resistencia superficial de 70sm<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23*).

Una vez calculados los valores de *IDHc* mensuales multianuales desde enero hasta diciembre, son llevados a un promedio anual.

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Campos, D. (2005). Agroclimatología cuantitativa de cultivos. México: Trillas. Recuperado de: < [http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compiladolibros2016/Agroclimatologia\\_cuantitativa\\_cultivos.pdf](http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compiladolibros2016/Agroclimatologia_cuantitativa_cultivos.pdf)>.
- Doorenbos J; Kassam A; 1979. Yield response to water. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO Roma.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Roma.
- IDEAM. (2014). Tabla promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010. Bogotá: Ideam.
- IDEAM. 2014. Base de datos de temperatura media mensual multianual, precipitación media mensual multianual, evapotranspiración de referencia mensual de Colombia para el período 1981-2010. Bogotá, Colombia.

#### 1.1.2. Variable temperatura media anual

##### Ficha metodológica de variable

Componente: Físico. Subcomponente: Climático

Criterio asociado: condiciones climáticas

Variable: Temperatura media anual

Unidad de medida: adimensional

##### Definición

Medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor; depende de la latitud y de la altitud, y se toma generalmente como un índice de balance calórico, expresado en grados centígrados/año (Ideam, 2005).

##### Importancia de la variable

La temperatura del aire en el trópico está en función de la altitud y se toma generalmente como índice de balance calórico de las plantas, que disminuye o aumenta en promedio 0,57 °C, por cada 100 m de altitud.

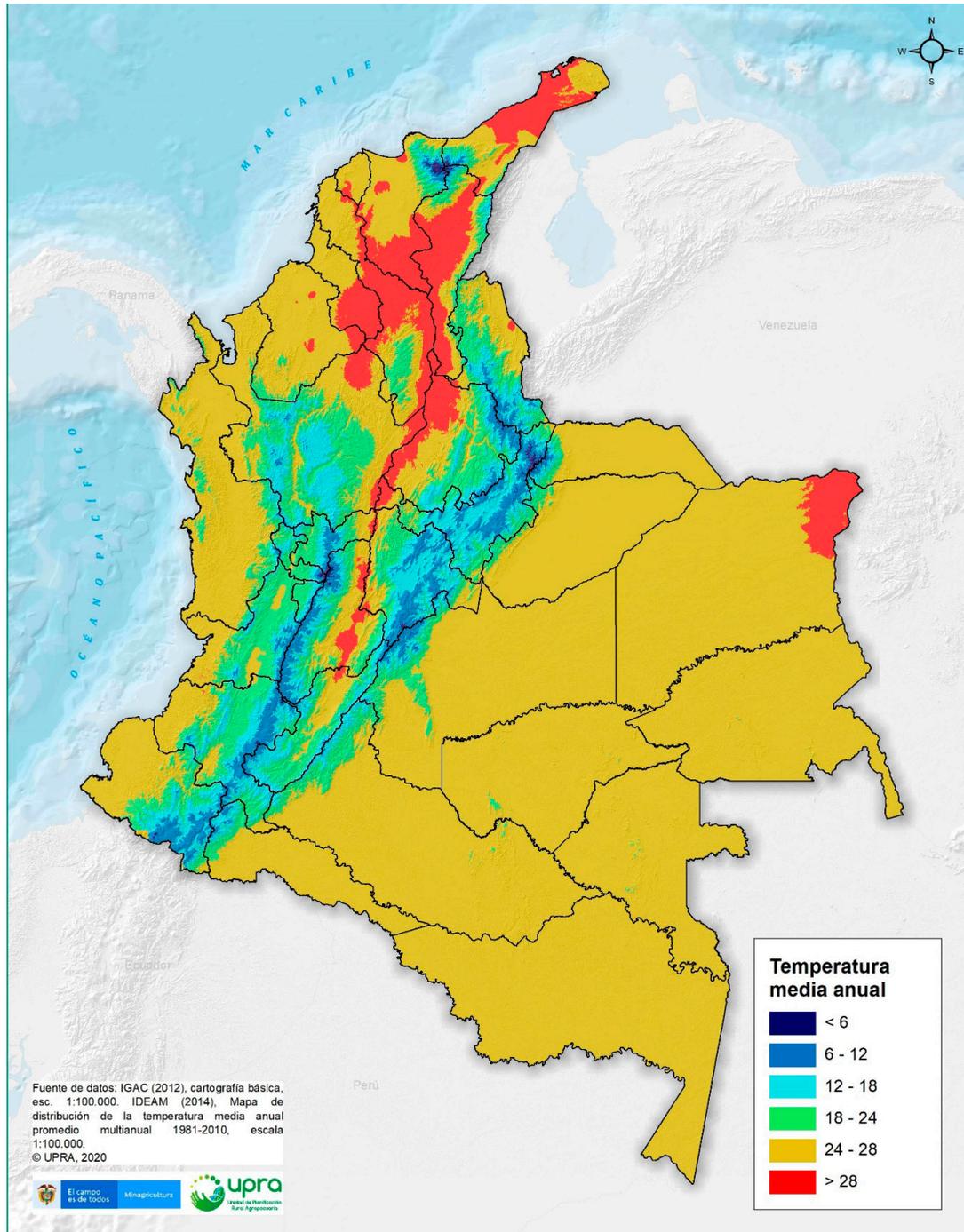
##### Limitantes de la evaluación de la variable

Disponer de una base de datos actualizada de la información térmica de todo el territorio nacional, generada por la red de estaciones meteorológicas, la cual se tiene solo hasta 2010; en consecuencia, el análisis espacial anual no refleja la condición térmica actual del país.

##### Metodología de procesamiento de la información

Unidades térmicas media tomadas del mapa de isotermas anuales elaborado por el Ideam en 2014, a escala 1:100.000, basado en una serie histórica de 1981 al 2010.

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Ideam (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá: Ideam.
- Ideam. (2014). Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000. Bogotá: Ideam.
- IGAC. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.

## 1.2. Criterio capacidad de laboreo

### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: capacidad de laboreo

Variables asociadas al criterio:

- Pendiente, expresada en porcentaje (%).
- Pedregosidad, expresada en fase de pedregosidad.

### Definición

Condiciones del terreno que limitan la posibilidad de preparación o adecuación para el establecimiento, mantenimiento y cosecha de los cultivos (las labores pueden ser en forma manual, con tracción animal o mecanizada) (FAO, 1987).

### Importancia del criterio

Es un criterio fundamental para el establecimiento y manejo de los cultivos, ya que integra las variables: pendiente y pedregosidad que, de acuerdo con sus rangos de variación, se hará más fácil o más difícil el uso de maquinaria, equipos, implementos o herramientas para las diferentes actividades culturales, desde la preparación del terreno hasta la cosecha.

Incide en la realización de las diferentes labores en los cultivos, tanto manuales como mecanizadas; en tal sentido, determina el potencial de aumento de la producción por hectárea.

### Rango de evaluación aplicado

En el análisis de cada una de las variables que integran este criterio presentan limitantes, las pendientes mayores de 75 %, porque va en contra de la conservación de suelos por el movimiento de las partículas de suelo a través de la pendiente, y se limita el uso óptimo de la maquinaria; la pedregosidad mayor de 35% (fase pedregosa) hacen tortuoso el movimiento de la maquinaria y daña los implementos.

### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde, en cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de la misma existen áreas que tienen calificaciones diferentes al componente mayor, y que corresponden a aptitudes diferentes.

La pedregosidad no se encuentra en rangos, solamente se tiene fase de pedregosidad o no pedregosidad. La fase por pedregosidad se determina en la etapa de campo en el levantamiento de suelos, lo cual implica que es mayor de 35 %.

#### Metodología de procesamiento de la información

La información para las variables que conforman este criterio se obtuvieron del mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000 (IGAC, 2014) que corresponde a los límites de variación de la pendiente y fase de pedregosidad (IGAC, 2014).

Es importante señalar que los estudios de suelos no vienen discriminados los contenidos de pedregosidad, solamente se toman la fase pedregosa y sin fase de pedregosidad, asumiendo que la fase de pedregosidad se determina en el campo, normalmente cuando el contenido supera el 35 %.

Para el cálculo de la pendiente se utilizó el modelo digital de elevación (IGAC, 2014) con resolución de 30 m.



### 1.2.1 Variable pendiente

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: capacidad de laboreo	
Variable: pendiente	Unidad de medida: porcentaje (%)
Definición	

Grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (Soil Science Society of America, 2018).

El aspecto de la pendiente, su forma y gradiente se manejó de acuerdo con los rangos adoptados por el IGAC (2010), según la siguiente tabla:

Clase compuesta	Porcentaje (%)
Plana	0 – 3
Ligeramente ondulada	3 – 7
Moderadamente ondulada o ligeramente quebrada	7 – 12
Fuertemente ondulada o moderadamente quebrada	12 – 25
Ligeramente escarpada o fuertemente quebrada	25 – 50
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	50 – 75
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	> 75

#### Importancia de la variable

Incide directamente en la traficabilidad y eficiencia en la adecuación, preparación, mantenimiento y cosecha de los cultivos, ya sea en forma manual, con tracción animal o mecanizada.

De acuerdo con el desempeño de los tractores con implementos, se puede trabajar en pendientes hasta del 12 % sin dificultades; de aquí en adelante, a medida que aumenta la inclinación del terreno, se dificultan las prácticas culturales tanto para el establecimiento como para el mantenimiento del cultivo, especialmente en sistemas tecnificados intensivos.

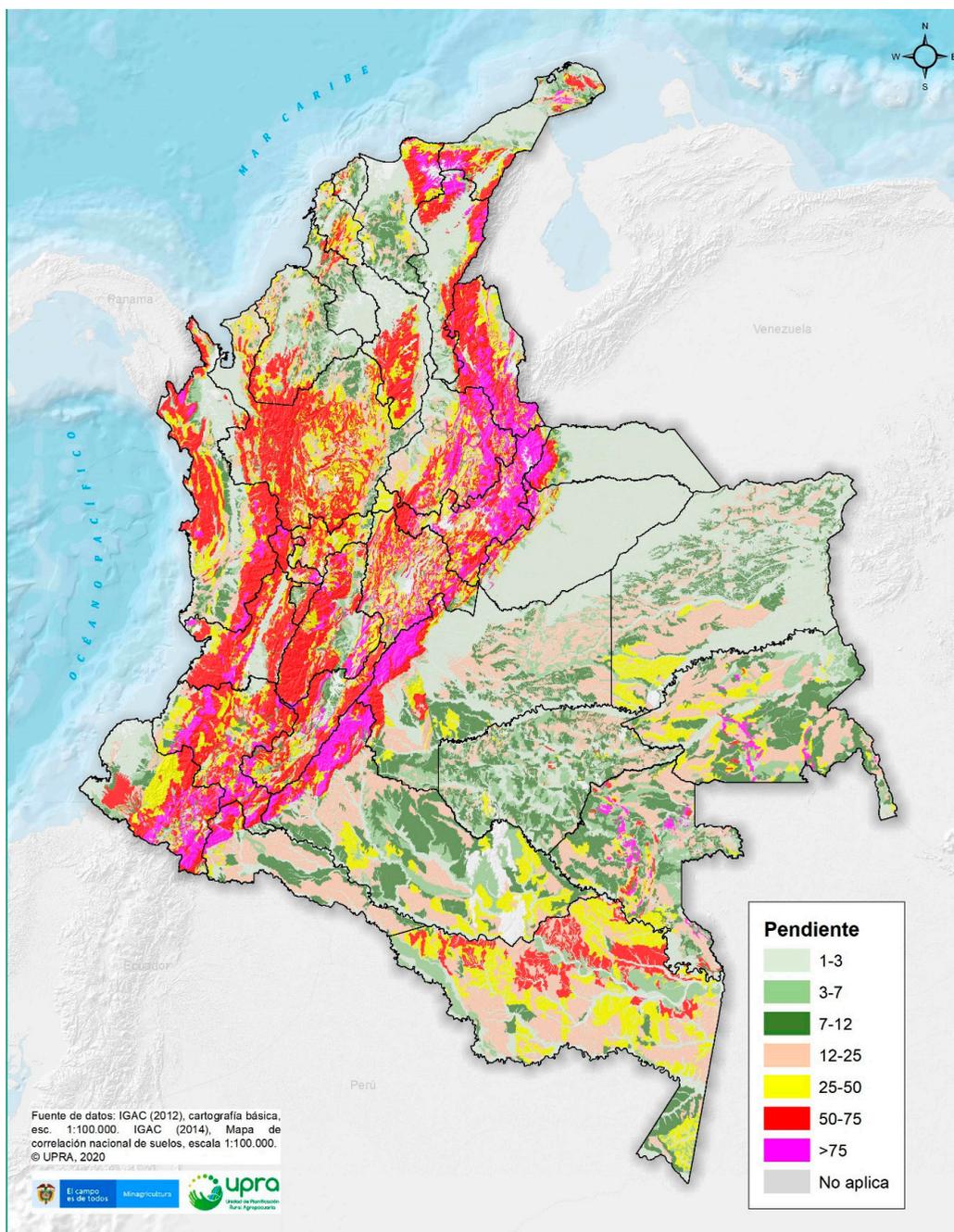
#### Limitantes de la evaluación de la variable

El uso de las fases cartográficas por pendiente a la escala 1:100.000, implica que en un polígono determinado se encuentran áreas pequeñas que pueden tener mayor o menor pendiente a la dominante, las cuales indican diferencias en el manejo del suelo.

### Metodología de procesamiento de la información

El proceso utilizado para la generación de la capa de pendientes por rangos fue automatizado por medio del uso de funciones de SIG, a partir de DEM SRTM de 30 metros. Se usaron los rangos tradicionales utilizados por el IGAC para los estudios de suelos, los cuales se relacionan con las posibilidades de mecanización.

### Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC.
- --. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- --. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- --. (2014). Modelo digital de terreno, resolución espacial 30 m.
- Soil Science Society of America, (2018). Recuperado de: <<https://www.soils.org/publications/soils-glossary?ssoContinue=1#>>.

### 1.2.2 Variable pedregosidad

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: capacidad de laboreo	
Variable: pedregosidad	Unidad de medida: cualitativa (fase cartográfica de pedregosidad)
Definición	

Hace referencia a las cantidades de fragmentos de roca presentes en el suelo. De acuerdo con Van Wambeke y Forbes (1987), los fragmentos de roca son trozos sueltos de roca de 2 mm de diámetro o mayores. Según los mismos autores, los fragmentos se reconocen de acuerdo con su tamaño como grava, guijarro, piedra y bloques.

Para fines prácticos de manejo de suelos, se ha tomado la dimensión de fragmentos de roca mayores a 7,6 cm de diámetro que incluyen guijarros, piedras y bloques, de acuerdo con los contenidos del manual de códigos (IGAC, 2014).

Clases por recubrimiento de fragmentos rocosos en la superficie de suelo

Clase	Recubrimiento superficial
<b>No pedregoso</b>	
Sin piedras, o con muy pocas piedras que no interfieren con el cultivo.	Las piedras cubren menor del 5 % del área
<b>Pedregoso</b>	
El uso de maquinaria pesada es impedido por la presencia de piedras que imposibilitan las labores requeridas por los cultivos, pero el suelo puede prepararse para siembra de cultivos permanentes o semipermanentes, forrajes o pastos mejorados.	Las piedras cubren entre 35 y 50 % del área.

### Importancia de la variable

Incide en la integridad de los implementos agrícolas, limitando las prácticas de laboreo, además de disminuir el área útil por unidad de superficie.

En la medida en que aumenta la presencia de fragmentos de roca, se dificultan las labores de adecuación de tierras y demás prácticas culturales como la construcción de drenajes y surcos o camellones.

### Limitantes de la evaluación de la variable

El registro de la información en el mapa nacional de correlación de suelos (IGAC, 2014), en este instrumento solamente aparece fase pedregosa; no se encuentra discriminada en rangos por porcentaje de recubrimiento.

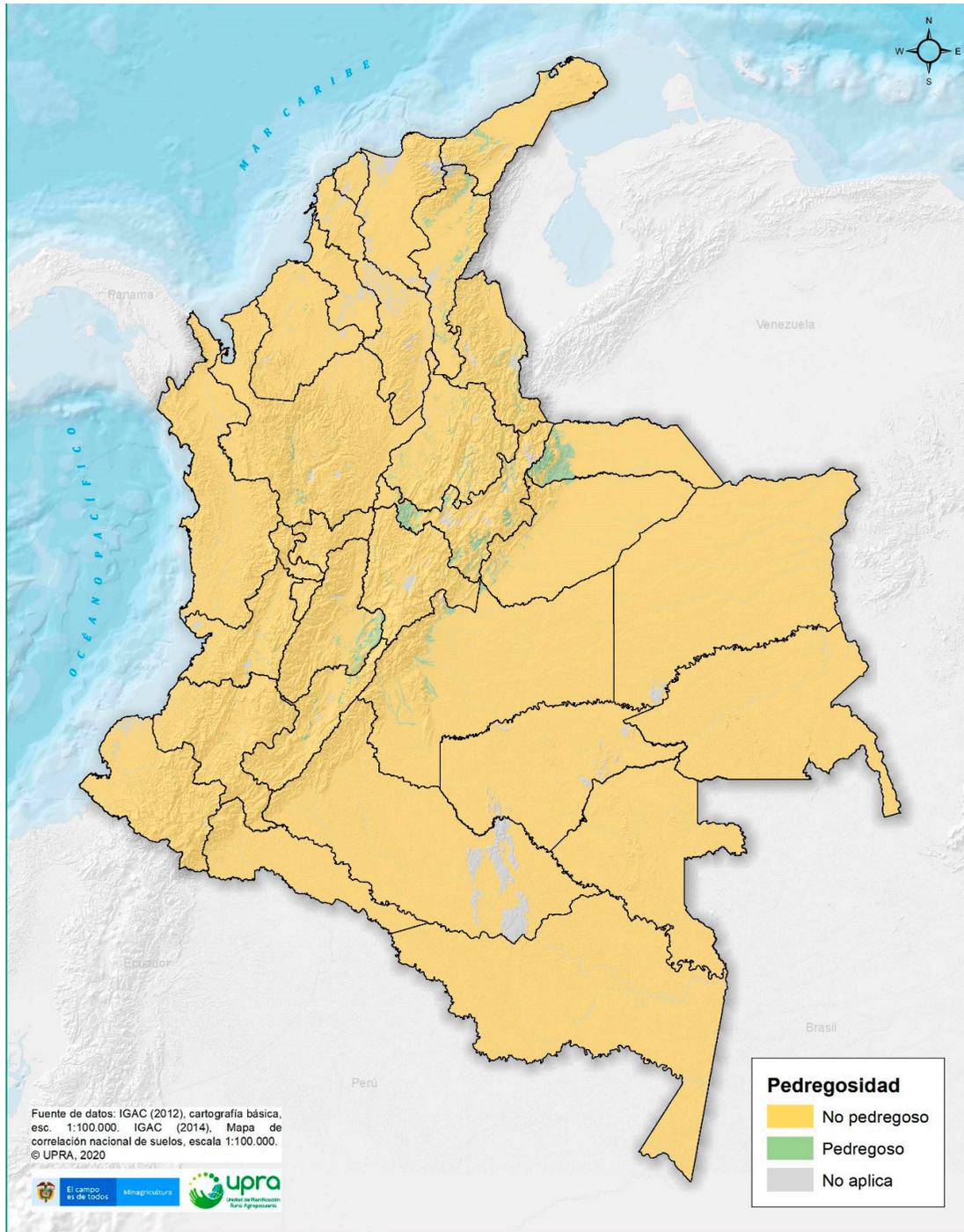
### Metodología de procesamiento de la información

Las clases de pedregosidad se obtuvieron a partir de la fase cartográfica de pedregosidad del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Esta variable se tomó únicamente como aparecen en los registros de la información de la base de datos, es decir, fase pedregosa, pero sin especificar rangos por porcentaje de pedregosidad.



Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- .. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- .. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- Van Wambeke, A. y Forbes, T. (Ed.). (1987). Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas. EUA: SMSS, monografía técnica No. 15. 44-46 p.

### 1.3. Criterio condiciones de enraizamiento

#### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: condiciones de enraizamiento

Variables asociadas al criterio

- Profundidad efectiva, expresada en centímetros (cm).
- Textura, expresada en clase textural.

#### Definición

Integra las características físicas del suelo que permiten el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas y la formación adecuada de los frutos. Tiene relación con la profundidad efectiva del suelo, es decir, a la profundidad hasta donde penetran las raíces sin ningún obstáculo. En la medida en que las raíces pueden explorar mayor volumen de suelo, mayores son las posibilidades de anclaje de las plantas y de abastecerse de agua y nutrientes.

#### Importancia del criterio

Cuando las raíces encuentran un medio propicio para su desarrollo como buena aireación, distribución de partículas por tamaño en promedios similares, poca pedregosidad y una profundidad radicular adecuada, el desarrollo vegetativo de los cultivos se realiza uniformemente con la formación adecuada de los frutos.

Las buenas condiciones físicas del suelo acompañadas del adecuado suministro de nutrientes, son reflejadas en los buenos rendimientos de los cultivos.

#### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde a cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de la misma existen áreas que tienen calificaciones diferentes al componente mayor y que corresponden a aptitudes diferentes.

### 1.3.1. Variable profundidad efectiva

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: condiciones de enraizamiento	
Variable: profundidad efectiva	Unidad de medida: centímetros (cm)
Definición	

Espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores restricciones, para conseguir el agua y los nutrientes indispensables. También se define como el total de la profundidad del perfil del suelo que es favorable para desarrollo de las raíces (USDA, 1961).

De acuerdo con la clasificación definida por el IGAC (2014), los límites de variación de la profundidad efectiva del suelo se establecen de la siguiente manera:

Clases por profundidad efectiva

Clase	Profundidad (cm)
Muy superficial	< 25
Superficial	25-50
Moderadamente profunda	75-100
Profunda	100-150
Muy profunda	> 150

#### Importancia de la variable

Se considera que, para los cultivos, el suelo debe tener una profundidad efectiva, libre de fragmentos gruesos, contactos líticos, petroféricos o petrocálcicos que impidan el normal desarrollo de las raíces. Otros aspectos que afectan la profundidad efectiva son: condiciones de hidromorfismo, contrastes texturales, fluctuaciones del nivel freático y encharcamientos e inundaciones.

#### Limitantes de la evaluación de la variable

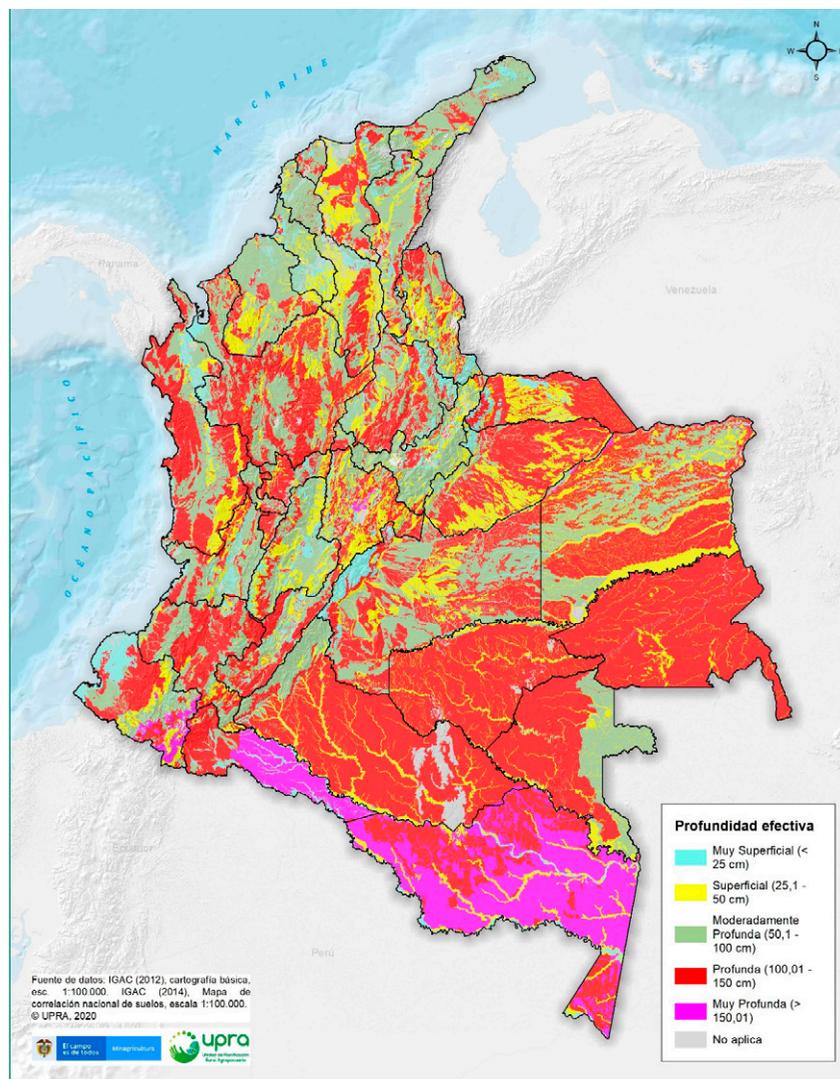
La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales, representan asociaciones, por lo tanto, se califica la profundidad del componente que ocupa la mayor área dentro de la unidad; esto quiere decir que en la misma existen algunos sectores con diferentes profundidades efectivas al mayor componente y por lo tanto aptitudes diferentes.

### Metodología de procesamiento de la información

Las clases de profundidad efectiva se obtuvieron a partir del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014) que corresponde con los límites de variación antes descritos, dando la calificación de profundidad a los mayores componentes taxonómicos dentro de cada unidad cartográfica de suelos.

Desde el punto de vista físico, se tuvieron en cuenta las limitaciones absolutas como la presencia de roca continua y compacta, los contactos pétricos y la profundidad del nivel freático, dado que otras como los horizontes argílicos y compactados pueden ser mejorados, como en efecto se está haciendo con subsoladores.

### Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC, 119 pp.
- -. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.
- -. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- USDA. (1961). Land-Capability Classification. Agriculture Handbook no. 210. EUA: Soil Conservation Service USDA.

#### 1.3.2. Variable textura

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: capacidad de laboreo	
Variable: textura	Unidad de medida: cualitativa (clases texturales)
Definición	

Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la fracción fina del suelo, es decir en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 2 mm (Montenegro y Malagón, 1990).

Las clases texturales de acuerdo con el triángulo textural (IGAC 2010), se consignan en la siguiente tabla:

Clases texturales	
Arenosa (A)	Franco arcillo arenosa (FArA)
Arenosa franca (AF)	Franco arcillosa (FAr)
Franco arenosa (FA)	Franco arcillo limosa (FArL)
Franca (F)	Arcillo arenosa (ArA)
Franco limosa (FL)	Arcillo limosa (ArL)
Limosa (L)	Arcillosa (Ar)

### Importancia de la variable

La clase textural es una variable de importancia para establecimiento de los cultivos, porque de ésta y de la forma como se encuentra estructurado el suelo, depende que el suelo ofrezca resistencia al rompimiento o a su deformación.

Para que los implementos, ya sean manuales o mecánicos, penetren con facilidad en el suelo se necesita una composición en proporciones similares de arena, limo y arcilla. Suelos con altos contenidos de arcilla se vuelven pesados y pegajosos (cuando las arcillas son de relación 2:1), los suelos arenosos desgastan los filos de las herramientas y no facilitan la construcción de surcos y/o drenajes.

### Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales, representan asociaciones o complejos de suelos; el criterio utilizado es la dominancia de la clase textural en los horizontes superficiales del suelo de mayor representatividad. Por tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación, que no es posible reflejar en la calificación de la unidad.

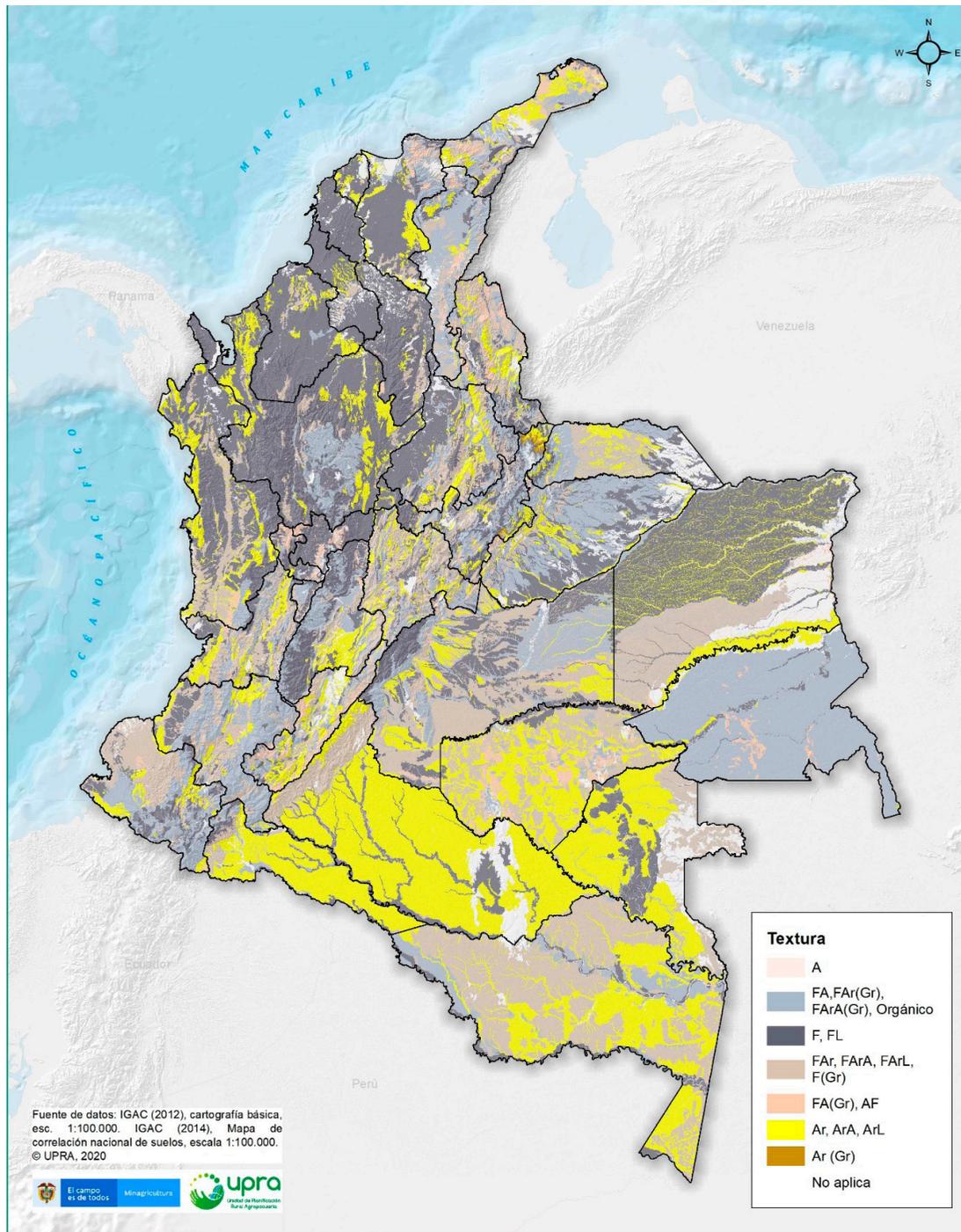
### Metodología de procesamiento de la información

La información base para determinar la textura a las unidades de tierra fue el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). A partir de esta base de datos, se realizó una reclasificación de acuerdo con los rangos definidos.

Esta variable se define con base en el comportamiento de la textura cuando se remueve el suelo, especialmente en lo relacionado con la pegajosidad, facilidades de ahoyado y la susceptibilidad a la compactación.



Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2014). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá, 119 pp.
- -. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.
- -. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- Montenegro, H. y Malagón, D. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: IGAC, pp. 101 y 157.

### 1.4. Criterio disponibilidad de humedad

#### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: disponibilidad de humedad

Variable asociada al criterio:

Régimen de humedad, expresado en clases de regímenes de humedad

#### Definición

Capacidad que tienen los suelos de almacenar agua aprovechable para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo; considera los movimientos interno y externo del agua en el suelo, y está relacionado con el contenido de agua en el suelo y la posibilidad de retención durante el año.

El criterio está definido desde la interacción del régimen de humedad (número de días consecutivos o acumulados en que su sección control está seca, o sea humedad retenida a más de 15 bares o humedad <15 bares, pero mayor a 0).

#### Importancia del criterio

El agua es la responsable de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas que se suceden en el suelo, así como del crecimiento de las plantas. En condiciones naturales, donde no hay distritos de riego, la capacidad de retención de agua que tienen los suelos es de gran importancia, ya que, de ella, y de las condiciones climáticas de la región, depende el desarrollo de los cultivos.

#### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde a cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de la misma existen áreas que tienen calificaciones diferentes al componente mayor y que, corresponden a aptitudes diferentes.

#### Metodología de procesamiento de la información

La información para la variable que conforma este criterio se obtuvo del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

### 1.4.1. Variable regímenes de humedad

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: disponibilidad de humedad	
Variable: régimen de humedad	Unidad de medida: cualitativa (clase de régimen)
Definición	

Los regímenes de humedad del suelo se definen en términos del nivel de agua subterránea y de la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión inferior a 1.500 kPa en la sección de control (USDA, 2014).

**Údico:** del latín *udus*, húmedo, es aquel en el cual la sección control de humedad del suelo no está seca en cualquier parte durante tanto tiempo como 90 días acumulativos en años normales.

**Perúdico:** del latín *per*, a lo largo en el tiempo, y del latín *udus*, húmedo; en climas donde la precipitación supera la evapotranspiración en todos los meses en años normales, la tensión de humedad raramente alcanza 100 kPa en la sección de control de humedad del suelo, aunque hay breves períodos ocasionales, cuando se utiliza un poco de humedad almacenada. El agua se mueve a través del suelo en todos los meses cuando no se congela.

**Ústico:** del latín *ustus*, quemado; implica sequedad, es intermedio entre el régimen arídico y el údico. Tiene humedad limitada, pero está presente en un momento en condiciones que son adecuadas para el crecimiento vegetal. El concepto de régimen ústico no se aplica a suelos que tienen permafrost.

Si la temperatura media anual del suelo es 22 °C o superior, o si las temperaturas medias de verano y de invierno del suelo difieren en menos de 6 °C a una profundidad de 50 cm, la sección control de humedad del suelo en áreas de régimen ústico está seca en alguna o todas las partes, en 90 o más días acumulativos en años normales. Es húmedo, sin embargo, en alguna parte, ya sea durante más de 180 días acumulativos por año o 90 o más días consecutivos.

**Ácuico:** del latín *aqua*, es de reducción en un suelo que está virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado de agua. Algunos suelos están saturados con agua, a veces mientras el oxígeno disuelto está presente, ya sea porque el agua está en movimiento o porque el entorno es desfavorable para los microorganismos (por ejemplo, si la temperatura es inferior a 1 °C, tal régimen no es considerado ácuico).

**Perácuico:** hay suelos, sin embargo, en la que el agua subterránea está siempre en o muy cerca de la superficie. Ejemplos de ello son los suelos de marismas de marea o en el litoral, depresiones cerradas, alimentadas por arroyos perennes.

**Árido:** regímenes de humedad arídico y tórrido (del latín *aridus*, seco, y del latín *torridus*, caliente y seco). Estos términos se utilizan para el mismo régimen de humedad, pero en diferentes categorías de la taxonomía.

En el régimen de humedad arídico (tórrido), la sección de control de humedad, en años normales es:

- a. Seca en todas las partes por más de la mitad de los días acumulativos por año, cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm está por encima de 5 °C.
- b. Húmeda en alguna o en todas partes por menos de 90 días consecutivos, cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm está por encima de 8 °C.

### Importancia de la variable

El régimen de humedad del suelo se relaciona con las características climáticas de la zona y con las clases texturales dominantes en el suelo, por tanto, se considera un indicador de la disponibilidad de agua para las plantas.

Los regímenes de humedad están condicionados a la distribución de las lluvias de cada una de las regiones y al número de días secos consecutivos durante el año. El régimen de humedad údico es el óptimo para la mayoría de los cultivos, debido a que se asocia al régimen de lluvias bimodal.

La importancia de esta variable se fundamenta en que para el establecimiento de cultivos donde hay muy poca infraestructura de riego, la disponibilidad natural de agua en el suelo es muy importante para el desarrollo de estos.

### Limitantes de la evaluación de la variable

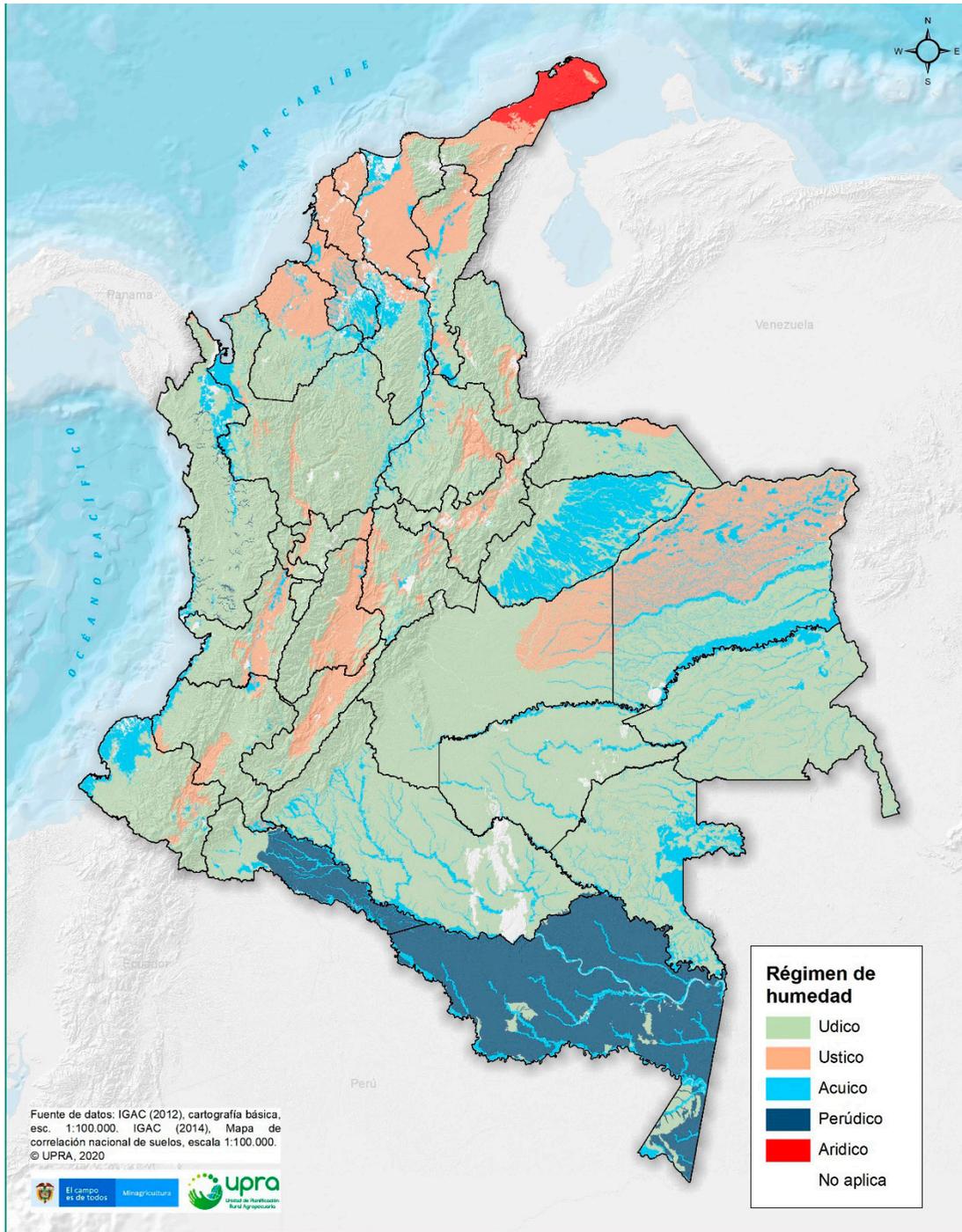
La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales, representan unidades cartográficas denominadas asociaciones (tienen dos o más componentes taxonómicos), se calificó el régimen de humedad del componente taxonómico de mayor porcentaje. Esto significa que dentro de un área determinada existen regímenes de humedad diferente al que se está calificando.

### Metodología de procesamiento de la información

El proceso de evaluación de la variable de régimen humedad de los suelos se realizó a partir de la información del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

En los casos que no tienen definido el régimen de humedad dentro de este mapa, se complementaron interpretando la clasificación taxonómica de los suelos presentes en las unidades cartográficas.

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC, 119 pp.
- -. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.
- -. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- USDA. (2014). Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff. EUA: USDA

## 1.5. Criterio disponibilidad de oxígeno

### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: disponibilidad de oxígeno

Variables asociadas al criterio:

Drenaje natural, expresado en clases de drenaje natural.

Susceptibilidad a inundaciones, expresada en fases cartográficas de inundación.

### Definición

Cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación del CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior.

### Importancia del criterio

La aireación del suelo permite el desarrollo de las raíces aeróbicas y, por ende, todas las funciones fisiológicas de las plantas que terminan con altas producciones de frutos.

Por otro lado, la tendencia de los terrenos planos a ser inundados y permanecer encharcados, puede afectar el desarrollo normal de las plantas, porque la ausencia de oxígeno en la matriz del suelo se considera una intoxicación para las plantas.

### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde para cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de la misma existen áreas de diferentes tamaños que tienen calificaciones diferentes al componente mayor y que corresponden a aptitudes diferentes.

La falta de información de la periodicidad y duración de las inundaciones, no permite precisión en la delimitación de las áreas no aptas para los cultivos.

## Metodología de procesamiento de la información

Para las clases por susceptibilidad a inundaciones y drenaje natural se tomó como base el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), dando la calificación que técnicamente se consideró en cada una de las variables.

### 1.5.1. Variable drenaje natural

<b>Ficha metodológica de variable</b>	
<b>Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico</b>	
<b>Criterio asociado: disponibilidad de oxígeno</b>	
<b>Variable: drenaje natural</b>	<b>Unidad de medida: adimensional (clase de drenaje)</b>
<b>Definición</b>	

Se define como la rapidez y el grado de eliminación de agua del suelo por la escorrentía y el flujo a través del suelo a los espacios subterráneos (USDA, 1961).

El drenaje natural combina los drenajes interno y externo del suelo, tiene en cuenta la relación entre la pendiente, la escorrentía y la infiltración, y las evidencias de procesos de óxido-reducción colores gley, así como de la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).

Las clases de drenaje natural son: muy pobre, pobre, imperfecto, moderado, bueno (bien), moderadamente excesivo y excesivo. Está en función de la pendiente, la forma de terreno y la permeabilidad.

#### Importancia de la variable

Una vez que se conoce la clase de suelo, es importante saber el tipo de acondicionamiento que se necesita para mejorarlo. Las condiciones de mal drenaje, implican requerimientos de obras de adecuación de tierras que favorezca el movimiento del agua interna y de la escorrentía.

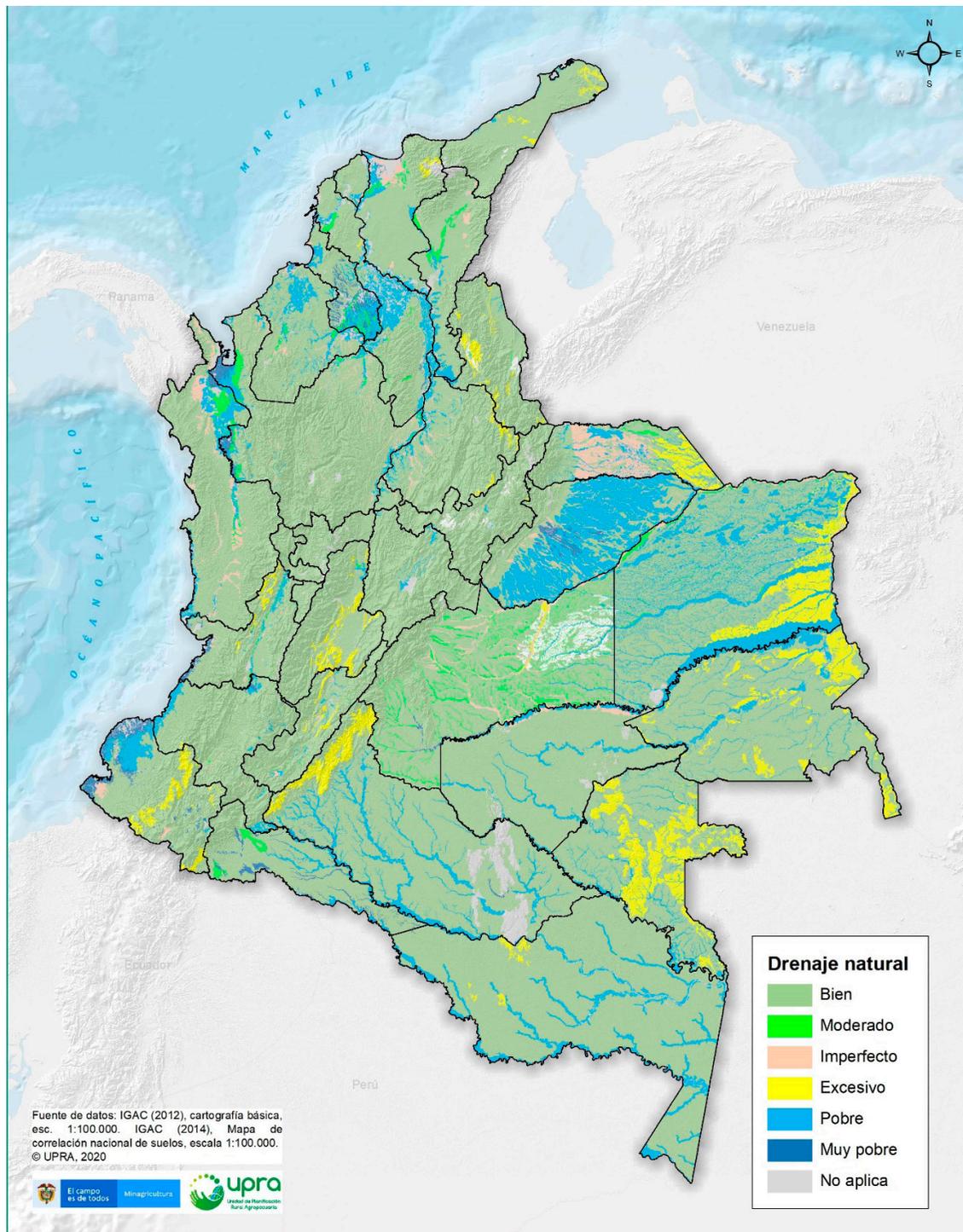
#### Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales, representan asociaciones, donde se califica el mayor componente, lo que significa que algunos sectores no se pueden representar espacialmente, los cuales pueden ser favorables o desfavorables para el establecimiento de los cultivos.

#### Metodología de procesamiento de la información

Se realizó a partir de la información de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). En los casos en que no se dispuso de información sobre drenaje natural, se complementó interpretando la taxonomía de los suelos presentes en las unidades cartográficas.

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Cortés, A. y Malagón, D. (1984). Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 360 pp.
- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá, 119 pp.
- -. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.
- -. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- Montenegro, H. y Malagón, D. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: IGAC, 813 pp.
- USDA. (1961). Land-Capability Classification. Agriculture Handbook no. 210. EUA: Soil Conservation Service USDA.

### 1.5.2. Variable susceptibilidad a inundaciones

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: disponibilidad de oxígeno	
Variable: susceptibilidad a inundaciones	Unidad de medida: cualitativa (fases cartográficas de inundación)
Definición	

Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua, o la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (OMM y Unesco, 2012).

La inundación es causada por el ascenso del nivel de las aguas ya sea de una corriente hídrica o de aguas confinadas, a sectores que normalmente están secos. El encharcamiento se da cuando el nivel de las aguas causantes se retira y el agua no drena, sino que permanece en el lugar. Este ocurre en zonas cóncavas a los lados de las corrientes hídricas (basines o cubetas) y en áreas depresionales de las partes altas (bajos o depresiones).

El IGAC (2010), clasifica las inundaciones y encharcamientos de acuerdo con la duración de acuerdo con la siguiente tabla:

### Clases por duración de las inundaciones

Clase	Descripción
Extremadamente corta	Menor de un (1) día
Muy corta	De 1 a 2 días
Corta	De 2 a 7 días
Larga	De 7 a 30 días
Muy larga	De 30 a 90 días
Extremadamente larga	De 90 a 180 días

#### Importancia de la variable

Las inundaciones, generalmente afectan el desarrollo vegetativo de la mayor parte de las especies vegetales, aún más cuando duran largos periodos de tiempo.

La tolerancia a las inundaciones y a encharcamientos por parte de las plantas depende de cada especie. Hay cultivos que no toleran encharcamientos e inundaciones y es muy susceptible a enfermedades y muerte de las plantas por efecto del exceso de agua en la zona radical.

Para el caso concreto, se toma la información de forma indirecta según la frecuencia de inundaciones, de acuerdo con la relación con las zonas inundables identificadas en los mapas de suelos del país.

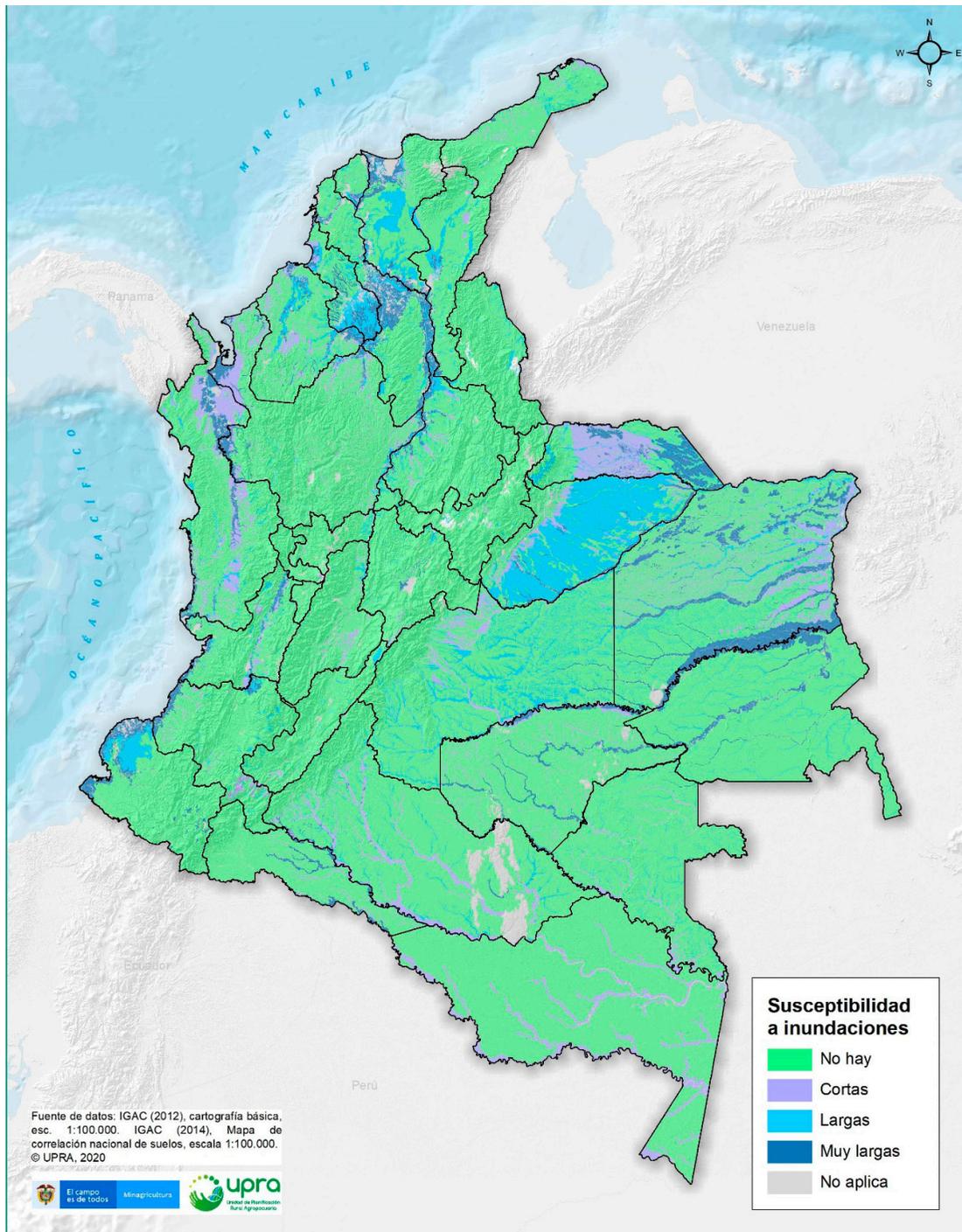
#### Limitantes de la evaluación de la variable

En la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos, muchas unidades cartográficas no registran información sobre fases por inundación o encharcamiento, por lo tanto, se incluye su análisis, tomando como base algunas formas de terreno, tipos de relieve, información de los perfiles modales y también los el régimen de humedad que proporcionan los nombres taxonómicos, sin pretender excluir el total de las zonas inundables, debido a que no se puede predecir la duración del evento que es la causante de los daños en los cultivos.

#### Metodología de procesamiento de la información

Se tomó como base la fase cartográfica por inundación y encharcamientos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC 2014).

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC et al. (2012). Conflictos de uso del territorio colombiano. Mapa nacional de vocación de uso de la tierra, escala 1:100.000.
- -. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.
- -. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.
- OMM y Unesco. (2012). Glosario hidrológico internacional. Ginebra: WMO, 127 p.

## 1.6. Criterio disponibilidad de nutrientes

### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: disponibilidad de nutrientes

### Variables asociadas al criterio:

- Acidez (pH), expresada como pH.
- Saturación de bases, expresada en porcentaje (%).
- Carbono orgánico, expresado en porcentaje (%).
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), expresada en cmol/kg de suelo.

### Definición

Cualidad de un suelo que le permite proporcionar compuestos, en cantidades adecuadas y en un balance apropiado, para el crecimiento de plantas específicas, cuando otros factores de crecimiento tales como la luz, la humedad, la temperatura y la condición física del suelo son favorables (USDA, 1961).

Contiene las variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes y está relacionada directamente con los contenidos en el suelo de los elementos mayores y los elementos menores, esenciales para el desarrollo de los frutos.

Considera las relaciones químicas en la zona radicular del suelo de cara a las posibilidades de absorción de nutrientes disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Estas relaciones según las características de las unidades de tierra a escala 1:100.000 podrían estar en función de la acidez o pH, la saturación de bases, el contenido de carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico (FAO, 1976).

### Importancia del criterio

Contiene las variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes y está relacionado directamente con los contenidos en el suelo de los elementos mayores y los elementos menores, esenciales para el desarrollo de los frutos.

En la medida en que los suelos tengan mayores contenidos de nutrientes, es decir que la saturación de bases sea alta y esté acompañada de capacidad de intercambio catiónico alta, las plantas tienen la posibilidad de obtener los nutrientes del suelo en forma fácil y oportuna, lo cual se verá reflejado en un buen desarrollo de los cultivos y la adecuada fructificación.

Por otro lado, cuando las plantas están bien desarrolladas, tienen mayores posibilidades de superar los ataques de las plagas y enfermedades.

### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde a cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de ésta existen áreas de diferentes tamaños que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que corresponden a aptitudes diferentes.

En los análisis de suelos de los estudios generales de suelos se encuentran los contenidos de los elementos mayores y las variables que son responsables de su almacenamiento como la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, y el pH como factor que determina la disponibilidad de cada uno de los elementos.

### Metodología de procesamiento de la información

En los análisis químicos de los estudios generales de suelos se encuentran los contenidos de los elementos mayores y las variables que son responsables de su almacenamiento como la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, y el pH como factor que determina la disponibilidad de cada uno de los elementos.

Las variables involucradas en el criterio de disponibilidad de nutrientes se extractaron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), dando la calificación que se consideró en cada uno de los elementos que la componen.

### 1.6.1. Variable acidez (pH)

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: disponibilidad de nutrientes	
Variable: acidez (pH)	Unidad de medida: pH
Definición	

pH: este término fue introducido por Sørensen en 1909 para expresar las actividades de los iones H<sup>+</sup> ( $\alpha H^+$ ) como una función logarítmica, es decir, es el logaritmo negativo de la actividad de iones H<sup>+</sup> en la solución o suspensión del suelo (Garavito 1974).

El pH puede definirse como:

$$pH = \log \frac{1}{\log(\alpha H^+)} = -\log \alpha H^+ = -\log(\alpha H^+)$$

Acidez: un suelo ácido es aquel que tiene una concentración de iones H<sup>+</sup> mayor de 10<sup>-7</sup>, o lo que es lo mismo, un pH menor de 7. Sin embargo, la acidez del suelo como limitante para el desarrollo de las plantas, por su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes y concentración de sustancias tóxicas, solo adquiere importancia cuando el pH es menor de 5,5. Esto ha sido demostrado por muchos investigadores (Garavito, 1974).

El IGAC (2010), en el manual codificado de reconocimiento de suelos, clasifica el pH de la siguiente manera

#### Rangos de pH

pH	Clase
< 3,5	Ultra ácido
3,5-4,4	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Moderadamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Ligeramente alcalino
7,9-8,4	Moderadamente alcalino
8,5-9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

### Importancia de la variable

El pH es una de las propiedades fisicoquímicas más importantes de los suelos; de él depende en gran parte la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya sea porque determina su solubilidad o porque controla la clase y tipo de actividad microbiológica y, por lo tanto, la mineralización de la materia orgánica. También tiene efecto directo sobre la concentración de iones y sustancias tóxicas, la CIC de suelos y raíces, enfermedades de las plantas y otras propiedades importantes (Garavito, 1974).

El pH del suelo tiene una importancia determinante para la disponibilidad de los iones nutritivos, lo cual incide directamente en el crecimiento vegetal porque afecta principalmente:

La disponibilidad de los nutrientes. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes y su permanencia en formas no disponibles para las plantas.

El proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces. Todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que su absorción es ideal; fuera de ellos, la absorción radicular se dificulta y si los valores de pH son extremos, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio).

La actividad microbiana, indispensable en la transformación de elementos que se presentan en formas no asimilables hacia otras que sí lo son.

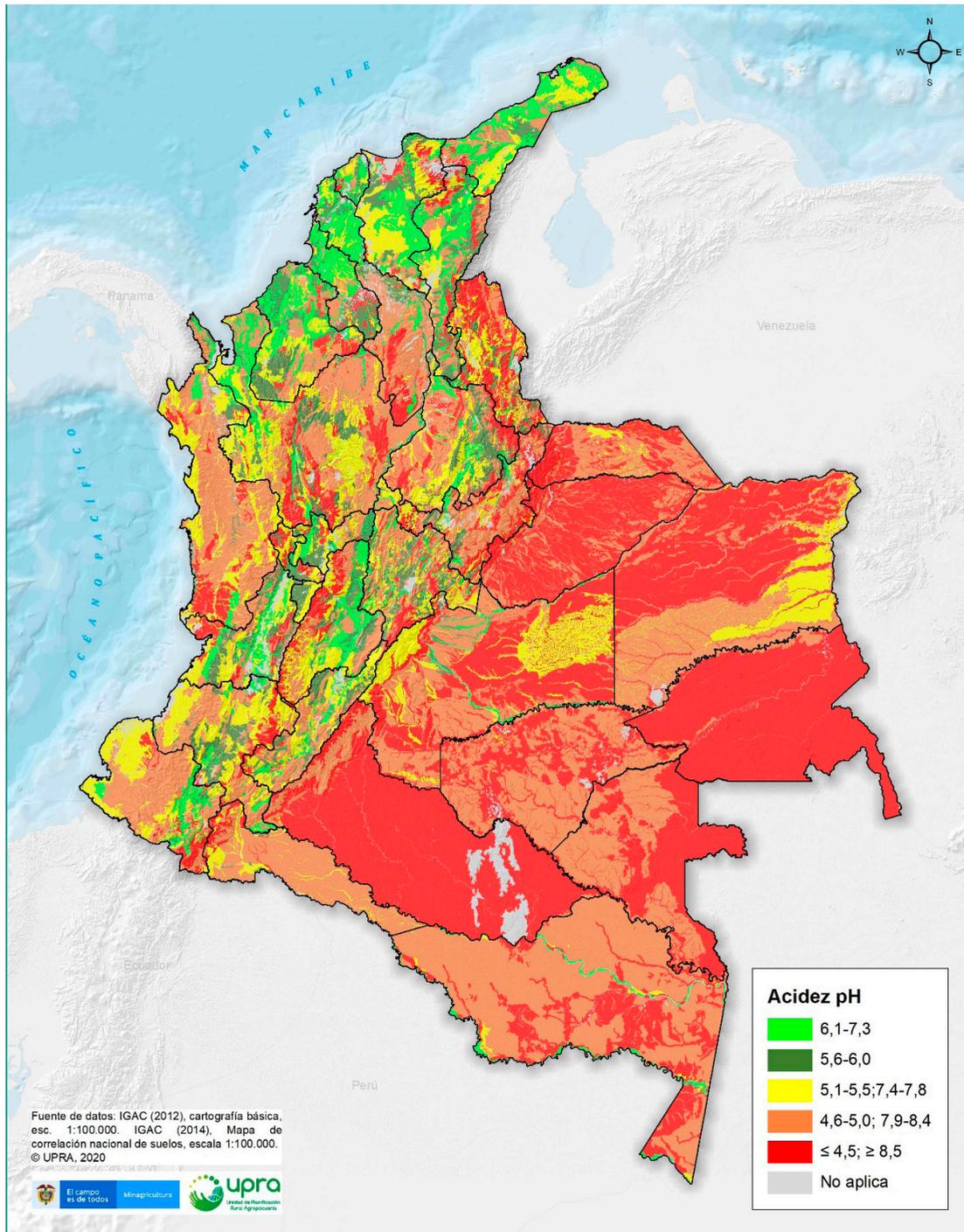
### Limitantes de la evaluación de la variable

Debido a que la mayoría de las unidades cartográficas de suelos en la escala 1:100.000 son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; significa que dentro de la misma existen áreas de diversos tamaños que tienen pH distinto al componente calificado.

### Metodología de procesamiento de la información

La variable se construyó a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Es importante aclarar que los valores de pH se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales.

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Fassbender, H.; Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Segunda edición. San José de Costa Rica: IICA.
- Garavito F. (1974). Propiedades químicas de los suelos, 2 ed. Bogotá: IGAC. 30, 128 p.
- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- \_ . (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.

### 1.6.2. Variable saturación de bases

<b>Ficha metodológica de variable</b>	
<b>Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico</b>	
<b>Criterio asociado: disponibilidad de nutrientes</b>	
<b>Variable: saturación de bases</b>	<b>Unidad de medida: porcentaje (%)</b>
<b>Definición</b>	

La relación entre la cantidad de bases intercambiables y la capacidad de intercambio de cationes. El valor de la saturación de la base varía según si la capacidad de intercambio catiónico incluye solo la acidez extraíble de la sal o la acidez total determinada a pH 7 u 8. A menudo, se expresa como un porcentaje (Soil Science Society of America, 2018).

### Importancia de la variable

Estima la cantidad de los elementos nutrientes (protones) del suelo, la cual determina el manejo químico de las tierras y su productividad natural.

El contenido alto de saturación de bases indica que el complejo de cambio está saturado con elementos nutritivos para las plantas. Una mayor saturación de bases indica disponibilidad de nutrientes para las plantas, especialmente cuando la capacidad de intercambio catiónico es elevada. Cuando en condiciones naturales los contenidos de bases son bajos, debe adicionarse fertilizantes, lo cual implica aumento de los costos de producción.

La saturación de bases cambiabiles, calculada mediante la proporción que ocupan en la CIC, disminuye a medida que aumenta el grado de lavado y el intemperismo de los suelos (Malagón, 1995).

### Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde a cada una de las variables que conforman el criterio, se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de ésta existen áreas de diferentes tamaños que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que corresponden a aptitudes diferentes.

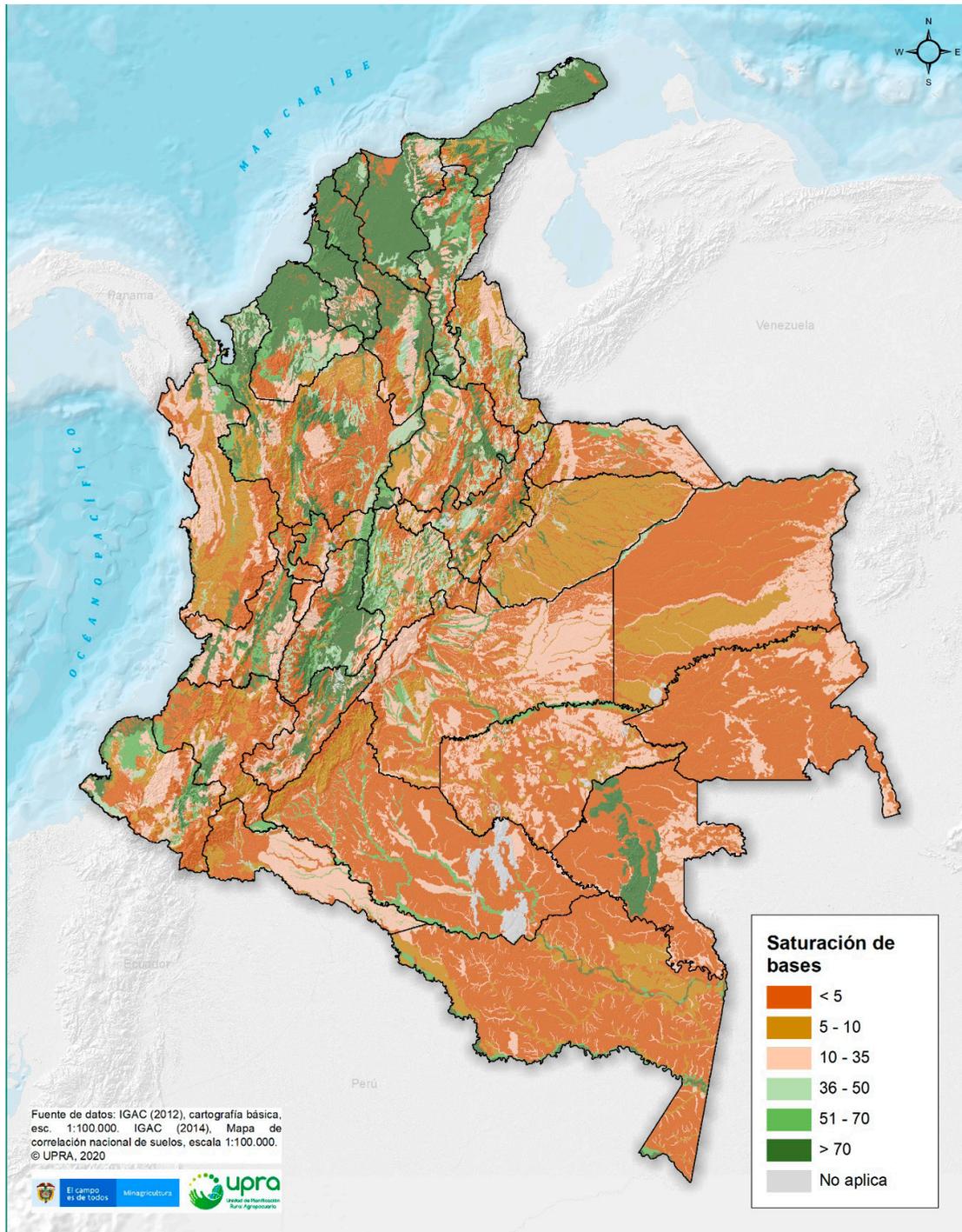
### Metodología de procesamiento de la información

La variable se construyó a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Es importante aclarar que los valores de saturación de bases se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales.



Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- .. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- .. (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- Malagón D. (1995). Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Bogotá: IGAC. 423-427 p.
- Soil Science Society of America. (2018). Recuperado de: <<https://www.soils.org/publications/soils-glossary?ssoContinue=1#>>.

### 1.6.3. Variable carbono orgánico

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: disponibilidad de nutrientes	
Variable: carbono orgánico	Unidad de medida: porcentaje (%)
Definición	

El carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro.

Se conoce como materia orgánica del suelo a un conjunto de residuos orgánicos, de origen animal o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

### Importancia de la variable

Se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nitrógeno, cuyo aporte mineral es escaso. La materia orgánica también modifica el grado de acidez hacia valores cercanos a neutros, aumenta la solubilidad de varios nutrientes y proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico.

En las propiedades físicas, modifica la estructura y regula la distribución de los poros; en cuanto a la parte biológica, el carbono es esencial, proporciona fuentes energéticas a los organismos del suelo, generalmente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular) (Borie et al., 1999).

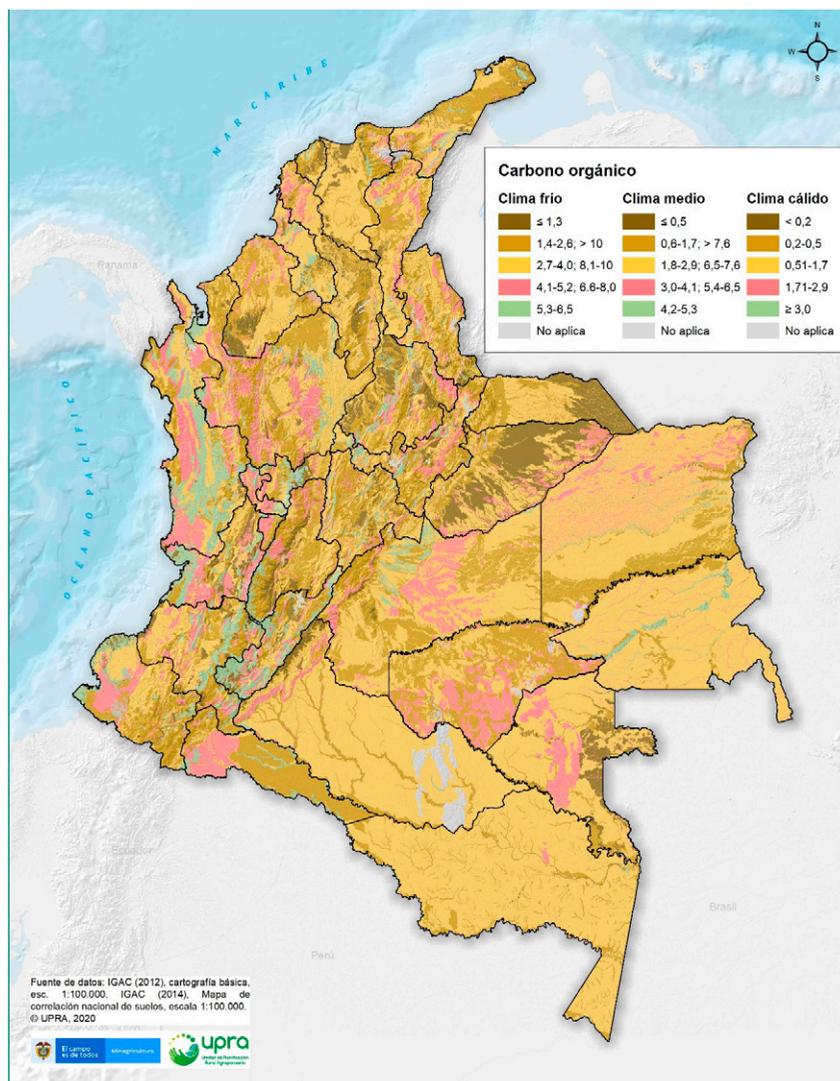
### Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, escala 1:100.000, son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad, lo cual significa que dentro de la misma existen áreas de diversos tamaños que tienen variadas cantidades de carbono orgánico, lo cual significa aptitud diferente al componente calificado.

### Metodología de procesamiento de la información

La variable se construyó a partir del contenido de carbono orgánico registrado en la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Los valores de los contenidos de carbono orgánico del suelo, se tomaron de los horizontes superiores del perfil modal.

### Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Aguilera, S.M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
- Borie, G.; Aguilera, S. y Peirano, P. (1999). «Actividad biológica en suelos». En: Frontera Agrícola 5. 29-32 p.
- Fassbender, H.; Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Segunda ed. San José de Costa Rica: IICA.
- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- \_ . (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- Martínez, E., Fuentes, J. y Acevedo, E. (2008). «Carbono orgánico y propiedades del suelo». En: Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, vol. 8, no. 1. 68-96 p.
- Rosell, R.A. (1999). Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.

#### 1.6.4. Variable capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: disponibilidad de nutrientes	
Variable: capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Unidad de medida: cmol/kg de suelo
Definición	

De acuerdo con Malagón, 1995, los cationes retenidos en la superficie de minerales del suelo y dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos, pueden ser reversiblemente reemplazados por aquellos de soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la capacidad de intercambio catiónico y usualmente se expresa en miliequivalentes por 100 g de suelo, cmol/kg de suelo o milimoles de carga por kg de suelo, o del material edáfico al que se le determinó.

### Importancia de la variable

La capacidad de intercambio de cationes y aniones es una de las características más importantes del suelo, ya que, independientemente de otras interpretaciones, determina la retención de la mayoría de los elementos requeridos para la nutrición vegetal y constituye gran parte de la capacidad reguladora del medio (Cortes y Malagón, 1984).

La CIC tiene gran influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Es un indicador de la fertilidad de los suelos, dado que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Interviene en los procesos de floculación y dispersión de la arcilla y, por consiguiente, en la estructura y estabilidad de los agregados.

El suelo no solamente retiene los elementos denominados mayores (N, P, K, Ca, S, Mg), sino los elementos menores o micronutrientes (Fe, B, Mn, Zn, Cl, Mo, Cu, Ni), necesarios para la nutrición de las plantas; además es un indicativo de la capacidad reguladora de los suelos (capacidad de evitar cambios bruscos en el pH del suelo o capacidad amortiguadora contra ellos).

Suelos con baja CIC pueden retener pocos cationes y, en consecuencia, requieren dosis más frecuentes de fertilizantes, que los suelos con alta CIC (Cortes y Malagón, 1984).

### Limitantes de la evaluación de la variable

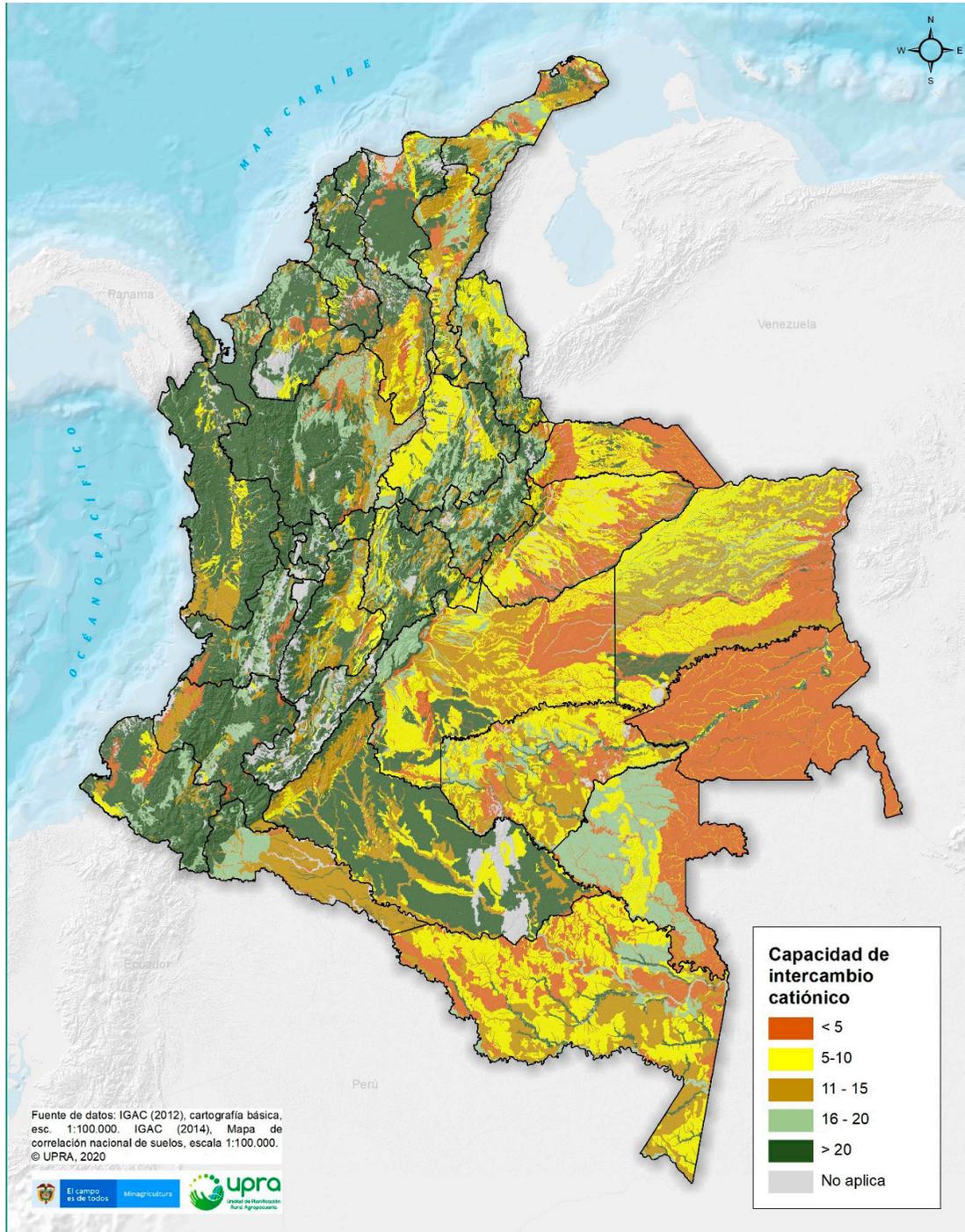
La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de la misma existen áreas de diversos tamaños que tienen saturaciones de diferente aptitud al componente calificado.

### Metodología de procesamiento de la información

La variable se obtuvo a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Es importante aclarar que los valores de CIC se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales.

Los límites de variación se conforman reagrupando los valores de la tabla de fertilidad en la metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines catastrales (IGAC, 2019).

Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Cortes A. y Malagón D. (1984). Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá: UJTL. 270 p.
- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- \_ . (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (201). Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito a escala 1:25.000. 71 p.
- Malagón D. (1995). Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Bogotá: IGAC. 423-427 p.

## 1.7. Criterio toxicidad por sales, sodio y aluminio

### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: toxicidad por sales, sodio y aluminio

### Variables asociadas al criterio:

Salinidad o sodicidad: salinidad expresada en dS/m y sodicidad expresada en porcentaje de saturación de sodio (PSI).

Saturación de aluminio: expresada en porcentaje de saturación (%).

### Definición

Presencia de elementos en el suelo en concentraciones mayores a las requeridas, que son tóxicos para las plantas, restringiendo el crecimiento y la producción, además de efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.

En el ámbito de los suelos colombianos, tiene gran importancia en suelos ácidos de clima húmedo la presencia de altas saturaciones de aluminio, y en suelos básicos, generalmente de climas secos, las altas concentraciones de sales y de sodio.

### Importancia del criterio

Restringe el uso de las tierras a plantas tolerantes y/o resistentes, además que incrementa los costos para la adecuación y manejo (enmiendas).

El sodio (Na), además de ser un elemento perjudicial para la estructura del suelo debido a su efecto dispersante, produce disminución del crecimiento de las raíces y necrosis en las hojas.

El aluminio (Al) es uno de los elementos que se encuentran en mayor concentración en el suelo, pero su disponibilidad para las plantas está por lo general en bajas concentraciones, salvo en suelos ácidos. En plantas susceptibles, se reduce el crecimiento de las raíces y tallos y las hojas pueden tomar un color púrpura (similar a la producida por deficiencia de fósforo, ya que afecta el metabolismo del fosfato), inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio.

Las sales aumentan el pH y afectan la absorción de otros elementos ( $K^+$ ,  $NO_3$ ,  $PO_4$ ) por la planta, aumentan la presión osmótica en la solución del suelo e inhiben la división celular.

### Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos, a escala 1:100.000, son asociaciones, donde para cada una de las variables que conforman el criterio se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad; esto significa que dentro de ésta existen áreas de diversos tamaños que tienen calificaciones distintas al componente calificado y que, por lo tanto, corresponden a aptitudes diferentes.

En cuando a los contenidos de sales y sodio, la base del mapa nacional de correlación de suelos, no en todos los casos presenta valores, en algunos se refiere a presencia o ausencia del mismo. En la concentración de aluminio, sí existe una correlación con los rangos propuestos y las calificaciones cualitativas.

### Metodología de procesamiento de la información

Las variables involucradas en el criterio de toxicidad por sales, sodio y aluminio se extractaron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).



### 1.7.1. Variable salinidad o sodicidad

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: toxicidad por sales, sodio y aluminio	
Variable: salinidad o sodicidad	Unidad de medida: salinidad (dS/m) y sodicidad (PSI)
Definición	

Alto contenido de sales solubles o de sodio intercambiable en el suelo. El contenido de sales se determina normalmente en términos de la conductividad eléctrica, pero puede expresarse con cantidad, como porcentaje de sales en el suelo, como también cantidad de aniones en la fracción de cambio. El Na se determina como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

La salinidad y la sodicidad pueden presentarse en forma natural o adquirida. En forma natural, se asocia con el fenómeno climático de aridez y con los materiales de origen ricos en sales como sucede con algunas rocas sedimentarias. En forma adquirida, se relaciona con riegos prolongados con aguas de altos contenidos de sales, así como también con aguas de buena calidad, pero mal manejadas en climas con regímenes de humedad ústico.

En suelos salinos, el catión Na es el que predomina en la solución del suelo, mientras que los cationes Ca y Mg, debido a su mayor fuerza de adsorción, ocupan la mayor proporción de los iones dentro de la doble capa difusa (forma intercambiable), (IGAC, 1979).

#### Importancia de la variable

Los contenidos altos de sales solubles o de Na intercambiable, elevan de forma considerable el pH del suelo, lo que a su vez afecta en forma significativa los rendimientos de los cultivos. El principal efecto perjudicial de las sales es la alta presión osmótica que se desarrolla en la solución del suelo (IGAC, 1979).

En regiones donde se requiere de riego complementario el suelo sea susceptible a la salinización. Los altos contenidos de sales o de Na tienen los siguientes efectos en el desarrollo de las plantas:

- La salinidad influye en los valores del pH y, por tanto, afecta la disponibilidad de nutrientes.
- Afecta el ritmo de absorción de  $K^+$ , nitrato ( $NO_3$ ), fósforo ( $PO_4$ ) y  $Ca^{++}$
- Afecta la translocación y el reciclado de iones en la planta.
- Las raíces no se desarrollan adecuadamente: profundizan menos y hay menos ramificaciones.
- No hay división y crecimiento celular y, por tanto, las plantas crecen menos.

### Limitantes de la evaluación de la variable

La principal dificultad para evaluar esta variable es la falta de información; en los estudios generales de suelos a escala: 1:100.000, en algunos casos, solamente aparece la presencia o no presencia de sales.

Las sales no se presentan de manera uniforme: varía tanto de forma horizontal como vertical y también en el transcurso del año. La presencia se evidencia en forma de manchas y costras (las sales se presentan como afloramientos de costras blancas, mientras que el sodio, en costras negras, debido a la dispersión de la materia orgánica). Estas características dificultan la toma de información por parte de los edafólogos en el campo para realizar su respectivo mapeo.

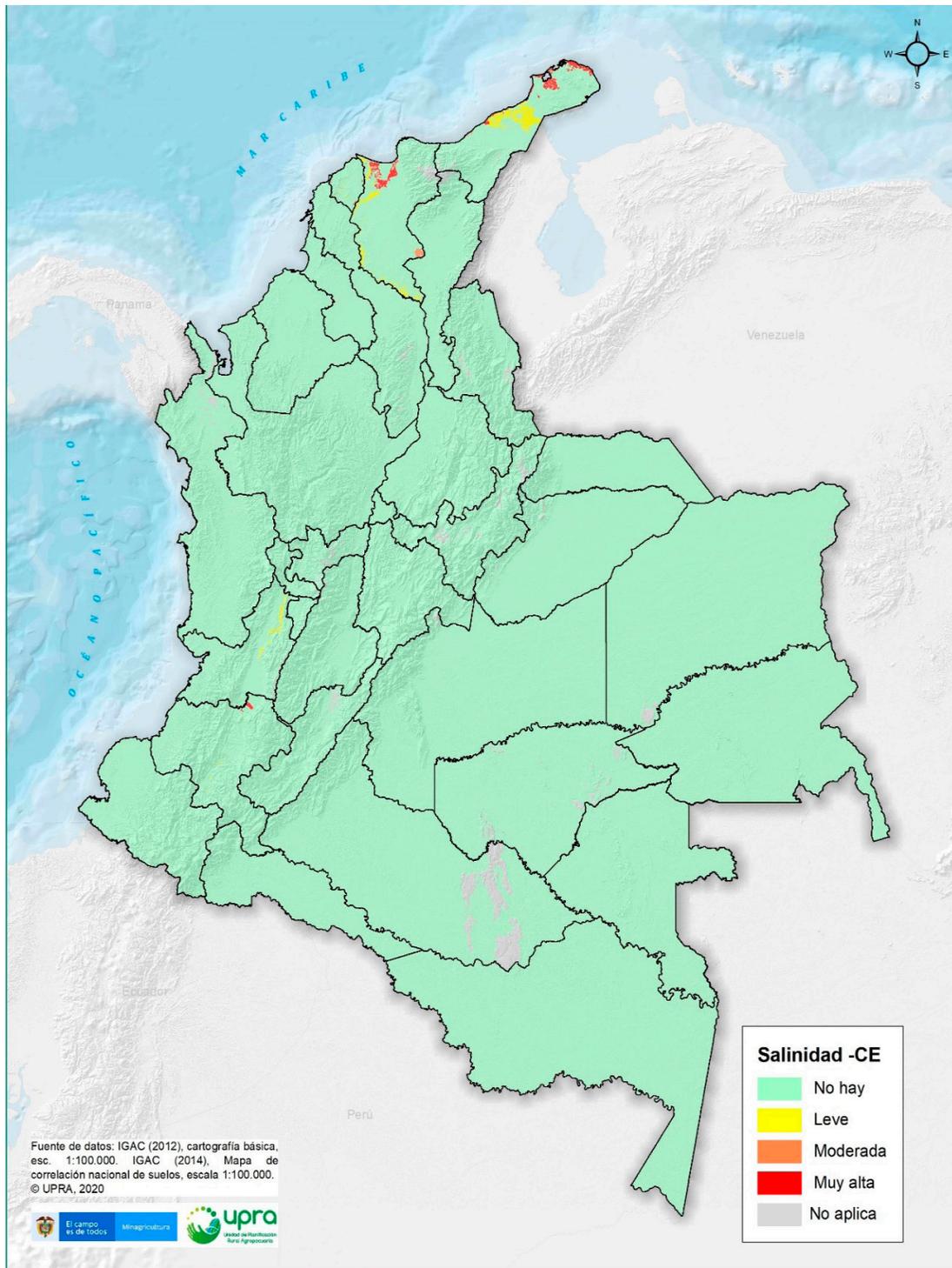
### Metodología de procesamiento de la información

La información de los suelos salinos o no salinos y sódicos o no sódicos se obtuvieron a partir de la base del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). La calificación de salino o no salino y de sódico o no sódico se le dio al mayor componente taxonómico dentro de la unidad cartográfica de suelos. Las unidades cartográficas que no tenían información se infirieron, correlacionando otras variables, como clima y la nemotecnia que ofrecen los nombres taxonómicos.

Los límites de variación se construyen a partir de la tabla de fertilidad en la metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito (IGAC, 2019)



Representación cartográfica de las variables



### Fuentes de información

- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- \_ . (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2019). Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito. Bogotá: IGAC.

### 1.7.2. Variable saturación de aluminio

Ficha metodológica de variable	
Componente: Físico. Subcomponente: Edáfico	
Criterio asociado: toxicidad por sales, sodio y aluminio	
Variable: saturación de aluminio	Unidad de medida: porcentaje (%)
Definición	

Es la proporción de  $Al^{+++}$  en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se debe a los iones  $Al^{+++}$  e  $H^+$  intercambiables (desplazables) con una sal neutra (KCl); también incluye pequeñas cantidades de hierro, manganeso y zinc intercambiables (Garavito, 1979).

### Importancia de la variable

La saturación de aluminio del suelo (SAI) hace referencia a la acidez debida al ion aluminio ( $Al^{+++}$ ), que es abundante en suelos ácidos con pH menor de 5,5, el cual afecta el desarrollo de las plantas: inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio.

Se ha establecido que, cuando se encuentra menos de 1 ppm de  $Al^{+++}$  en la solución del suelo, la saturación es menor de 60 % y no hay efecto tóxico en las plantas de tolerancia moderada a Al; cuando es mayor de 60 %, la concentración de Al en la solución del suelo aumenta rápidamente (Cortes y Malagón, 1984).

Limita la degradación microbiana de la materia orgánica, inhibe el crecimiento de las raíces y como consecuencia, reduce la toma de agua y de nutrientes, afectando la productividad. La disminución en la disponibilidad del fósforo es muy importante por ser un elemento esencial en el suministro de energía para las plantas y responsable del buen desarrollo de raíces.

Para poder utilizar suelos con altos niveles de  $Al^{+++}$  intercambiable es necesario aplicar altas dosis de enmiendas alcalinas, para elevar el pH a niveles no tóxicos, o utilizar plantas que sean tolerantes a la acidez (Cortes y Malagón, 1984).

### Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a la escala 1:100.000 son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la misma; esto significa que dentro de ésta existen áreas de diferentes tamaños que tienen contenidos de aluminio distintos al componente calificado, los cuales pueden o no ser restrictivos para los cultivos.

### Metodología de procesamiento de la información

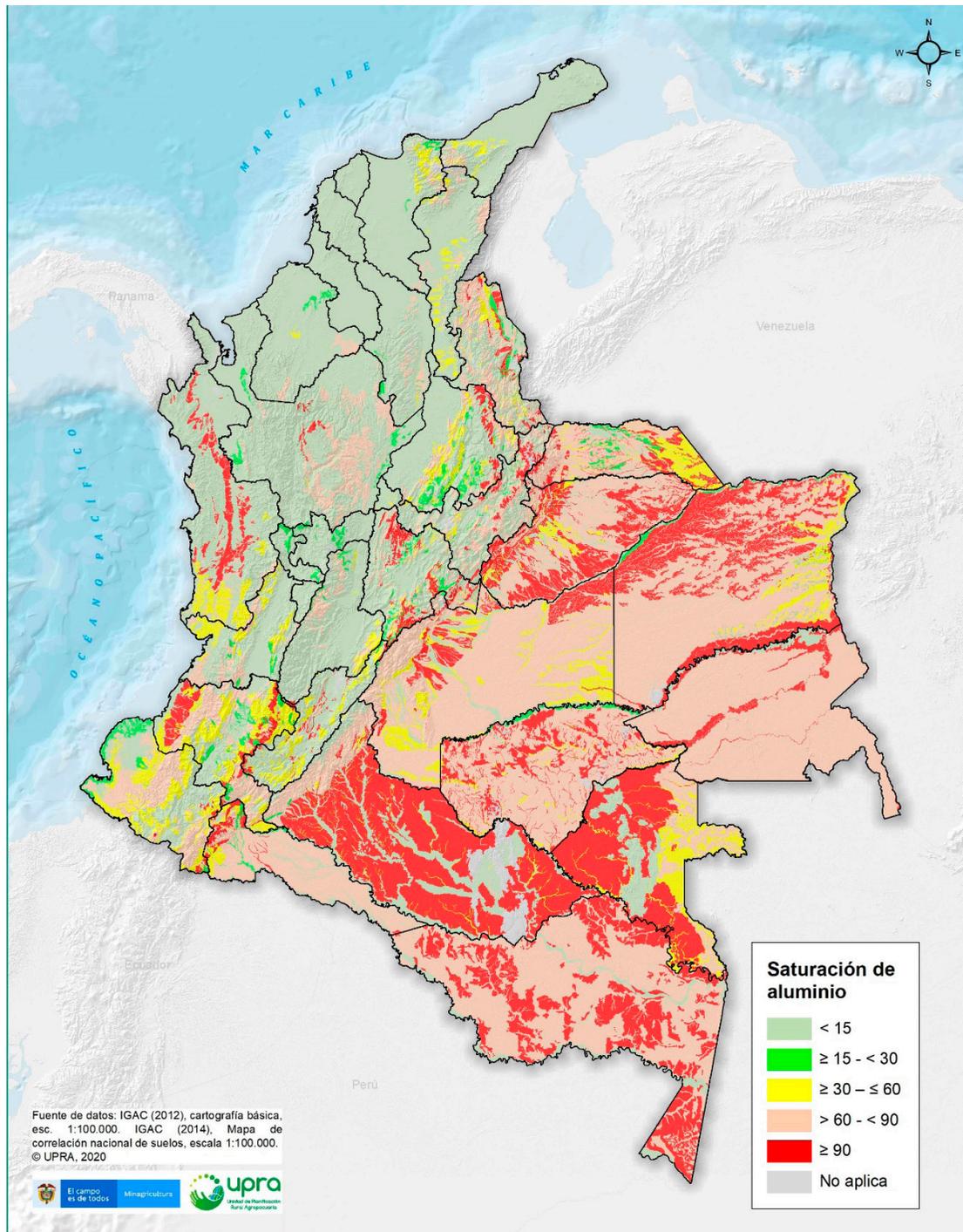
La calificación de aptitud de los diferentes contenidos de aluminio (Al+++) se obtuvo a partir de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Los rangos se obtienen de la metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con multipropósito (IGAC, 2019).

La calificación para obtener estos rangos se hace a partir del mayor componente taxonómico dentro de la unidad cartográfica de suelos. Las unidades cartográficas que no tenían información se infirieron, correlacionando otras variables, como pH, clima y la nemotecnia que ofrecen los nombres taxonómicos.



Representación cartográfica de la variable



### Fuentes de información

- Cortes A. y Malagón D. (1984). Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá: UJTL. 360 p.
- Garavito F. (1979). Propiedades químicas de los suelos. Bogotá: IGAC. 128-130 p.
- IGAC. (2010). Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos). Bogotá: IGAC. 119 p.
- \_ . (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito. Bogotá: IGAC.

## 1.8. Criterio susceptibilidad a la pérdida de suelos

### Ficha metodológica de criterio

Componente: físico. Subcomponente: edáfico

Criterio: susceptibilidad a la pérdida de suelos

### Definición

Grado o nivel de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos. Aunque suele ser un proceso natural, puede incrementarse con el uso y manejo inadecuado originando una disminución de la productividad (FAO, 1976; FAO, 1991).

### Variables asociadas al criterio:

Las variables asociadas al criterio no se califican en forma independiente para establecer rangos por separado, sino que se genera un mapa por combinación entre ellas.

- Fases por grados de erosión: desgaste actual de la superficie de la tierra por el desprendimiento y transporte del suelo y de los materiales de roca a través de la acción del agua en movimiento, viento u otros agentes geológicos (USDA, 1961).
- Degradación de suelos por erosión: Pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por los seres humanos, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales (Ideam, 2015).
- Pendiente: Grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (Soil science society of America, 2018).
- Amenaza por movimientos en masa: Peligro latente de movimientos en masa de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de modo accidental, en función de probabilidad de ocurrencia espacial y temporal (Servicio Geológico Colombiano -SGC, 2016).

### Limitantes para la evaluación del criterio

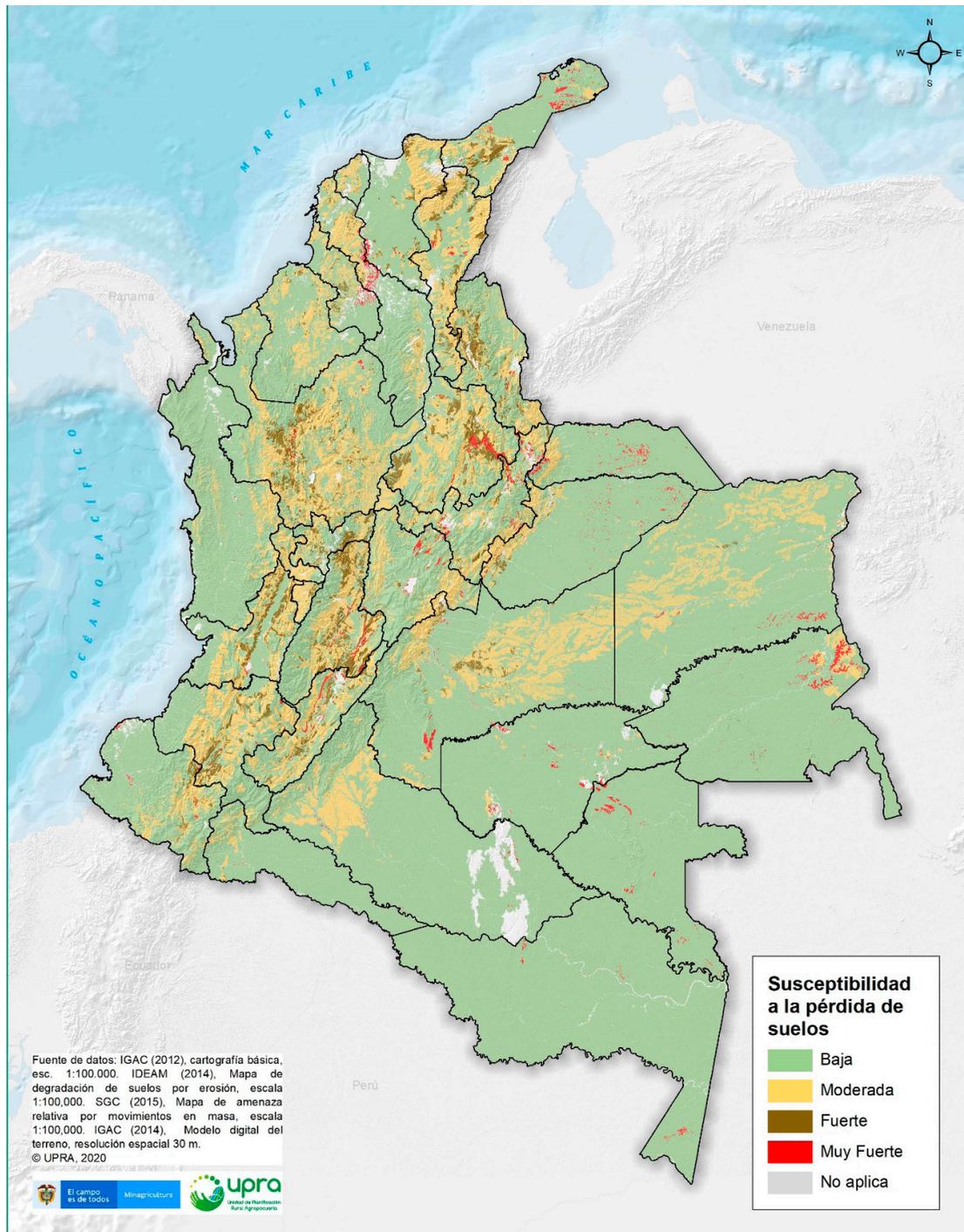
La representación cartográfica está regida por las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000, las cuales contienen las fases por erosión, ya que las otras variables consisten en polígonos de mayor tamaño que no permiten precisión en la delimitación del proceso de pérdida de los suelos.

### Metodología de procesamiento de la información

El criterio de susceptibilidad a la pérdida de suelo se estableció, mediante la combinación de las fases cartográficas por erosión, del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), el mapa de degradación de suelos por erosión (Ideam, 2015), el modelo digital de pendiente (MDT) en porcentaje (%) a partir del SRTM de 30 metros y el mapa de amenazas por movimientos en masa (SGC, 2016)



Representación cartográfica del criterio



### Fuentes de información

- FAO. (1976). FAO, Editor, & FAO, Producer. Retrieved mayo 18, 2016. Recuperado de: <http://www.fao.org/>: <http://www.fao.org/nr/land/land-policy-and-planning/eval/es>.
- FAO. (1991). Guidelines: land evaluation for extensive grazing. FAO Soils, Bulletin 58. Rome, Italy.
- Ideam. (2015). Degradación de suelos por erosión. Bogotá: Ideam.
- IGAC. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000. Bogotá: IGAC.
- \_ . (2014). Mapa de correlación nacional de suelos. Bogotá: IGAC.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). Amenaza de movimientos en masa. Bogotá: SGC.
- USDA. (1961) Land-Capability Classification. Agriculture Handbook no. 210. EUA: Soil Conservation Service USDA.
- Soil Science Society of America. (2018). Soils sustain life. Recuperado de: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary#>.



Metodología para el cálculo de la  
• unidad agrícola familiar •  
en Colombia

