ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y PLAN DE MANEJO TÉCNICO AMBIENTAL DE LOS PREDIOS SAN JORGE UNO Y SAN JORGE TRES EN LA VEREDA LA CANDELARIA DEL MUNICIPIO DE SASAIMA – CUNDINAMARCA.

CONVENIO MARCO INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS Y LA SECRETARÍA DE AMBIENTE DE CUNDINAMARCA

DIEGO EDISON GONZÁLEZ PULIDO
OSCAR DAVID MORENO CASTIBLANCO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2018

ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y PLAN DE MANEJO TÉCNICO AMBIENTAL DE LOS PREDIOS SAN JORGE UNO Y SAN JORGE TRES EN LA VEREDA LA CANDELARIA DEL MUNICIPIO DE SASAIMA – CUNDINAMARCA.

DIEGO EDISON GONZÁLEZ PULIDO
OSCAR DAVID MORENO CASTIBLANCO

Trabajo de Grado en la Modalidad de Monografía, presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental

DIRECTOR
HENRY ZÚÑIGA PALMA
MSC. SANEAMIENTO Y DESARROLLO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2018

Anexo 1

1. Caracterización Territorial

1.1. Sistema Natural

1.1.1. Componente Geológico

Este componente debe identificar de forma clara las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio (Zuñiga Palma, 2000),definidas por Montoya Arenas & Torres Reyes, (2005) adicionalmente se deben identificar el tipo de roca que se presenta como material parental de manera que para lograrlo que realiza la interpolación de las alturas de acuerdo con los espesores determinados (Ulloa Melo, Rodríguez, Acosta, & Martínez, 1998) en la columna estratigráfica de cada una de las formaciones; adicionalmente esta información debe ser corroborada con el estudio de suelos (Avila P., 2000), de tal forma que se pueda identificar con claridad el tipo de roca presente en la zona.

Una vez identificada la altura a la que se encuentra el tipo de roca de la zona de estudio se debe identificar si descendiendo por la columna estratigráfica se encuentran elementos que puedan ser explotados como minerales (Zuñiga Palma, 2000), adicionalmente para comprobar la presencia de dichos minerales se deben localizar las concesiones mineras próximas para verificar la posible oferta minero – energética.

Por último, se debe plasmar en el mapa temático la presencia de cualquier tipo de fallas, y/o plegamientos. (Zuñiga Palma, 2000)

1.1.2. Componente Climatológico

Para el componente climatológico se deben identificar las estaciones meteorológicas (Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), n.d.) más próximas al área de estudio, que se encuentren en la misma cuenca hidrográfica, una vez

seleccionadas se debe realizar el tratamiento de los datos de manera que se puedan hallar los valores faltantes (Te Chow, Maidment, Mays, & Saldarriaga, 1996) con base en las relaciones multianuales de las otras estaciones.

Una vez realizado el tratamiento de los datos, se deben hallar las isoyetas y las isotermas, para posteriormente determinar las zonas de vida de Holdrige (Jiménez S., 1982). una vez determinada la zona de vida se debe contrastar con la vegetación presente en la zona para verificar los datos obtenidos (Zuñiga Palma, 2000).

1.1.3. Componente Geomorfológico.

En el Componente Geomorfológico se deben presentar las unidades de cada paisaje geomorfológico presentado en el estudio de suelos (Arévalo A., Castro M., Mendivelso L., & Rodríguez s., 2000); posteriormente se debe verificar la información con las visitas de campo (Zuñiga Palma, 2000).

1.1.4. Componente Topográfico

Este componente corresponde con la presentación de las curvas de nivel presentadas por las cartas topográficas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2015) de acuerdo con la escala de trabajo, así mismo se deben verificar las curvas de nivel, mediante el modelo de elevación digital (DEM por sus Siglas en Ingles) proporcionado por la NASA, posteriormente mediante la aplicación del software ArcGIS se debe realizar una nueva interpolación teniendo en cuenta puntos de elevación aleatorios determinados por el DEM, las curvas de nivel de la carta topográfica así como también la presencia de ríos, lagos, manantiales, etc.; una vez realizada la interpolación, se hallan las nuevas curvas de nivel corregidas.

Con estas nuevas curvas de nivel se realiza la interpolación para hallar las pendientes complejas de acuerdo con la metodología de (Zuñiga Palma, 2010a) la cual se realiza mediante la utilización de 2 grillas de 4 cm de longitud en papel de tal forma que la primera supere en 4 cm cada lado del área de estudio, y la segunda grilla tenga un desplazamiento de 2 cm a lo largo y ancho, de tal forma que en cada cuadrante de la primera grilla quede dividido

en 4 partes por la segunda grilla; adicionalmente en el centro de la primera grilla se deben definir los puntos base para la interpolación; a continuación se debe contar la cantidad de veces que las diferentes curvas de nivel cortan secantemente la 2 grilla, para de esta forma aplicar la Ecuación 1: Pendiente Media:

Ecuación 1: Pendiente Media

$$P = \frac{\frac{\mathrm{I} * \mathrm{i}}{4} * 100}{\mathrm{E}}$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2010a)

En donde P es igual a la pendiente media del cuadrante, I es el número de cortes secantes entre las curvas de nivel y la segunda grilla, i es la distancia entre curvas de nivel en metros y E es la escala de trabajo en metros.

Una vez hallada la pendiente media de cada cuadrante se hallan las isolíneas de igual pendiente (Zuñiga Palma, 2000).

1.1.5. Componente edafológico

El componente edafológico debe presentar la información concerniente a la unidad de suelos (Ávila P., 2000), de la cual se deben extraer la asociación de suelos, la profundidad efectiva, la clase agrologica, y la fertilidad de cada asociación de suelos (Instituto Geografico Agustín Codazzi, 2000).

Para el cálculo de la fertilidad del suelo se deben tener en cuenta las propiedades físicas y químicas del suelo, en los horizontes A, de acuerdo con la metodología propuesta por el IGAC (1979), citado por Guerra Velázquez & Peña Morales, (2016) la cual consiste en la valoración de diversos parámetros como se muestra en la Tabla 1: Calculo de la fertilidad

Tabla 1: Calculo de la fertilidad

Parámetro	Indicadores	Horizonte 1
pH	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Capacidad de intercambio Catiónico	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Bases Totales	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Saturación de Bases	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Carbono Orgánico (%)	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Nitrógeno Total (%)	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Fósforo (PPM)	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Fertilidad	Valor	
	Rango	
	Puntuación	
Fertilidad	Promedio	
Calificación		

Fuente: (Guerra Velázquez & Peña Morales, 2016) adaptado por autores.

La cual es llenada de acuerdo a los valores obtenidos de la tabla de propiedades químicas de los perfiles del suelo, contenida en el anexo 4 del Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca, (Instituto Geografico Agustín Codazzi, 2000)**;** de acuerdo con dichos valores se le asigna la calificación de acuerdo con la Tabla 2: Calificación de los parámetros que influencian la fertilidad del suelo., en donde de acuerdo al valor se interpola la calificación.

Tabla 2: Calificación de los parámetros que influencian la fertilidad del suelo.

pH	**Determinación**	4,0 - 5,0	5,0 - 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 7,5	> 7,5
	Apreciación	Muy acido	Acido	ligeramente acido	Neutro	Alcalino
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 15	15	de 15 a - 5
Capacidad de intercambio Catiónico	**Determinación**	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	> 30
	Apreciación	Muy Baja	Baja	Mediana	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 10	de 10 a 20	20
Bases Totales (meq/100g)	**Determinación**	0 - 1	1 - 5	5 - 10	10 - 30	> 30
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Regular	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 10	de 10 a 20	20
Saturación de Bases	**Determinación**	0 -5	5 - 10	10 - 30	30 - 60	> 60
	Apreciación	Muy Baja	Baja	Mediana	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 10	de 10 a 20	20
Carbono Orgánico (%)	**Determinación**	0 - 1	1 - 1,15	1,15 - 2,5	2,5 - 4	> 4
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Normal	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -3 a 1	de 1 a 3	de 3 a 5	5	5
Nitrógeno Total (%)	**Determinación**	0 - 0,1	0,1 - 0,15	0,15 - 0,25	0,25 - 0,30	>0,30
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Normal	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 15	15	15
Fósforo (PPM)	**Determinación**	0 - 7,6	7,6 - 15,1	15,1 - 31,1	31,1	> 31,1
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Regular	Alta	Muy Alta
	puntuación	de -5 a 1	de 1 a 5	de 5 a 15	15	15
Fertilidad	**Apreciación**	-5 a 2	de 3 a 5	de 6 a 8	de 9 a 10	> 10
	puntuación	Muy Baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta

Fuente: (IGAC, 1979)

Para el cálculo del porcentaje de saturación de bases es necesario realizar la sumatoria de las bases de calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), y Sodio (Na) para posteriormente dividirla entre la capacidad de intercambio catiónico (CICA) como se muestra en la Ecuación 2: Porcentaje de Saturación de bases Definida por Pulido R. et al. (2000)

Ecuación 2: Porcentaje de Saturación de bases

$$\%\ Saturación\ de\ Bases = \frac{Ca + Mg + K + Na\ \left(\frac{meq}{100\ g}\right)}{CICA\ \left(\frac{meq}{100\ g}\right)} * 100$$

Por último, se realiza el promedio de las calificaciones de cada uno de los parámetros para así obtener la puntuación de la fertilidad del suelo.

1.1.6. Componente hidrológico:

Para el componente hidrológico se presentaron los cuerpos hídricos de acuerdo con la cartografía oficial (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2015), así mismo se realiza la identificación de las microcuencas de cada uno de los cuerpos hídricos que se encuentran en el área de estudio, de esta manera se define la gran cuenca y la cuenca a la que pertenecen, de acuerdo con la zonificación hidrográfica de Colombia (IDEAM, 2013)

1.1.7. Vegetación natural:

La cobertura vegetal del predio se estima mediante la utilización de las imágenes satelitales tomadas del software Google Earth, para luego ser procesadas mediante ArcGIS para determinar las coberturas; esta información se contrasta con la zonificación realizada por la Unidad Regional de Planificación Agropecuaria (URPA) de Cundinamarca.

1.1.8. Amenazas Naturales

Dentro del Ordenamiento del territorio se es indispensable el análisis de las posibles amenazas naturales a las que es susceptible el territorio (Zuñiga Palma, 2000), como lo son la inundabilidad (Zuñiga Palma, 2000), la erosionabilidad del suelo (Zuñiga Palma, 2010b), la inestabilidad del suelo (Zuñiga Palma, 2011b) y del subsuelo (Zuñiga Palma, 2011a); las cuales se han definido mediante la implementación de procedimientos heurísticos (Zuñiga Palma, 2017), los cuales permiten satisfacer las necesidades de un resultado adecuado más no el más óptimo para la identificación de las áreas afectadas, de esta manera se interrelacionan los componentes: climatológico, topográfico, geomorfológico y edáfico para obtener cada una de las amenazas anteriormente señaladas (Zuñiga Palma, 2000).

De acuerdo a la formulación de un modelo heurístico basado en la experiencia del desarrollo de la ingeniería y con sustento en la conceptualización de las interrelaciones que existen entre los componentes del sistema natural y la capacidad de diseño de modelos que las representen (Zuñiga Palma, 2017); por lo tanto, cada amenaza será definida mediante la descripción del problema, la formulación del procedimiento y la descripción del procedimiento.

1.1.8.1. Descripción del problema

Corresponde con la identificación de la situación incógnita a la que se desea dar solución, así como también la identificación del conjunto de variables que se van a tener en cuenta para lograr dar solución a la circunstancia en cuestión.

Tabla 3: Modelo de diagrama de correlación de variables para el cálculo de amenazas naturales.

X1	X2	X3	X4
A	A’	A’’	A’’’
B	B’	B’’	B’’’
…	…	…	…
Z	Z’	Z’’	Z’’’

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.8.2. Formulación del procedimiento

Es el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática para correlacionar cada uno de los factores técnicos a tener en cuenta, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 3: Interrelación de factores técnicos

$$X1\ n\ X2\ n\ X3\ n\ \dots n\ Xi = Amenaza$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores

De esta forma de acuerdo con las características de cada una de las variables se podrá determinar las zonas homogéneas que den lugar a los indicadores que serán valorados escalarmente como se muestra en la Tabla 4: Modelo de selección y determinación de variables, indicadores y valores para el cálculo de las amenazas naturales.

Tabla 4: Modelo de selección y determinación de variables, indicadores y valores para el cálculo de las amenazas naturales

X1	**Clasificación**	**Valor**	**X2**	**Clasificación**	**Valor**	**X3**	**Clasificación**	**Valor**
A	Muy alta (MA)	n	A’	Muy alta (MA)	n	A’’	Muy alta (MA)	n
B	Alta (A)	n-1	B’	Alta (A)	n-1	B’’	Alta (A)	n-1
…	…	…	…	…	…	…	…	…
Z	Baja (B)	1	Z’	Baja (B)	1	Z’’	Baja (B)	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores

1.1.8.3. Descripción del procedimiento

Debido a que cada variable se encuentra distribuida espacialmente, se debe clasificar de acuerdo con los indicadores anteriormente definidos, de tal manera que se pueda realizar la superposición e intercepción de todas las variables, y de esta manera identificar las zonas homogéneas que darán solución a la expresión matemática que da solución al problema planteado.

Por otro lado, gracias a la intercepción y aplicación de la expresión matemática se obtiene como resultado una variable continua que debe ser clasificada escalarmente como se muestra a continuación:

Ecuación 4: Determinación de la amplitud del intervalo

$$Valor\ Maximo\ (VM) = \ n * n * n * \dots * n$$

$$Valor\ Minimo\ (Vm) = \ 1 * 1 * 1 * \dots * 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo\ = \frac{VM - Vm}{4}$$

Fuente: (Di Rienzo et al., 2008) adaptado por Autores.

Así generando cuatro indicadores de la amenaza, que van desde baja a muy alta, en donde los indicadores serán utilizados para generar el nuevo mapa de amenaza.

1.1.8.4. Inundabilidad

1.1.8.4.1. Descripción del problema

En el área de estudio se pueden presentar sectores con problemas de inundación debido a la presencia de cuerpos hídricos al interior y aledaños a la zona de estudio (Zuñiga Palma, 2000).

Dicha amenaza por inundabilidad del suelo por desborde es causada por distintos factores como lo son la capacidad de intercambio catiónico, la pendiente transversal, el relieve, y la precipitación (Zuñiga Palma, 2017) presente en el área de estudio, por lo tanto,

es necesario la identificación de las áreas susceptibles a presentar esta amenaza y la gravedad de la misma.

1.1.8.4.2. Presentación del problema

La inundabilidad del suelo por desborde es el resultado de la actuación de variables como la capacidad de intercambio catiónico (CICA), la pendiente transversal (Pt), el relieve (R), y la precipitación(Pr), los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 5: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la inundabilidad.

Tabla 5: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la inundabilidad

CICA	Pendiente Trasversal	Relieve	Precipitación
> 60 meq/100 g	0 – 3 %	Escarpes, Coluvios, Crestas	0 mm/año - >3000 mm/ año
20 -60 meq/100 g	3 – 5 %	Morrenas, coladas, glacis coluvial	
10 – 20 meq/100 g	5 – 7 %	Abanicos, conos	
< 10 meq/100 g	7 – 10 %	Otros relieves	

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.8.4.3. Formulación del procedimiento

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la capacidad de intercambio catiónico, la pendiente transversal, el relieve, y la precipitación que se presenta en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que facilitan la aplicación de la expresión.

Ecuación 5:Cálculo de la inundabilidad

$$CICA\ n\ Pt\ n\ R\ n\ Pr = Inundabilidad$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.8.4.3.1. Capacidad de Intercambio Catiónico

La CICA es una de las propiedades químicas del suelo que se relaciona directamente con las texturas de los suelos de manera que valores de CICA <10 meq / 100g se señalan para los suelos arenosos, registros de 10 a 20 meq /100g para suelos francos, cifras de 20 a 48 meq / 100g para suelos arcillosos y > 48 meq / 100g para suelos con elevados contenidos de materia orgánica. Por lo tanto, se define que a mayores valores de CICA existe una mayor probabilidad de que el suelo pueda ser inundado.

Tabla 6: Calificación de intervalos de la CICA

CICA	Calificación
> 60 meq/100 g	Muy Alta
20 -60 meq/100 g	Alta
10 – 20 meq/100 g	Media
< 10 meq/100 g	Baja

Fuente: Autores.

1.1.8.4.3.2. Pendiente Transversal

La pendiente transversal corresponde a la pendiente generada de forma perpendicular al eje del elemento a examinar, de esta manera para este caso correspondería al eje de los cuerpos hídricos (Zuñiga Palma, 2000) presentes en el área de estudio, debido a esto los terrenos aledaños a los cuerpos de agua y con pendiente del 3% son las más susceptibles a inundarse por las crecientes, situación que continúa afectando en menor grado a los suelos con inclinaciones laterales del 5%, el 7% y el 10%. Dichos porcentajes a su vez, se pueden interpretar como indicadores de posibilidades de supervivencia de personas, como si estas permaneciesen en edificaciones de 2, 3 y 4 pisos de altura, en el momento de un evento de avalancha (Zuñiga Palma, 2017).

Tabla 7: Calificación de intervalos de la pendiente Transversal

Pendiente Transversal	Calificación
0 – 3 %	Muy Alta
3 – 5 %	Alta
5 – 7 %	Media
7 – 10 %	Baja

Fuente: Autores.

1.1.8.4.3.3. *Relieve*

Debido a la presencia del área de trabajo en la cordillera oriental en este trabajo se va a optar por la siguiente clasificación de acuerdo con los paisajes geomorfológicos presentes en el departamento de Cundinamarca

Tabla 8: Calificación de intervalos del relieve.

Relieve	Clasificación
Paisaje de Planicie y/o Valle	Muy Alta
Paisaje de Piedemonte	Alta
Paisaje de Lomerío	Media
Paisaje de Montaña	Baja

Fuente: Autores.

1.1.8.4.3.4. *Precipitación*

Gracias a la gran variabilidad de la pluviosidad a lo largo del espacio nacional se decide generar 4 rangos de acuerdo a la calificación de suficiencia (Zuñiga Palma, 2017).

Tabla 9: Calificación de intervalos de la pluviosidad

Pluviosidad (mm/año)	Suficiencia
0 – 500	Insuficiente
500 – 1000	Suficiente
1000 – 2000	Abundante
>2000	Excesiva

Fuente: Autores.

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología como se muestra en la Tabla 10: Selección y Determinación de Variables, Indicadores y Valores para el cálculo de la Inundabilidad.

Tabla 10: Selección y Determinación de Variables, Indicadores y Valores para el cálculo de la Inundabilidad

CICA (meq/100 g)	Calificación	Valor	Pendiente transversal	Clase	Valor
> 60	Muy Alta	4	0 – 3 %	Muy Alta	4
20 -60	Alta	3	3 – 5 %	Alta	3
10 – 20	Media	2	5 – 7 %	Media	2
< 10	Baja	1	7 – 10 %	Baja	1

Precipitación	Clase	Valor	Relieve	Clase	Valor
0 – 500	Insuficiente	1	Paisaje de Planicie y/o Valle	Muy Alta	4
500 – 1000	Suficiente	2	Paisaje de Piedemonte	Alta	3
1000 – 2000	Abundante	3	Paisaje de Lomerío	Media	2
>2000	Excesiva	4	Paisaje de Montaña	Baja	1

Fuente: Autores.

1.1.8.4.4. Descripción del Procedimiento

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la inundabilidad del área de trabajo (Zuñiga Palma, 2017).

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la inundabilidad de manera que se obtiene un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos (Zuñiga Palma, 2017).

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo y se determinan los rangos de la siguiente forma:

Ecuación 6: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la inundabilidad

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 4 * 4\ =\ 256$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalos = \frac{256 - 1}{4} = 63.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 11: Intervalos de clasificación de la probabilidad de inundación

Intervalos	Rango	Inundabilidad
1	1 – 64.75	Baja probabilidad de Inundabilidad
2	44.75 – 128.5	Media probabilidad de Inundabilidad
3	128.5 – 192.25	Alta probabilidad de Inundabilidad
4	192.25 - 256	Muy Alta probabilidad de Inundabilidad

Fuente: Autores.

Para finalizar se plasman los valores en la nueva cartografía temática (Zuñiga Palma, 2000)

1.1.8.5. Erosionabilidad del Suelo

1.1.8.5.1. Descripción del problema:

La erosionabilidad del suelo o pérdida de la capa arable del suelo es producto de la confluencia de diversas características intrínsecas del suelo, como lo son la textura, el porcentaje de materia orgánica, la estructura del suelo, y la permeabilidad del suelo (Zuñiga Palma, 2010b); y por lo tanto es menester su delimitación y la estimación de su gravedad.

1.1.8.5.2. Presentación del problema

La erosionabilidad del suelo es el resultado de la actuación de variables como la textura (M) (Pulido R. et al., 2000; Zuñiga Palma, 2010b), la materia orgánica (MO) (Eyherabide, Saínz Rozas, Barbieri, & Eduardo Echeverría, 2014), la estructura (Díez Hernández, 2007; Zuñiga Palma, 2010b) del suelo (b) y la permeabilidad (c) (Zuñiga Palma, 2010b) de los horizontes del suelo, los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 12: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la erosionabilidad.

Tabla 12: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la erosionabilidad

Textura	% de Materia Orgánica	Estructura del suelo	Permeabilidad del suelo
Ecuación 7: Factor de Textura $\boldsymbol{M = (\%L + \%Af) * (100\% - \%Ar)}$ M = Factor de Textura L = Limos Af = Arenas finas	***Ecuación 8: Materia orgánica*** $\%MO = \%CO * 1.724$	Granular muy fina	Desde $k > 10^{-1}$hasta $k < 10^{-6}$
		Granular fina	
		Granular media y gruesa	
		Blocosa	

Ar = Arcillas			

Fuente: Autores.

1.1.8.5.3. Formulación del procedimiento

En el diseño de la expresión matemática defina por Wischmeier & Smith (1978) citado por Gutiérrez Alarcón (2004) y (Ramírez, 2010) se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática en la que se correlaciona la textura (M) (Pulido R. et al., 2000), la materia orgánica (MO) (Eyherabide et al., 2014), la estructura (b) (Díez Hernández, 2007) del suelo y la permeabilidad (c) (Zuñiga Palma, 2010b) de los horizontes del suelo, los cuales se presentan en todos los tipos de suelos, determinando el factor de erosionabilidad K

Ecuación 9: Factor de erosionabilidad k

$$100k = 1.292[2.1 * 10^{-4}(M)^{1.14} * (12 - \%MO) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)]$$

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978) citado por (Gutiérrez Alarcón, 2004; Ramírez, 2010).

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.8.5.3.1. <u>Tipo de Textura</u>

Teniendo en cuenta las asociaciones de suelos, se abordan las texturas de los suelos en todos sus perfiles. Son importantes las texturas gravosas – gravillosa, la arenosa, la limosa y la arcillosa.

En donde el valor es definido por la Ecuación 7: Factor de Textura. En donde los valores son obtenidos de la tabla de propiedades químicas de los suelos perteneciente al estudio general de suelos del Departamento de Cundinamarca (Instituto Geografico Agustín Codazzi, 2000)

1.1.8.5.3.2. <u>Materia Orgánica</u>

De la materia orgánica se consideran valores de muy alto a bajo contenido en los horizontes A del suelo. El valor de la materia orgánica se encuentra dado por la Ecuación 8: Materia orgánica: %MO=%CO*1.724, en donde el porcentaje de carbono orgánico se encuentra en la tabla de propiedades químicas de los suelos (Instituto Geografico Agustín

Codazzi, 2000) y el coeficiente corresponde al factor propuesto por Van Bemmelen (Eyherabide et al., 2014)**.**

1.1.8.5.3.3. *Estructura del suelo:*

Se traen a cuenta las estructuras del suelo de acuerdo con la granulometría (Díez Hernández, 2007; Zuñiga Palma, 2010b) lo cual permite generar cuatro rangos de la siguiente manera

Tabla 13: Calificación de intervalos de la estructura del suelo de acuerdo a su granulometría.

Estructura del suelo	Calificación
Granular muy fina (< 1 mm)	1
Granular fina (1 – 2 mm)	2
Granular media a gruesa (2 – 10 mm)	3
Blocosa, laminar o maciza (> 10 mm)	4

Fuente: (Díez Hernández, 2007)

1.1.8.5.3.4. *Permeabilidad del perfil*

La permeabilidad del perfil está dada por la aplicación de la fórmula de Darcy (Zuñiga Palma, 2010b), la cual permite el cálculo de la permeabilidad horizontal (k_h) y vertical (k_v) para posteriormente relacionarlas y obtener el factor K de permeabilidad (k_m).

Ecuación 10: Permeabilidad horizontal

$$k_h = \frac{\sum ki * bi}{\sum bi}$$

Ecuación 11: Permeabilidad Vertical

$$k_v = \frac{\sum bi}{\sum bi/ki}$$

Ecuación 12: Factor k de permeabilidad

$$k_m = \sqrt{k_h * k_v}$$

En donde b_i corresponde al espesor de cada capa y k_i a la permeabilidad de cada capa o estrato, determinada de acuerdo a la Ilustración 1: Tipo de Permeabilidad del suelo según texturas definida por (Velez,2004) citada por (Zuñiga Palma, 2010b).

Ilustración 1: Tipo de Permeabilidad del suelo según texturas

Permeabilidad relativa	Permeabilidad						Semi-Permeable			Impermeable					
Arena o grava no consolidad	Grava continua (o redondeada)			Arena continua o mixta			Arena fina, cieno, Looss, Loam								
Arcilla no consolidada y matéria orgánica							Turba			Estrato arcilloso			Arcilla expansiva		
Roca consolidada	Rocas muy fracturadas						Roca petrolífera			Piedra arenisca			Roca sedimentaria, dolomita		Granito
k (cm^2)	0.001	0.0001	10^{-5}	10^{-6}			10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}		10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}
K (cm/seg)	10^{3}	10^{2}	10^{1}	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}			

Fuente: (Zuñiga Palma, 2010b).

De acuerdo al valor obtenido de k_m se clasifica de acuerdo a la Tabla 14: Calificación de intervalos de la permeabilidad (Zuñiga Palma, 2010b).

Tabla 14: Calificación de intervalos de la permeabilidad

Permeabilidad	Calificación
$> 10^{-1}$	Rápida
$10^{-1} - 10^{-2}$	Moderada a rápida
10^{-3}	Moderada
10^{-4}	Baja a moderada
10^{-5}	Baja
$10^{-6} - < 10^{-6}$	Muy baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2010b).

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 15: Selección y Determinación de Variables, Indicadores y Valores para el cálculo de la erosionabilidad del Suelo

Permeabilidad	Calificación	Valor	Estructura del suelo	Valor
$> 10^{-1}$	Rápida	1	Granular muy fina (< 1 mm)	1
$10^{-1} - 10^{-2}$	Moderada a rápida	2	Granular fina (1 – 2 mm)	2
10^{-3}	Moderada	3	Granular media a gruesa (2 – 10	3

			mm)	
$\mathbf{10^{-4}}$	Baja a moderada	4	Blocosa, laminar o maciza (> 10 mm)	4
$\mathbf{10^{-5}}$	Baja	5	No aplica	No aplica
$\mathbf{10^{-6}}$ – $\mathbf{< 10^{-6}}$	Muy baja	6	No aplica	No aplica

Fuente: Autores.

1.1.8.5.4. Descripción del procedimiento

De cada una de las asociaciones de suelos y mediante la tabla de propiedades químicas del suelo, se deben identificar los espesores de los horizontes, sus texturas, el porcentaje de carbono orgánico y de la descripción del perfil se identifica la estructura de cada horizonte; a continuación, mediante el método de Darcy y la aplicación de la tabla de permeabilidad de acuerdo a la textura (Zuñiga Palma, 2010b), se determina y califica la permeabilidad del perfil del suelo.

Dentro de cada asociación de suelos se determina el factor K de erosionabilidad mediante la aplicación del valor calculado de acuerdo a la textura, el valor calculado del porcentaje de materia orgánica, la calificación de la estructura y finalmente la calificación del valor calculado del factor K de permeabilidad, que posteriormente debe ser clasificado dentro de rangos de erosionabilidad.

Para la estimación de los rangos se utiliza la clasificación propuesta por Zuñiga (2010).

Tabla 16: Intervalos de Clasificación de la Erosionabilidad del suelo

Intervalo	Valor K (Ton/ha/año)	Erosionabilidad
1	0.1 – 0.89	Baja
2	0.89 – 1.13	Media
3	1.13 – 10.53	Alta
4	>1.53	Muy alta

Fuente: (Zuñiga Palma, 2010b) adaptado por Autores

Por último, se plasma el resultado en el mapa temático de erosionabilidad (Zuñiga Palma, 2000)

1.1.8.6. Inestabilidad del Suelo

1.1.8.6.1. Descripción del problema

De acuerdo con las características de erosionabilidad, geomorfológicas, topográficas y climatológicas en el área de estudio se pueden presentar diferentes sectores en donde se presenten problemas de inestabilidad del suelo (Zuñiga Palma, 2011b), y por ende es importante su delimitación y la estimación de su gravedad.

1.1.8.6.2. Presentación del problema

La inestabilidad del suelo se debe a la interrelación de factores técnicos como la erosionabilidad media (K), la pendiente (P), ya sea simple o compleja de la zona; el relieve (R) y la precipitación (Pr) en la región, los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 17: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la inestabilidad del suelo.

Tabla 17: Diagrama de correlación de variables para el cálculo de la inestabilidad del suelo

Erosionabilidad media	Pendiente	Relieve	Precipitación
0.1 – 0.89 (Ton/Ha/año)	0 % – 100 %	Escarpes, Coluvios, Crestas	0 mm/año - >3000 mm/ año
0.89 – 1.13 (Ton/Ha/año)		Morrenas, coladas, glacis coluvial	
1.13 – 10.53 (Ton/Ha/año)		Abanicos, conos	
>1.53 (Ton/Ha/año)		Otros relieves	

Fuente: Autores.

1.1.8.6.3. Formulación del procedimiento:

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la erosionabilidad media, la pendiente, el relieve y la cantidad de precipitación que se presenta en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 13: Inestabilidad del suelo

$$K\ n\ P\ n\ R\ n\ Pr = inestabilidad\ del\ suelo$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.8.6.3.1. Erosionabilidad Media

La erosionabilidad es la perdida de la capa arable del suelo debido a la acción del viento y la escorrentía, para los horizontes superficiales; y los demás son afectados por la permeabilidad horizontal y vertical; en donde dichos procesos conducen a desestabilizar el suelo de un territorio.

Por lo tanto, la erosionabilidad se clasifica de acuerdo con las toneladas perdidas por hectárea en el periodo de un año, como se muestra en la Tabla 16: Intervalos de Clasificación de la Erosionabilidad del suelo.

1.1.8.6.3.2. Pendiente

Debido a la presencia del área de trabajo en la cordillera oriental en este trabajo se va a optar por la utilización de la pendiente compleja, dado que permite una mejor descripción del terreno dada la presencia de múltiples relieves (Zuñiga Palma, 2010a); a continuación, se presentarán los rangos de pendiente a utilizar.

Tabla 18: Clasificación de los intervalos de la pendiente compleja

Pendiente Compleja (%)	Clasificación
0 % - 25 %	Baja
25 % - 35 %	Media
35 % - 100 %	Alta
>100 %	Muy Alta

Fuente: (Zuñiga Palma, 2010a) adoptado por Autores.

1.1.8.6.3.3. Relieve

Debido a la presencia del área de trabajo en la cordillera oriental en este trabajo se va a optar por la siguiente clasificación de acuerdo con los paisajes geomorfológicos presentes en el departamento de Cundinamarca como se presenta en la Tabla 8: Calificación de intervalos del relieve.

1.1.8.6.3.4. *Precipitación*

Gracias a la gran variabilidad de la pluviosidad a lo largo del espacio nacional se decide generar 4 rangos de acuerdo con la calificación de suficiencia, como se muestra en la Tabla 9: Calificación de intervalos de la pluviosidad

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 19: Selección y Determinación de Variables, indicadores y Valores para el cálculo de la Inestabilidad del suelo

Factor K	**Erosionabilidad**	**Valor**	**Pendiente**	**Clase**	**Valor**
0.1 – 0.89	Baja	1	0 % - 25 %	Baja	1
0.89 – 1.13	Media	2	25 % - 35 %	Media	2
1.13 – 10.53	Alta	3	35 % - 100 %	Alta	3
>1.53	Muy alta	No aplica	>100 %	Muy Alta	4
Precipitación	Clase	Valor	Relieve	Clase	Valor
0 – 500	Insuficiente	1	Paisaje de Planicie y/o Valle	Baja	1
500 – 1000	Suficiente	2	Paisaje de Piedemonte	Media	2
1000 – 2000	Abundante	3	Paisaje de Lomerío	Alta	3
>2000	Excesiva	4	Paisaje de Montaña	Muy Alta	4

Fuente: Autores.

1.1.8.6.4. Descripción del Procedimiento

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente (Zuñiga Palma, 2011b); luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la inestabilidad del suelo.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la inestabilidad del subsuelo de manera que se obtiene un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo y se determinan los rangos de la siguiente forma:

Ecuación 14: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la Inestabilidad del suelo

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 4 * 4\ =\ 256$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{256 - 1}{4} = 63.75$$

Tabla 20: Intervalos de clasificación de la inestabilidad del suelo

Rango	Valor	Inestabilidad del suelo
1	1 – 64.75	Baja inestabilidad
2	44.75 – 128.5	Media inestabilidad
3	128.5 – 192.25	Alta inestabilidad
4	192.25 - 256	Muy Alta inestabilidad

Fuente: Autores.

1.1.8.7. Inestabilidad del Subsuelo

1.1.8.7.1. Descripción del problema

De acuerdo con las característica geomorfológicas, topográficas y climatológicas en el área de estudio se pueden presentar diferentes sectores en donde se presenten problemas de inestabilidad del subsuelo, y por ende es importante su delimitación y la estimación de su gravedad.

1.1.8.7.2. Presentación del problema

La inestabilidad del subsuelo se debe a la interrelación de factores técnicos como el tipo de roca (R), la pendiente (P), ya sea simple o compleja de la zona; el tectonismo (T) y la precipitación (Pr) en la región, los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 21: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la inestabilidad del subsuelo.

Tabla 21: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la inestabilidad del subsuelo

Tipo de roca	Pendiente	Tectonismo	Precipitación
Suelo no consolidado	0 % – 100 %	Falla	0 mm/año - >3000 mm/ año
Arcillolitas			
Limolita		Sin Tectonismo	
Arenisca			

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.8.7.3. Formulación del procedimiento

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar el tipo de roca, la pendiente, la presencia de tectonismo, y la cantidad de precipitación (Zuñiga Palma, 2011a) que se presenta en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 15: Inestabilidad del Subsuelo

$$R\ n\ P\ n\ T\ n\ Pr = inestabilidad\ del\ subsuelo$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2011a)

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.8.7.3.1. <u>Tipo de Roca</u>

Gracias a las grandes cantidades de clasificación de rocas de acuerdos múltiples variables como el origen, la meteorización, la granulometría, entre otros, en este trabajo se clasificarán de acuerdo a la estabilidad de la roca en pendiente (Zuñiga Palma, 2011a). Lo cual permite generar cuatro rangos de la siguiente manera:

Tabla 22: Calificación de la estabilidad en pendiente de acuerdo al tipo de roca

Tipo de Roca	Estabilidad en Pendiente
Calizas, Dolomitas, Cuarcitas, Areniscas compactas,	Alta
Calizas margosas, Margas, Arcillolitas arenosas y Areniscas arcillosas	Media
Areniscas poco compactas, Arcillas plásticas y arenosas, y Margas yesiferas	Baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2011a) adaptado por Autores

1.1.8.7.3.2. <u>Pendiente</u>

Debido a la presencia del área de trabajo en la cordillera oriental en este trabajo se va a optar por la utilización de la pendiente compleja, dado que permite una mejor descripción del terreno dada la presencia de múltiples relieves; a continuación, se presentarán los rangos de pendiente a utilizar, como se muestra en la Tabla 18: Clasificación de los intervalos de la

pendiente compleja

1.1.8.7.3.3. *Precipitación*

Gracias a la gran variabilidad de la pluviosidad a lo largo del espacio nacional se decide generar 4 rangos de acuerdo con la calificación de suficiencia, como se muestra en la Tabla 9: Calificación de intervalos de la pluviosidad.

1.1.8.7.3.4. *Tectonismo*

Como consecuencia de la gran variedad de las estructuras geológicas que se pueden presentar, se decide obtener dos rangos, el primero con valor de 2 si existe en el área de trabajo cualquier tipo de falla, y de 1 si no existe.

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 23: Selección y Determinación de Variables, indicadores y Valores para el cálculo de la Inestabilidad del subsuelo

Roca	**Estabilidad**	**Valor**	**Pendiente**	**Clasificación**	**Valor**
Calizas	Alta (A)	1	0 % - 25 %	Baja	1
Margas	Media (M)	2	25 % - 35 %	Media	2
Arcillolitas	Baja	3	35 % - 100 %	Alta	3
No aplica	No aplica	No aplica	>100 %	Muy Alta	4
Precipitación	Clase	Valor	Tectonismo	Clase	Valor
0 – 500	Insuficiente	1	Falla	No aplica	2
500 – 1000	Suficiente	2	Sin tectonismo	No aplica	1
1000 – 2000	Abundante	3	No aplica	No aplica	No aplica
>2000	Excesiva	4	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Autores

1.1.8.7.4. Descripción del procedimiento:

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable (Zuñiga Palma, 2000) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango (Zuñiga Palma, 2011a) determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la inestabilidad del subsuelo.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la inestabilidad del subsuelo de manera que se obtiene un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 16: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la Inestabilidad del subsuelo

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 3 * 2\ =\ 96$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{96 - 1}{4} = 23.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 24: Intervalos de clasificación de la inestabilidad del subsuelo

Rango	Valor	Inestabilidad del subsuelo
1	1 – 24.75	Baja inestabilidad
2	24.75 – 48.5	Media inestabilidad
3	48.5 – 72.25	Alta inestabilidad
4	72.25 - 96	Muy Alta inestabilidad

Fuente: Autores

1.1.9. Capacidad de Carga Territorial:

1.1.9.1. Problema

Dadas las características de las múltiples interrelaciones que existen entre cada uno de los componentes del sistema natural con los demás, se desarrollan diferentes características que permiten el adecuado aprovechamiento del territorio, por lo tanto, identificar las zonas que iguales condiciones que permitan iguales aprovechamientos se convierte en una necesidad dado que se convierte en la base para la adecuada asignación de áreas para diversos usos y no usos dentro del mismo territorio.

1.1.9.2. Presentación del problema

La capacidad de carga del territorio se constituye como la interrelación de las diferentes propiedades intrínsecas de la tierra, entre los que se encuentran la capacidad

portante (CP), la capacidad de producción biomasa comercial ya sea animal y/o vegetal (CPBC), la oferta minero-energética (OME), la existencia de áreas de bienes y servicios ambientales (BySA) y la preservación (P).

Por otro lado cada uno de las anteriores propiedades intrínsecas se encuentra constituido por factores técnicos, los cuales se interrelacionan mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 25: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad de Carga Territorial.

Tabla 25: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad de Carga Territorial

Capacidad de carga territorial																					
Capacidad Portante						**Capacidad de Producción de Biomasa Comercial Animal o Vegetal**				**Oferta Minero-Energética**				**Bienes y Servicios Ambientales**				**Protección**							
Capacidad Geotécnica			**Capacidad Edáfica**															**Amenazas Naturales Extremas**				**Áreas intangibles**			
Estabilidad de la roca	Compresibilidad de la roca	Tectonismo	Estructura del suelo	Compresibilidad del suelo	Densidad Aparente	Fertilidad	Clase agrologica	Profundidad Efectiva	Precipitación	Hidrocarburos	Minerales Metálicos	Piedras Preciosas	Minerales no metálicos	Aire	Agua	Tierra	Biocenosis	Aire	Agua	Tierra	Biocenosis	Aire	Agua	Tierra	Biocenosis

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3. Formulación del problema:

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la capacidad portante (CP), la capacidad de producción de biomasa comercial (CPBC), la oferta minero energética (OME), las áreas de bienes y servicios ambientales (BySA) y las áreas de protección (Zuñiga Palma, 2017), que se presenta en el área de estudio cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 17: Capacidad de Carga Territorial

$$(CP) \text{ ^ } (CPBC) \text{ ^ } (OME) \text{ ^ } (B/SA) \text{ ^ } (C/PA) = (CCT)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.9.3.1. Capacidad portante:

1.1.9.3.1.1. <u>Problema</u>

Las características del suelo, así como también las del subsuelo permiten determinar la capacidad que posee el territorio para la construcción de diversas edificaciones, es por esta razón que se convierte en un factor importante a determinar dado que de acuerdo con la variabilidad de la tierra se pueden encontrar zonas con diferentes capacidades, las cuales pueden ser explotadas.

1.1.9.3.1.2. <u>Presentación del problema:</u>

Las características propias del subsuelo permiten la determinación de la capacidad geotécnica del territorio (CG) y las características del suelo determinan la capacidad edáfica que tiene (CE) el mismo, de tal manera que se pueda identificar la capacidad de soportar y mantener alguna construcción.

Estos factores se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 26: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la

Capacidad Portante del territorio

Tabla 26: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad Portante del territorio

Capacidad Geotécnica	Capacidad Edáfica
Muy Alta	Muy Alta
Alta	Alta
Media	Media
Baja	Baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.1.3. *Formulación del procedimiento*

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la capacidad geotécnica (CG) y la capacidad edáfica (CE) (Zuñiga Palma, 2017), que se presenta en el área de estudio, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 18: Capacidad Portante

$$(CG)\ n\ (CE)\ = (CP)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.9.3.2. Capacidad Geotécnica

1.1.9.3.2.1. *Problema*

La capacidad geotécnica es la característica que posee el subsuelo para soportar la construcción de diferentes estructuras; esta capacidad se definida por la interrelación que existe entre la compresibilidad y estabilidad en pendiente de la roca, así como también del tectonismo que se pueda presentar, es por esta razón que se hace necesario la identificación de las zonas más aptas para la construcción de edificaciones.

1.1.9.3.2.2. *Presentación del problema*

La capacidad geotécnica del territorio se debe a la interrelación de factores técnicos como la compresibilidad de la roca (Cr), la estabilidad de la roca en pendiente (E) y el tectonismo (T), los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 27: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad Geotécnica.

Tabla 27: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad Geotécnica.

Estabilidad de la roca	**Compresibilidad de la roca**	**Tectonismo**
Calizas, Dolomitas, Cuarcitas, Areniscas compactas,	Arenisca	Falla
Calizas margosas, Margas, Arcillolitas arenosas y Areniscas arcillosas	Limolita	Diaclasa
Areniscas poco compactas, Arcillas plásticas y arenosas, y Margas yesiferas	Arcillolitas	Plegamiento
Suelo no consolidado	Suelo no consolidado	Sin Tectonismo

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.2.3. *Formulación del procedimiento:*

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la compresibilidad de la roca, la estabilidad de la roca en pendiente y el tectonismo (Zuñiga Palma, 2017) que se presentan en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 19: Capacidad Geotécnica.

$$Ep\ n\ (Cr)\ n\ T = (CG)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características

propias de cada variable.

1.1.9.3.2.4. Estabilidad de la roca en pendiente

Gracias a las grandes cantidades de clasificación de rocas de acuerdos múltiples variables como el origen, la meteorización, la granulometría, entre otros, en este trabajo se clasificarán de acuerdo a la estabilidad de la roca en pendiente (Zuñiga Palma, 2011a), como se muestra en la Tabla 22: Calificación de la estabilidad en pendiente de acuerdo al tipo de roca.

1.1.9.3.2.5. Compresibilidad de la roca

Gracias a las grandes cantidades de clasificación de rocas de acuerdos múltiples variables como el origen, la meteorización, la granulometría, entre otros, en este trabajo se clasificarán de acuerdo al tipo de grano que conforma la roca (Zuñiga Palma, 2017), lo cual permite generar cuatro rangos de la siguiente manera:

Tabla 28: Calificación de la Compresibilidad de la roca de acuerdo al tipo de roca

Tipo de roca	Compresibilidad de la roca
Arenisca	Alta (A)
Limolita	Media (M)
Arcillolitas	Baja (B)
Suelo no consolidado	Muy Baja (MB)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.2.6. Tectonismo

Como consecuencia de la gran variedad de las estructuras geológicas que se pueden presentar, se decide obtener cuatro rangos de acuerdo con la seguridad que ofrece para la edificación de estructuras.

Tabla 29: Calificación del tectonismo de acuerdo a la seguridad para la edificación de estructuras.

Tectonismo	Clase
Falla	Muy Baja (MB)
Diaclasa	Baja (B)
Plegamiento	Media (M)
Sin Afectación	Alta (A)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada

variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 30: Selección y Determinación de Variables, indicadores y Valores para el cálculo de la capacidad geotécnica

Estabilidad	**Estabilidad**	**Valor**	**Compresibilidad**	**Clasificación**	**Valor**	**Tectonismo**	**Clase**	**Valor**
Calizas	Alta (A)	4	suelo no consolidado	Baja (B)	1	Falla	Muy Baja (MB)	1
Margas	Media (M)	3	Arcillolitas	Media (M9	2	Diaclasa	Baja (B)	2
Arcillolitas	Baja (B)	2	Limolitas	Alta (A)	3	Plegamiento	Media (M)	3
Suelo no consolidado	Muy baja (MB)	1	Areniscas	Muy Alta (A)	4	Sin Afectación	Alta (A)	4

Fuente: Autores

1.1.9.3.2.7. *<u>Descripción del procedimiento:</u>*

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable (Zuñiga Palma, 2017) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la capacidad geotécnica.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la capacidad geotécnica de manera que se obtenga un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 20: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la Inestabilidad del subsuelo

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 4\ =\ 64$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{64 - 1}{4} = 15.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 31: Intervalos de clasificación de la inestabilidad del subsuelo

Rango	Valor	Capacidad Geotécnica
1	1 – 16.75	Baja
2	16.75 – 32.5	Media
3	32.5 – 48.25	Alta
4	48.25 - 64	Muy Alta

Fuente: Autores

1.1.9.3.3. Capacidad Edáfica

1.1.9.3.3.1. <u>Problema</u>

La capacidad que tiene el suelo para soportar estructuras se ve definida por la interrelación de las características propias del suelo tales como la compresibilidad, estructura y densidad aparente, y debido a la variabilidad de estos factores en el suelo, se hace necesario evaluar la capacidad edáfica en el área de estudio con el objetivo de escoger la mejor zona para la construcción de posibles edificaciones.

1.1.9.3.3.2. <u>Presentación del problema</u>

La capacidad edáfica del territorio se debe a la interrelación de factores técnicos como la compresibilidad del suelo (Cs), la estructura del suelo (Es) y densidad aparente (Da), los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 32: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad Edáfica

Tabla 32: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la Capacidad Edáfica

Estructura del suelo	Compresibilidad del suelo	Densidad Aparente
Granular muy fina	Grava – gravilla	Grava – gravilla
Granular fina	Arena	Arena
Granular media y gruesa	Arcilla	Limo
Blocosa	Limo	Arcilla

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.3.3. <u>Formulación del procedimiento:</u>

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la compresibilidad del suelo, la

estructura del suelo y la densidad aparente (Zuñiga Palma, 2017) que se presenta en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 21: Capacidad Edáfica.

$$Es\ n\ (Cs)\ n\ Da = (CE)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.9.3.3.4. *Estructura del suelo:*

Se traen a cuenta las estructuras del suelo de acuerdo con la morfología de los agregados (Zuñiga Palma, 2010b) lo cual permite generar cuatro rangos de la siguiente manera

Tabla 33: Calificación de intervalos de la estructura del suelo de acuerdo a su morfología

Estructura del suelo	Calificación
Masificada, columnar	Muy Alta (A)
Cementada, Blocosa	Alta (A)
Laminar, Prismática	Media (M)
Granular, migajosa	Baja (B)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.3.5. *Compresibilidad del suelo y densidad aparente*

Tanto la compresibilidad del suelo como la densidad aparente son características que dependen del tipo de grano que conforma el suelo por lo tanto se definen 4 rangos de acuerdo con cada tipo de grano.

Tabla 34: Calificación de intervalos de acuerdo a la compresibilidad y densidad aparente del suelo

Textura	Compresibilidad del suelo	Densidad Aparente
Grava – gravilla	Muy Alta (A)	Muy Alta (A)
Arena	Alta (A)	Alta (A)
Arcilla	Media (M)	Media (M)
Limo	Baja (B)	Baja (B)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada

variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 35: Selección y Determinación de Variables, indicadores y Valores para el cálculo de la capacidad edáfica

Estructura del suelo	**Calificación**	**Valor**	**Compresibilidad del suelo**	**Calificación**	**Valor**	**Densidad Aparente**	**Calificación**	**Valor**
Masificada, columnar	Muy Alta (A)	4	Grava – gravilla	Muy Alta (A)	4	Grava – gravilla	Muy Alta (A)	4
Cementada, Blocosa	Alta (A)	3	Arena	Alta (A)	3	Arena	Alta (A)	3
Laminar, Prismática	Media (M)	2	Arcilla	Media (M)	2	Arcilla	Media (M)	2
Granular, migajosa	Baja (B)	1	Limo	Baja (B)	1	Limo	Baja (B)	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) Adaptado por Autores

1.1.9.3.3.6. *<u>Descripción del procedimiento:</u>*

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable (Zuñiga Palma, 2017) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la capacidad edáfica.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la capacidad edáfica de manera que se obtenga un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 22: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la capacidad edáfica

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 4\ =\ 64$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{64 - 1}{4} = 15.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 36: Calificación de Intervalos de clasificación de la inestabilidad del subsuelo

Rango	Valor	Capacidad Edáfica
1	1 – 16.75	Baja
2	16.75 – 32.5	Media
3	32.5 – 48.25	Alta
4	48.25 - 64	Muy Alta

Fuente: Autores.

Una vez determinados los valores de la capacidad geotécnica y la capacidad edáfica, deben ser reclasificados de manera que se pueda dar solución a la Ecuación 18: Capacidad Portante como se muestra en la Tabla 37: Calificación de la Capacidad Geotécnica y la Capacidad Edáfica

Tabla 37: Calificación de la Capacidad Geotécnica y la Capacidad Edáfica

Capacidad Geotécnica	Capacidad Edáfica	Valor
Baja	Baja	1
Media	Media	2
Alta	Alta	3
Muy Alta	Muy Alta	4

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

1.1.9.3.3.7. *<u>Descripción del procedimiento:</u>*

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a la capacidad geotécnica y a la capacidad edáfica (Zuñiga Palma, 2017) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la capacidad portante.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la capacidad portante de manera que se obtenga un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 23: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la capacidad portante

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4\ =\ 16$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{16 - 1}{4} = 3.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 38: Intervalos de clasificación de la inestabilidad del subsuelo

Rango	Valor	Capacidad portante
1	1 – 4.75	Baja
2	4.75 – 8.5	Media
3	8.5 – 12.25	Alta
4	12.25 - 16	Muy Alta

Fuente: Autores

1.1.9.3.4. Capacidad de producción de biomasa comercial animal y/o vegetal

1.1.9.3.4.1. <u>Problema</u>

Algunas de las características propias del suelo permiten identificar la capacidad que tiene el mismo para realizar actividades económicas del primer sector de la economía y específicamente agropecuarias, por esta razón es necesario determinar la capacidad que posee el área de estudio para la producción de biomasa comercial la cual puede ser de tipo animal, mediante actividades pecuarias o vegetal mediante actividades de agricultura, y/o la combinación de ambas.

1.1.9.3.4.2. <u>Presentación del problema</u>

La Capacidad de producción de biomasa comercial (CPBC), es el producto de la interrelación de la fertilidad del suelo, la clase agrologica, la profundidad efectiva y la cantidad de precipitación, los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 39: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la capacidad de producción de biomasa comercial.

Tabla 39: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la capacidad de producción de biomasa comercial.

Fertilidad	Clase agrologica	Profundidad Efectiva	Precipitación
8-10 y >10	I, II, III	>100 cm	>2000 mm
6 – 8	IV, V	50 -100 cm	1000-2000 mm

3-may	VI, VII	25 – 50 cm	500-1000 mm
<3	VIII	0 – 25 cm	0-500 mm

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

1.1.9.3.4.3. *Formulación del procedimiento*

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la fertilidad (F), la clase agrológica (CA), la profundidad efectiva (PE) y la precipitación (P) (Zuñiga Palma, 2017), que se presenta en el área de estudio, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la expresión.

Ecuación 24: Capacidad de Producción de Biomasa Comercial

$$F * (CA) * (PE) * P = (CPBC)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Para jerarquizar cada una de las variables se tendrán en cuenta las características propias de cada variable.

1.1.9.3.4.4. *Fertilidad*

La fertilidad se puede traducir en la capacidad que tiene el suelo para transmitir los nutrientes necesarios a las plantas para su adecuado desarrollo. De tal manera que desde el punto de vista agrícola se traduce en mayor rendimiento y calidad del cultivo.(Hang, 2013), de acuerdo con la metodología para calcular el índice de fertilidad explicado en el componente edafológico, se va a clasificar como se muestra en la Tabla 40: Calificación de la Fertilidad.

Tabla 40: Calificación de la Fertilidad

Fertilidad	**Clase**
8-10 y >10	Alta (A)
6 – 8	Media (M)
3 -5	Baja (B)
<3	Muy Baja (MB)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017).

1.1.9.3.4.5. *Clase agrológica*

La clase agrológica se definen como agrupaciones de suelos con diferentes

características pero al mismo tiempo comparten el potencial de uso agropecuario de la tierra (Arévalo A., 2000), de esta manera se agruparan (Zuñiga Palma, 2017) de acuerdo a la posibilidad de intensidad del uso.

Tabla 41: Calificación de la clase agrológica de acuerdo a la intensidad del uso agropecuario.

Clase Agrológica	Clase
I, II, III	Alta (A)
IV, V	Media (M)
VI, VII	Baja (B)
VIII	Muy Baja (MB)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017).

1.1.9.3.4.6. *Profundidad Efectiva*

La profundidad efectiva del suelo se constituye como la profundidad máxima que tiene el suelo para el adecuado desarrollo radicular, retención de agua disponible y suministro de nutrientes existentes (Hudson, 1982), por lo tanto se va a clasificar de manera empírica de acuerdo a (Zuñiga Palma, 2017).

Tabla 42: Calificación de la profundidad efectiva

Profundidad efectiva	Clase
>100 cm	Alta (A)
50 -100 cm	Media (M)
25 – 50 cm	Baja (B)
0 – 25 cm	Muy Baja (MB)

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017).

1.1.9.3.4.7. *Precipitación*

Gracias a la gran variabilidad de la pluviosidad a lo largo del espacio nacional se decide generar 4 rangos de acuerdo con la calificación de suficiencia, como se muestra en la Tabla 9: Calificación de intervalos de la pluviosidad.

Una vez determinados los rangos para cada una de las zonas uniformes de cada variable se le asignará un indicador cuantitativo que permitirá el desarrollo de la metodología.

Tabla 43: Selección y Determinación de Variables, indicadores y Valores para el cálculo de la capacidad edáfica

Fertilidad	Calificación	Valor	Clase agrologica	Calificación	Valor
8-10 y >10	Muy Alta (A)	4	I, II, III	Muy Alta (A)	4
6 – 8	Alta (A)	3	IV, V	Alta (A)	3

3-may	Media (M)	2	VI, VII	Media (M)	2
<3	Baja (B)	1	VIII	Baja (B)	1
Profundidad Efectiva	Calificación	valor	Precipitación	Calificación	valor
>100 cm	Muy Alta (A)	4	>2000 mm	Muy Alta (A)	4
50 -100 cm	Alta (A)	3	1000-2000 mm	Alta (A)	3
25 – 50 cm	Media (M)	2	500-1000 mm	Media (M)	2
0 – 25 cm	Baja (B)	1	0-500 mm	Baja (B)	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.4.8. *Descripción del procedimiento*

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable (Zuñiga Palma, 2017) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes a cada rango determinado anteriormente; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de la capacidad de producción de biomasa comercial.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la capacidad de producción de biomasa comercial de manera que se obtenga un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 25: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la capacidad edáfica

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 4 * 4 * 4\ =\ 256$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{255 - 1}{4} = 63.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 44: Intervalos de clasificación de la capacidad de producción de biomasa comercial

Rango	Valor	Inestabilidad del suelo
1	1 – 64.75	Baja inestabilidad
2	44.75 – 128.5	Media inestabilidad

3	128.5 – 192.25	Alta inestabilidad
4	192.25 - 256	Muy Alta inestabilidad

Fuente: Autores.

1.1.9.3.5. Oferta Minero-Energética

1.1.9.3.5.1. <u>Problema</u>

La posibilidad de existencia de minerales energéticos, hidrocarburos, metales preciosos y minerales no metálicos implica la necesidad de su determinación para posterior explotación de manera que se defina la valoración de la oferta minero-energética (OME) en el área de estudio.

1.1.9.3.5.2. <u>Presentación del problema:</u>

De acuerdo con las características del sub suelo existe la posibilidad de la existencia de hidrocarburos (H), piedras preciosas(PP), metales preciosos (MP), y minerales no metálicos (Mnm), los cuales pueden ser explotados económicamente.

Estos factores se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 45: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la oferta

Tabla 45: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la oferta minero-energética

Hidrocarburos	**Minerales metálicos**	**Piedras preciosas**	**Minerales no metálicos**
Titulo	Titulo	Titulo	Titulo
Mina	Mina	Mina	Mina
Yacimiento	Yacimiento	Yacimiento	Yacimiento
Manifestación	Manifestación	Manifestación	Manifestación
Sin Manifestación	Sin Manifestación	Sin Manifestación	No aplica

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.5.3. <u>Formulación del procedimiento:</u>

En el diseño de la expresión lógica matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la existencia de hidrocarburos (HC), minerales metálicos (Mm), piedras preciosas (Pp) y minerales no

metálicos (Mnm) (Zuñiga Palma, 2017), que se presenta en el área de estudio, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la Ecuación 26: Oferta

Tabla 46: Calificación del estado para la explotación de minerales

Minerales por explotar	Valor
Titulo	5
Mina	4
Yacimiento	3
Manifestación	2
Sin Manifestación	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores

Ecuación 26: Oferta minero-energética

$$(Hc) \vee (Mm) \vee (Pp) \vee (Mnm) \rightarrow ||OME||$$

Fuente: Autores

Donde la oferta minero-energética se convierte en una matriz (1*n) donde n→4 y por lo tanto la calificación de la OME corresponde al valor máximo entre las cuatro variables.

Ecuación 27: Norma máxima para el cálculo de la oferta minero-energética

$$\left|\left|OME\right|\right| = \max_{i \in \{1,\dots,4\}} (OME_i)$$

Fuente: Autores.

Debido a que el proceso para la explotación de dichas variables se constituye de la misma forma, se le asignara un valor de acuerdo con el nivel de explotación.

Tabla 47: Intervalos de clasificación de la oferta minero-energética

Minerales por explotar	Oferta Minero-Energética
Titulo	Muy Alta
Mina	Alta
Yacimiento	Media
Manifestación	Baja
Sin Manifestación	Muy baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.3.5.4. *<u>Descripción del procedimiento</u>*

Una vez determinado el valor de la calificación para la oferta minero-energética, se

plasma en un mapa temático indicando cada una de las opciones.

1.1.9.4. Bienes y servicios Ambientales

1.1.9.4.1. Problema

De acuerdo con el decreto 3600 de 2007 y con el objetivo de garantizar el desarrollo sostenible, se definen las categorías de protección en suelo rural, de las cuales en este apartado se relacionan aquellas que deben hacer parte de la estructura ecológica principal, las áreas que presentan amenazas naturales no extremas, las áreas de protección para la producción, las áreas de desarrollo restringido.

1.1.9.4.2. Presentación del problema:

Para la definición de las áreas de bienes y servicios ambientales (BySA), se tendrá en cuenta la clasificación por categorías del suelo para los componentes aire (A), tierra (T), agua (Ag) y biocenosis (B).

Estos factores se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 48: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de bienes y servicios ambientales.

Tabla 48: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de bienes y servicios ambientales

Aire	Agua	Tierra	Biocenosis
Estructura ecológica principal	Estructura ecológica principal	Estructura ecológica principal	Estructura ecológica principal
Amenazas naturales no extremas	Amenazas naturales no extremas	Amenazas naturales no extremas	Amenazas naturales no extremas
Protección para la producción	Protección para la producción	Protección para la producción	Protección para la producción
Desarrollo restringido	Desarrollo restringido	Desarrollo restringido	Desarrollo restringido

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.4.3. Formulación del procedimiento:

En el diseño de la expresión lógica matemática en la cual se utiliza el método

multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la existencia de áreas de importancia ambiental en los componentes aire (A), tierra (T), agua (Ag) y biocenosis (B) (Zuñiga Palma, 2017), que se presenta en el área de estudio, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la Ecuación 28: Áreas de bienes y servicios ambientales.

Tabla 49: Calificación de las áreas de acuerdo con las categorías de protección en suelo rural

Categorías de protección en suelo rural	Valor
Estructura ecológica principal	4
Amenazas naturales no extremas	3
Protección para la producción	2
Desarrollo restringido	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores

Ecuación 28: Áreas de bienes y servicios ambientales

$$(A) \vee (Ag) \vee (T) \vee (B) \rightarrow ||B/SA||$$

Fuente: Autores

Donde las áreas de bienes y servicios ambientales se convierten en una matriz (1*n) donde n→4 y por lo tanto la calificación de las áreas de B/SA corresponde al valor máximo entre las cuatro variables.

Ecuación 29: Norma máxima para el cálculo de las áreas de bienes y servicios ambientales

$$\left|\left|B/SA\right|\right| = \max_{i \in \{1,\ldots,4\}} (B/SA_i)$$

Fuente: Autores.

Debido a que el proceso para la explotación de dichas variables se constituye de la misma forma, se le asignara un valor de acuerdo con el nivel de bienes y servicios ambientales que pueda prestar.

Tabla 50: Intervalos de clasificación de las áreas de bienes y servicios ambientales

Categorías de uso del suelo	Bienes y Servicios Ambientales
Estructura ecológica principal	Muy Alta
Amenazas naturales no extremas	Alta
Protección para la producción	Media
Desarrollo restringido	Baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.4.4. Descripción del procedimiento

Una vez determinado el valor de la calificación para la oferta minero-energética, se plasma en un mapa temático indicando cada una de las opciones.

1.1.9.5. Protección

1.1.9.5.1. Conservación y protección ambiental

1.1.9.5.1.1. <u>Problema</u>

De acuerdo con el decreto 3600 de 2007 y con el objetivo de garantizar el desarrollo sostenible, se definen las categorías de protección del suelo rural, de las cuales en este apartado se relacionan aquellas que hacen parte de las áreas de conservación y protección ambiental.

1.1.9.5.1.2. <u>Presentación del problema:</u>

Para la definición de las áreas de conservación y protección ambiental (CyPA), se tendrá en cuenta la clasificación por categorías del suelo para los componentes aire (A), tierra (T), agua (Ag) y biocenosis (B).

Estos factores se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 51: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de conservación y protección ambiental.Tabla 45: Diagrama de correlación de información para el cálculo de la oferta

Tabla 51: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de conservación y protección ambiental

Aire	Agua	Tierra	Biocenosis
Áreas del sistema nacional de áreas protegidas	Áreas del sistema nacional de áreas protegidas	Áreas del sistema nacional de áreas protegidas	Áreas del sistema nacional de áreas protegidas
Áreas de especial importancia ecológica	Áreas de especial importancia ecológica	Áreas de especial importancia ecológica	Áreas de especial importancia ecológica

Áreas de reserva forestal	Áreas de reserva forestal	Áreas de reserva forestal	Áreas de reserva forestal
Áreas de manejo especial	Áreas de manejo especial	Áreas de manejo especial	Áreas de manejo especial

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

1.1.9.5.1.3. *Formulación del procedimiento:*

En el diseño de la expresión lógica matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar la existencia de áreas de importancia ambiental en los componentes aire (A), tierra (T), agua (Ag) y biocenosis (B) (Zuñiga Palma, 2017), que se presentan en el área de estudio, los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten la aplicación de la Ecuación 30: Conservación y protección ambiental

Tabla 52: Calificación de las áreas de acuerdo con las categorías de protección en suelo rural

Áreas de conservación y protección ambiental	Valor
Áreas del sistema nacional de áreas protegidas	4
Áreas de especial importancia ecológica	3
Áreas de reserva forestal	2
Áreas de manejo especial	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

Ecuación 30: Conservación y protección ambiental

$$(A) \vee (Ag) \vee (T) \vee (B) \rightarrow ||C/PA||$$

Fuente: Autores

Donde las áreas de bienes y servicios ambientales se convierten en una matriz (1*n) donde n→4 y por lo tanto la calificación de la CyPA corresponde al valor máximo entre las cuatro variables.

Ecuación 31: Norma máxima para el cálculo de las áreas de bienes ambientales

$$\left|\left|CyPA\right|\right| = \max_{i \in \{1,\ldots,4\}} (C/PA_i)$$

Fuente: Autores.

Debido a que el proceso para la explotación de dichas variables se constituye de la

misma forma, se le asignara un valor de acuerdo con el nivel de explotación.

Tabla 53: Intervalos de clasificación de las áreas de conservación y protección ambiental

Categorías de uso del suelo	Conservación y protección ambiental
Áreas del sistema nacional de áreas protegidas	Muy Alta
Áreas de especial importancia ecológica	Alta
Áreas de reserva forestal	Media
Áreas de manejo especial	Baja

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017)

1.1.9.5.1.4. *Descripción del procedimiento*

Una vez determinado el valor de la calificación para la oferta minero-energética, se plasma en un mapa temático indicando cada una de las opciones.

1.1.9.5.2. Amenazas naturales extremas

1.1.9.5.2.1. *Problema*

De acuerdo con el decreto 3600 de 2007 y con el objetivo de garantizar el desarrollo sostenible, se definen las categorías de protección del suelo rural, de las cuales en este apartado se relacionan las amenazas naturales extremas.

1.1.9.5.2.2. *Presentación del problema*

La amenaza natural extrema (ANE), es el producto de la interrelación de las amenazas naturales de inundabilidad (I), erosionabilidad del suelo (Es) inestabilidad del suelo (Is) y la inestabilidad del subsuelo (Iss); los cuales se ven correlacionados mediante la aplicación del modelo tecnológico de tipo heurístico (Zuñiga Palma, 2017) a través de las escalas de valoración como se presenta a continuación en la Tabla 54: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de amenazas naturales extremas

1.1.9.5.2.3. *Formulación del procedimiento*

En el diseño de la expresión matemática en la cual se utiliza el método multivariado aplicado a la cartografía temática se va a correlacionar las diferentes amenazas naturales que se presentan en el área de estudio los cuales son presentados en tablas escalares que faciliten

la aplicación de la expresión.

Ecuación 32: Capacidad Geotécnica.

$$I\ n\ (Es)n\ (Is)\ n\ (Iss) = (ANE)$$

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores.

Tabla 54: Diagrama de correlación de información para el cálculo de las áreas de amenazas naturales extremas

Inestabilidad del suelo	**Valor**	**Inundabilidad**	**Valor**
Inestabilidad máxima del Suelo	4	Extrema inundabilidad	3
Inestabilidad del subsuelo	Valor	Erosionabilidad del suelo	Valor
Inestabilidad máxima del subsuelo	2	Erosionabilidad extrema del suelo	1

Fuente: (Zuñiga Palma, 2017) adaptado por Autores

En donde las amenazas son valoradas por su efecto sobre las actividades humanas y probabilidad de ocurrencia.

1.1.9.5.2.4. *Descripción del procedimiento*

Una vez elaborados cada uno de los mapas temáticos correspondientes a cada variable (Zuñiga Palma, 2017) se los debe reclasificar de acuerdo con los valores pertinentes; luego se superponen cada uno de los mapas para obtener cada una de las zonas homogéneas que permitirán la determinación de las áreas de amenaza natural extrema.

Dentro de cada zona homogénea se realiza el cálculo de la amenaza extrema de manera que se obtenga un valor único, el cual debe ser clasificado dentro de los 4 rangos.

Para la estimación de los rangos se calcula el valor máximo y el valor mínimo para poder determinar la amplitud del intervalo de la siguiente forma:

Ecuación 33: Determinación de la amplitud de los intervalos para el cálculo de la Inestabilidad del subsuelo

$$Valor\ máximo\ =\ 4 * 3 * 2 * 1\ =\ 24$$

$$Valor\ minimo = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$Amplitud\ del\ intervalo = \frac{24 - 1}{4} = 5.75$$

Fuente: Autores.

Tabla 55: Intervalos de clasificación de la amenaza natural extrema

Rango	Valor	Amenaza Natural Extrema
1	1 – 6.75	Baja
2	6.75 – 12.5	Media
3	12.5 – 18.25	Alta
4	18.25 - 24	Muy Alta

Fuente: Autores

Una vez determinadas la capacidad portante, la capacidad de producción de biomasa comercial, la oferta minero-energética, las áreas de bienes y servicios ambientales, las áreas de conservación y protección ambiental, y por ultimo las áreas de amenazas naturales extremas, se sobreponen y se determinan las áreas para cada una de las variables y se plasman en la cartografía temática correspondiente, determinando la calificación, el área y el porcentaje de área con respecto al total.

1.2. Sistema socioeconómico

El sistema socioeconómico relaciona la información de redes e infraestructura, los equipamientos, economía y socio cultural del área de estudio, con base en información secundaria del Sisbén, alcaldía municipal, Gobernación de Cundinamarca.

2. Ingeniería del Proyecto

2.1. Identificación, localización y acceso

Se presenta las características del predio, tales como extensión con cédula catastral de los inmuebles; la ubicación corresponde con la georreferenciación de la propiedad con coordenadas planas, sus alturas mínimas y máximas con respecto al nivel del mar, la distancia a sitios de referencia, tales como ciudades más cercanas y/o la cabecera municipal, así como también la forma de acceso al predio, en donde se definen el tipo de vía, el tiempo de recorrido, y la forma de llegar. (Zuñiga Palma, 2016)

2.2. Dimensiones del proyecto

Las dimensiones del proyecto corresponden con la descripción de las áreas funcionales las cuales se dividen en fundamentales, principales y áreas deseadas; y por el otro lado por la descripción de productos y servicios prestados por el proyecto (Zuñiga Palma, 2016).

Dentro de las áreas fundamentales se presentan las áreas de provisión, las áreas de crecimiento y el área mercantil, en las áreas principales se presentan las actividades que complementan el proceso productivo, tales como administración, vigilancia, parqueaderos, zonas de movilidad así como también las diversas áreas sociales y las áreas de tecnologías apropiadas (Zuñiga Palma, 2016).

Por ultimo las áreas deseadas corresponden con actividades paralelas que mejoren las condiciones de producción y/o el estado psicológico del personal, como también las áreas destinadas a futuras expansiones (Zuñiga Palma, 2016).

En segundo lugar, se describen todos los productos y/o servicios que presta el proyecto, mediante la enunciación por tipo, presentación, cantidad, frecuencia de producción, precio de venta y los usuarios a los que va dirigido, en donde se debe definir el tipo de cliente, la cantidad a comercializar, y el canal de comercialización por el cual acceden al producto y/o servicio (Zuñiga Palma, 2016).

Para el establecimiento de las áreas de crecimiento, se identificarán dos propuestas de aprovechamiento de acuerdo con dos especies agrícolas y una forestal, distribuidas en monocultivos para la primera propuesta y en asociación para la segunda.

2.2.1. Definición de las propuestas

Una vez determinada la capacidad de carga territorial, se debe definir el biotipo de vegetación de acuerdo con la profundidad efectiva del suelo, y con respecto a esto se deben identificar especies vegetales que cumplan con el biotipo para ser evaluadas como escenarios para su implementación en el proyecto.

Para la evaluación de cada uno de los escenarios se debe determinar las especies que serán evaluadas, la Unidad Mínima Rentable, y las restricciones técnicas para la elaboración de un diseño tecnológico algorítmico que permita optimizar la utilización del espacio aprovechable, mediante la maximización de la renta de la tierra. (Zuñiga Palma, 2017)

2.2.1.1. Calculo de la Unidad Mínima Rentable

La unidad Mínima rentable se considera en actividades agropecuarias, como el área mínima que debe tener un predio para que el agricultor ingresos correspondientes a 2 salarios mínimos legales mensuales vigentes (Zuñiga Palma, 2017) de manera que se calcula como se muestra en la Ecuación 34 Renta de un cultivo

Ecuación 34 Renta de un cultivo

$$\frac{IT - CT}{Cm} = \frac{I}{Ha}$$

En donde:

IT: Ingresos Totales

CT: Costos Totales

Cm: Ciclo Mensual del cultivo.

I / Ha: Ingreso Mensual por Hectárea

De esta manera se realiza la relación para obtener la cantidad necesaria de tierra para obtener 2 salarios mínimos.

2.2.1.2. Restricciones y limitantes técnicos

Las Restricciones se constituyen como limitantes al óptimo desarrollo de las actividades agropecuarias, dichas restricciones pueden ser de índole matemática, económica y tecnológica, los cuales pueden depender del nivel de creatividad escogido por el formulador de acuerdo con la matriz de creatividad de Bird.

Las restricciones matemáticas corresponden con los limitantes lógicos que permitan la aplicación de los resultados a un contexto real, por otro lado esta restricción corresponde a los niveles de creatividad que van desde la imitación al reto; a continuación se encuentra las restricciones con respecto a los factores de producción, es decir al capital, mano de obra, y tierra disponible, los cuales definen un nivel de planificación, posteriormente se definen las restricciones de carácter tecnológico, como el diseño geométrico – área, diseño de tecnologías a emplear que determinan el nivel de creatividad de lo práctico, y por último la generación de nuevas restricciones llevan al nivel de creatividad de la innovación.

Los limitantes corresponden a los valores totales para cada restricción a los que tiene acceso el proyecto, como por ejemplo el área total productiva, o la cantidad máxima de mano de obra contratable, entre otras.

Posteriormente se define la restricción ya sea de maximización de la utilidad o de minimización de los costos.

2.2.1.3. Modelo tecnológico a emplear

Para este caso se opta por la implementación del modelo algorítmico lineal, mediante el método simplex y la técnica (software) PHPSimplex.

2.2.1.3.1. Construcción del modelo

Una vez definidos tanto los escenarios, como las restricciones se deben plantear en forma de ecuaciones para los escenarios y de inecuaciones para las restricciones; y por el otro lado la función de optimización de la siguiente manera

X1= Escenario 1 X2= Escenario 2 X3= Escenario 3

2.2.1.4. Primera restricción: necesidad de tierra:

$$\mathrm{UMR(X1)} + \mathrm{UMR(X2)} + \mathrm{UMR(X3)} \leq \mathrm{ATU}$$

Donde UMR es la unidad mínima rentable para cada uno de los escenarios respectivamente y AT corresponde al área total utilizable por el proyecto.

2.2.1.5. Segunda restricción: Mano de obra por hectárea

$$a(X1) + b(X2) + c(X3) = MOT$$

Donde a, b y c se constituyen como la cantidad de jornales que se necesitan por escenario, y MOT como la mano de obra total que se puede contratar con los recursos disponibles por el proyecto.

2.2.1.6. Tercera restricción: Maquinas hora

$$\alpha(X1) + \beta(X2) + \gamma(X3) = HMT$$

Donde α, β y γ corresponden con el capital representado en horas maquina por cada uno de los escenarios y HMT son las horas maquinas totales que puede proporcionar el proyecto.

Por último, se define la función de maximización:

$$\delta(X1) + \varepsilon(X2) + \zeta(X3) = ?$$

En la que las constantes corresponden a la utilidad por variable al final del ciclo mensual, de esta manera mediante la aplicación del método simplex en el software PHPSIMPLEX, se determinan los valores para cada variable de forma que se satisfagan las restricciones y se obtenga el mayor beneficio económico.

2.2.1.6.1. Aplicación del modelo construido

Se incorporan los valores de las constantes para las funciones restricciones, y para la función de optimización y se continua con las instrucciones dadas por el software.

2.2.1.6.2. Verificación del modelo construido

Una vez proporcionados los valores resultados por parte del programa, estos se reemplazan en la inecuación restricción de tierra, para así comprobar si esta se cumple, de ser este el caso los valores resultado se toman por válidos para cada una de las restricciones.

2.2.1.6.3. Solución

Los valores de las variables aceptados se deben reemplazar en todas las inecuaciones para conocer los valores estimados para tierra, jornales, capital y utilidad para cada escenario y en el total del sistema.

2.2.2. Determinación de la propuesta a emplear.

Una vez elaborados los modelos tecnológicos, se evalúan para determinar su factibilidad en términos de la mano de obra necesaria, y el capital necesario para la puesta en marcha del proyecto.

2.3. Selección y síntesis de descripción del proceso de producción.

En este apartado se describe de forma detallada el proceso de producción teniendo especial énfasis en las tecnologías elegidas para ser aplicadas, dando como conclusión el diagrama de flujo de los procedimientos a llevar a cabo (Zuñiga Palma, 2016).

2.4. Etapas del proyecto

Aquí se describen de forma detallada las etapas de instalación y de funcionamiento en las que se menciona el qué, el cómo, el cuándo, el dónde, con qué y con quien se realizara cada una de las actividades necesarias para la implementación del proyecto (Zuñiga Palma, 2016).

En la etapa de instalación se deben dar a conocer las actividades concernientes al cerramiento del lote, la acometida de servicios, la adecuación del terreno, excavaciones, movimientos de tierra, construcción de infraestructura, emplazamiento y prueba de máquinas y equipos (Zuñiga Palma, 2016).

En la etapa de funcionamiento se deben mencionar las actividades correspondientes

al desarrollo del proceso productivo y actividades de mantenimiento de carácter preventivo y/o correctivo de las estructuras como de la maquinaria y equipos (Zuñiga Palma, 2016).

2.5. Identificación y estimación de insumos, fuentes, vertimientos, emisiones y residuos.

En esta sección se definen la cantidad de insumos, sus fuentes y los residuos, emisiones y vertimientos que se generan por su utilización en cada una de las etapas del proyecto, así mismo se deben describir los recursos naturales a emplear y/o afectar como también otros recursos productivos, en donde se deben dar a conocer los rendimientos por unidad producida o servida.

2.6. Flexibilidad del proceso de producción

La flexibilidad del proyecto corresponde con la capacidad física de las edificaciones y en el funcionamiento de la maquinaria emplazada de manera que se definan las holguras en tiempo y espacio, así como también en recursos naturales a emplear y otros recursos como mano de obra (Zuñiga Palma, 2016).

2.7. Cronograma y presupuesto

Para finalizar se deben realizar el cronograma del proyecto de inversión mediante un diagrama de Gantt, así como también se debe presentar un presupuesto por cada una de las actividades propuestas.