

**VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LA ZONA ALUVIAL DE BUCARAMANGA**

**JORGE ELIECER GONZALEZ GALLEGO
LEONARDO ADRIAN CAMARGO BARRERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

**VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LA ZONA ALUVIAL DE BUCARAMANGA**

**JORGE ELIECER GONZALEZ GALLEGO
LEONARDO ADRIAN CAMARGO BARRERA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero civil

Directora:

PhD. Sully Gómez Isidro

Co-Director

Ing. José Alfredo Ruedas Núñez

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

AGREDECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la directora del proyecto, la doctora Sully Gómez, por su valiosa orientación.

Al ingeniero José Alfredo Rueda Núñez, por su aporte valioso y quien colaboro en la realización de este proyecto.

A nuestra alma mater y en especial a la escuela de ingeniería civil, la cual por medio de su profesorado nos formo hasta alcanzar este logro.

Y a todos aquellos que de otra forma siempre creyeron en nosotros y contribuyeron a la realización de esta meta.

DEDICATORIA

A DIOS por una vida llena de oportunidades y bendiciones

A mi madre, padre y hermana mis fuentes de vida.

A toda mi familia que siempre estuvo ahí apoyándome, mi mayor motivación.

A todos mis amigos que contribuyeron y animaron en esta etapa.

Jorge González

DEDICATORIA

A Dios, por la vida.

A mama Elis que me crio y me saco adelante para ser una persona de bien.

A mi papi José por su apoyo y comprensión.

*A mi tíos, Segundo, Álvaro, Yaneth, Huguez y Carlño por ser un ejemplo
Admiración y apoyo en toda mi vida.*

A mis hermanos Carlos José E Irina por su apoyo condicional.

A mis sobrinos y primos por su motivación.

A mis amigos que de alguna forma contribuyeron para alcanzar esta meta.

Leonardo Camargo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1 GENERALIDADES.....	18
1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL	18
1.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
2 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR VULNERABILIDAD	20
2.1 TIPOS DE ACUÍFEROS	20
2.2 VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS	20
2.3 METODOLOGÍA DRASTIC	21
2.4 METODOLOGÍA GOD.....	25
3 REVISIÓN E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA DISPONIBLE	28
3.1 INFORMACIÓN TÉCNICA CONSULTADA	29
3.2 PROFUNDIDADES DEL NIVEL FREÁTICO	30
3.3 RECARGA	31
3.4 ZONA NO SATURADA Y LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO	31
3.5 SUELOS	31
3.6 TOPOGRAFÍA - PENDIENTE.....	32
3.7 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	32
3.8 TIPO DE ACUÍFERO	33
4 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	34
4.1 ACUÍFERO PROFUNDO DE BUCARAMANGA.....	38
4.2 ACUÍFERO DE LA CUMBRE	39
4.3 ACUÍFERO ÍGNEO-METAMÓRFICO FRACTURADO Y METEORIZADO.....	39
4.4 ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DE PALONEGRO	41
4.5 ACUÍFERO MESA SEDIMENTARIA DE LEBRIJA.....	41
4.6 ACUÍFERO MESA SEDIMENTARIA DE RUITOQUE.....	42

4.7	ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DEL PIEDEMORTE	43
4.8	ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DE BAJOS DE RUITOQUE	44
5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
5.1	METODOLOGÍA GOD	45
5.1.1	Ocurrencia del Agua Subterránea (G).....	45
5.1.2	Substrato Litológico (O).....	47
5.1.3	Profundidad (D)	49
5.2	METODOLOGÍA DRASTIC	50
5.2.1	Profundidad hasta el nivel freático (D)	50
5.2.2	Recarga Neta (R)	51
5.2.3	Naturaleza del Acuífero (A)	52
5.2.4	Suelos (S)	54
5.2.5	Topografía (T)	55
5.2.6	Zona no Saturada (I)	55
5.2.7	Conductividad Hidráulica. (C).....	56
5.3	Realización de Mapas.....	57
5.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
5.4.1	Metodología GOD	65
5.4.2	Metodología DRASTIC.....	66
5.5	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS	66
6	CONCLUSIONES.....	69
7	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	72
1.	ANEXOS	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Localización General de la zona de estudio	18
Figura 1.2 Localización de la zona de estudio	19
Figura 2.4 Caracterización de la vulnerabilidad GOD	26
Figura 5.1 Parámetros Metodología DRASTIC	59
Figura 5.2 Parámetros Metodología DRASTIC	60
Figura 5.3 Parámetros Metodología DRASTIC	61
Figura 5.4 Vulnerabilidad Metodología DRASTIC	62
Figura 5.5 Parámetros Metodología GOD	63
Figura 5.6 Vulnerabilidad Metodología GOD	64

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1a Profundidad del agua (D)	22
Tabla 2.1b Recarga neta (R)	22
Tabla 2.1c Tipo de acuífero (A)	23
Tabla 2.1d Tipo de suelo (S)	23
Tabla 2.1e Topografía (T)	23
Tabla 2.1f Zona no saturada (I)	24
Tabla 2.1g Conductividad Hidráulica (C)	24
Tabla 2.2 Categorías de Vulnerabilidad DRASTIC	24
Tabla 2.3 Categorías de Vulnerabilidad GOD	27
TABLA 2.4 Puntos de medición de agua subterráneas	28
Tabla 4.1 Características Estratigráficas de la Formación Bucaramanga.	34
Tabla 4.2 Permeabilidades de la Formación Bucaramanga	37
Tabla 5.1 Calificación para la condición del acuífero GOD.	46
Tabla 5.2 Calificación para el Substrato Litológico GOD.	48
Tabla 5.3 Calificación para profundidades del agua GOD.	50
Tabla 5.4 Calificación para las Profundidades del agua DRASTIC.	51
Tabla 5.5 Calificación DRASTIC para la recarga neta	51
Tabla 5.6 Clasificación DRASTIC zona saturada	53
Tabla 5.7 Clasificación DRASTIC para la naturaleza de los suelos.	54
Tabla 5.8 Clasificación DRASTIC para topografía.	55
Tabla 5.9 Clasificación DRASTIC para Zona saturada	56
Tabla 5.10 Clasificación para la conductividad DRASTIC.	57
Tabla 5.11 Resultados de Vulnerabilidad GOD	67
Tabla 5.12 Resultados de Vulnerabilidad DRASTIC	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: NIVELES PIEZOMETRICOS OCTEBRE DE 1985	75
ANEXO B: POZOS PROFUNDOS	77
ANEXO C: SUPERFICIE DE NIVELES FREATICOS GENERADOS MEDIANTE INTERPOLACION	78
ANEXO D: PERFIL 1-1´DIRECCION NORTE - SUR	79
ANEXO E: PERFIL 2-2´ DIRECCIÓN ESTE - OESTE.	80
ANEXO F: PLANOS UNIDADES HIDROGEOLOGÍCAS	81

RESUMEN

TITULO:

VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL AGUA SUNTERRANEA EN LA ZONA ALUVIAL DE BUCARAMANGA*

AUTORES:

CAMARGO BARRERA, Leonardo Adrian

GONZALES GALLEGO, Jorge Eliecer**

PALABRAS CLAVES:

Vulnerabilidad, Contaminación, Acuíferos, aguas subterráneas, DRASTIC, GOD

DESCRIPCION:

Actualmente el agua subterránea es fundamental para la comunidad de la ciudad de Bucaramanga ya que es un hecho que en la ciudad el recurso hídrico subterráneo no solo existe, sino que además es utilizado por una parte de la población y está expuesto a efectos de contaminación.

El objetivo de esta investigación es determinar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos presentes en la zona aluvial de Bucaramanga por medio de las metodologías DRASTIC y GOD. Estas metodologías son internacionalmente reconocidas y buscan establecer la capacidad de atenuación de contaminantes por eliminación, retardación y dilución, para cargas impuestas en la superficie. Para estimar cada uno de los parámetros utilizado por cada metodología se realizó una recopilación de toda la información existen relacionada con SEV's, piezómetros, cisternas, pozos profundos, planos geológicos y perfiles de suelos. Luego mediante el software Surfer se generó las superficies freáticas de los acuíferos, y con el sistema de información geográfica ArcGis 9.3 se elaboraron los mapas de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.

Según la metodología DRASTIC por sus características hidrogeológicas presenta en la mayoría de la zona de estudio una vulnerabilidad muy baja y no se presenta una vulnerabilidad extrema, la metodología GOD se presenta las cinco categorías siendo la moderada la más representativa. Estos resultados constituyen una base de gestión ambiental y un punto de partida para investigaciones encaminadas a la protección de los acuíferos contra la contaminación.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. M. Sc., Ph D Sully Gómez Isidro, Ing. José Alfredo Rueda.

ABSTRACT

TITLE:

VULNERABILITY TO POLLUTION OF GROUNDWATER IN THE AREA OF ALLUVIAL BUCARAMANGA*

AUTHORS:

CAMARGO BARRERA, Leonardo Adrian

GONZALES GALLEGO, Jorge Eliecer**

KEYWORDS:

Vulnerability, Pollution, Aquifers, Groundwater, DRASTIC, GOD.

DESCRIPTION:

Currently groundwater is critical to the community of the city of Bucaramanga and it is a fact that in the city underground water resources not only exists, but is also for a portion of the population is exposed to pollution effects.

The objective of this research is to determine the vulnerability to pollution of aquifers in the area of Bucaramanga flood through the DRASTIC and GOD methods. These methodologies are internationally recognized and sought to establish the attenuation capacity of pollutants by elimination, retardation and dilution, for loads on the imposed on the surface. To estimate each of the parameters used by each method was made a compilation of all information related there SEV's, piezometers, tanks, deep wells, geological maps and soil profiles. After using the software Surfer was generated surfaces of groundwater aquifers, and the geographic information system ArcGis 9.3 maps were developed vulnerability to pollution of aquifers.

According to the DRASTIC methodology for hydrogeological characteristics present in most of the study area vulnerability very low and there is an extreme vulnerability, the methodology GOD presents the five categories being the most representative moderate. These findings provide a basis for environmental management and a starting point for investigations aimed at the protection of aquifers against pollution.

* Degree Project

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Ing. M. Sc., Ph D Sully Gómez Isidro, Ing. José Alfredo Rueda.

INTRODUCCIÓN

En la región de Bucaramanga el agua subterránea se utiliza en usos como lavaderos de carros, moteles e industrias, es poco conocida y se utiliza sin control. Existen pozos y cisternas de los cuales se tiene poca información.

Las aguas subterráneas son un producto atractivo por su buena calidad y bajo costo de aprovechamiento, por su naturaleza subterránea poseen un medio de protección natural brindado por el substrato litológico, por otro lado, un grado de susceptibilidad generado por la posible disposición de contaminantes sobre el lecho protector. En función de parámetros como litología, grado de consolidación, fracturamiento, recarga hidráulica, entre otros, existirán condiciones diferentes para que el contaminante pueda alcanzar el medio acuífero.

La aplicación de las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas da como resultado el conocimiento de la capacidad de atenuación de los parámetros intrínsecos que conforman la zona hidrogeológica.

En otros países y también en Colombia (Bajo cauca, Sucre, Valle del Cauca) se ha aplicado metodologías como GOD y DRASTIC obteniendo así herramientas cartográficas muy prácticas para toma de decisiones y manejo del recurso hídrico subterráneo.

En este trabajo se aplican las dos metodologías anteriores a partir de la información hidrogeológica disponible en la región de Bucaramanga, su zona metropolitana y zonas que conforman la parte media y baja de la CSRL. Se analizan los resultados y se recomiendan la que se adopte mejor a las condiciones del medio.

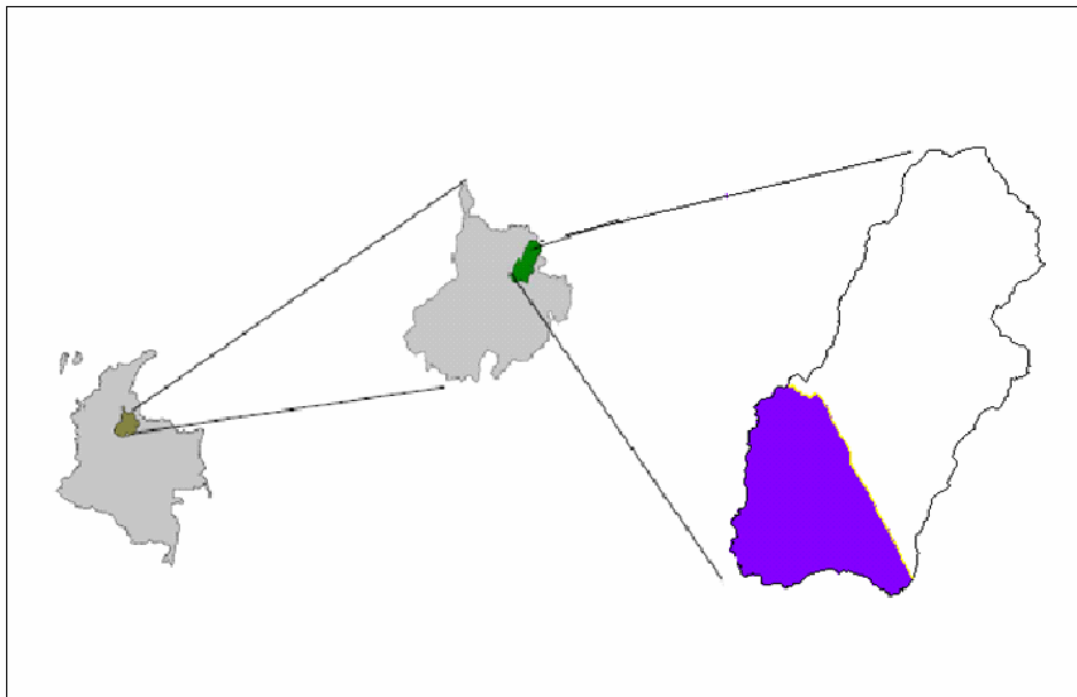
1 GENERALIDADES

Las condiciones generales de la zona de estudio se describen a continuación:

1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

La región estudiada se encuentra ubicada en el departamento de Santander (Colombia) las cuales se circunscriben parcialmente a los municipios de Piedecuesta, Girón, Bucaramanga y a la totalidad del municipio de Floridablanca. Esta geográficamente ubicada según IGAC entre los $6^{\circ} 55' N$ - $7^{\circ} 10' 20'' N$, y los $72^{\circ} 57' 50'' E$ - $73^{\circ} 13' 10'' E$ y posee elevaciones desde los 1200 msnm en la Mesa de Ruitoque, hasta los 600 msnm en el sector de Café Madrid.

Figura 1.1 Localización General de la zona de estudio

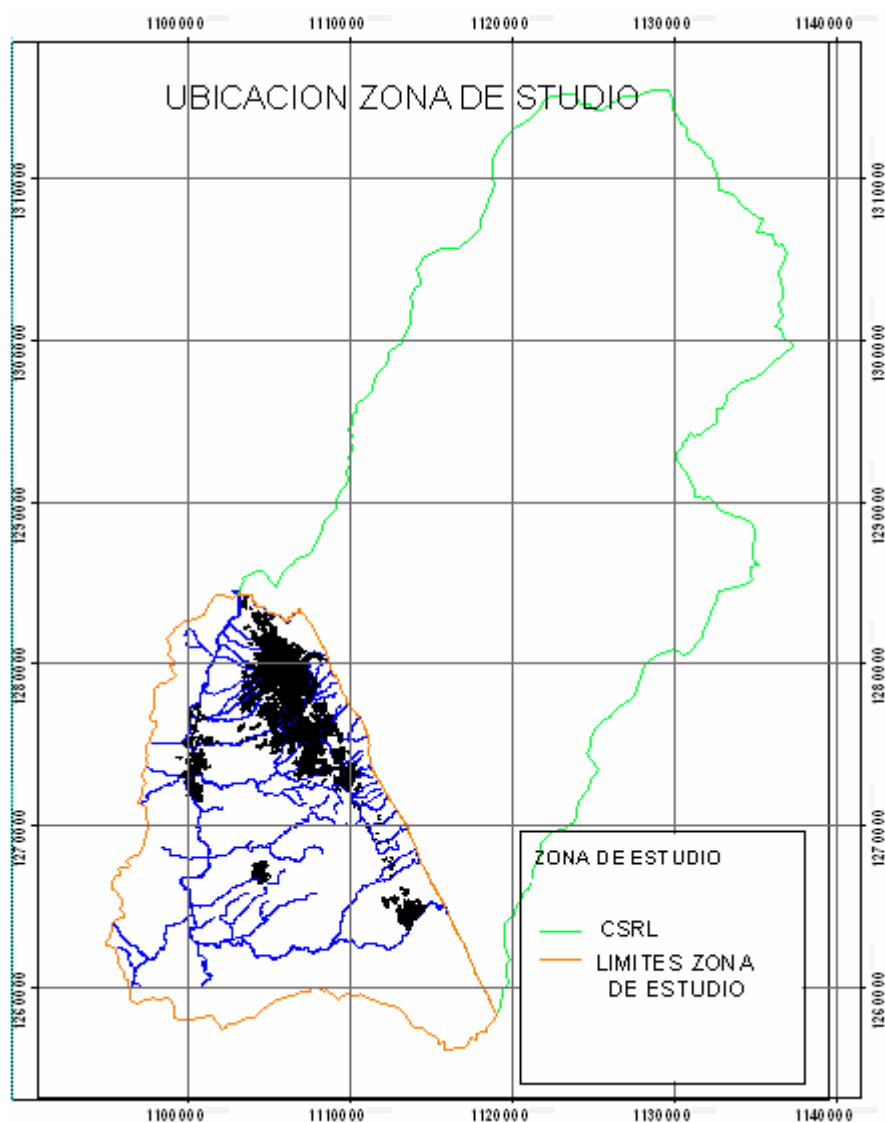


Fuente: Elaboración Propia

1.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está limitada al Norte por el Rio Suratá, al Oriente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta, al Occidente y Sur por la línea del parte aguas de la cuenca superior del rio Lebrija (CSRL). Comprende un área aproximada de 395.95 Km².

Figura 1.2 Localización de la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

2 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR VULNERABILIDAD

A continuación se definen algunos conceptos y las metodologías que se utilizarán en este trabajo.

2.1 TIPOS DE ACUÍFEROS

Los acuíferos son estructuras del subsuelo capaces de almacenar y ceder agua subterránea.

Clasificación de acuerdo a los criterios de la presión. La clasificación en función de la presión del agua en el seno del acuífero lleva a clasificarlos en:

Libres: el nivel permeable está directamente en contacto con la atmósfera. La presión del agua en el acuífero se iguala a la atmosférica por debajo del techo del mismo.

Confinados: el techo del acuífero es un acuícluido (impermeable): La presión del agua en el seno del acuífero se estabiliza con la atmosférica por encima de su techo.

Semiconfinados: es el caso más común. El techo del acuífero es un acuitardo (semipermeable), y la presión del agua se estabiliza por encima de su techo.

2.2 VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS

Desde que Margat (1968) introdujo el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica. (Auge, 2004)

Hasta la fecha, sin embargo, no se ha logrado consenso sobre el alcance del término y en este sentido, existen dos grandes corrientes. Una corriente

representada por los investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio acuífero sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (Vulnerabilidad Intrínseca) y la otra corriente en la que se agrupan los que si le otorgan la trascendencia de la carga contaminante (Vulnerabilidad específica). (Auge, 2004)

En este trabajo el término de vulnerabilidad a contaminación del acuífero se utiliza para representar las características intrínsecas que determinan la sensibilidad del acuífero a ser adversamente afectadas por una carga contaminante impuesta. (Foster e Hirata1991).

2.3 METODOLOGÍA DRASTIC

Es un modelo elaborado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) para la evaluación de la contaminación potencial llamado "Índice DRASTIC". El acrónimo DRASTIC proviene de las siglas de los siguientes parámetros.

D = Profundidad desde la superficie hasta el nivel freático

R = Recarga neta

A = Tipo de acuífero

S = Tipo de suelo (litología del acuífero)

T = Topografía, pendiente

I= Zona no saturada

C = Conductividad hidráulica

Para aplicar este método debe asumirse que el posible contaminante tiene la misma movilidad en el medio que el agua, que se introduce por la superficie del terreno y se incorpora al agua subterránea mediante la recarga (lluvia y/o retorno de riego). Se aplica a acuíferos libres y confinados, pero no a los semiconfinados, que deben valorarse de manera que puedan adaptarse a uno de los tipos definidos.

El índice DRASTIC es calculado con estos parámetros de la siguiente manera:

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Índice DRASTIC}$$

Donde los subíndices r y w significan factor de clasificación y factor de ponderación respectivamente.

Este método provee una forma simple de asignar la susceptibilidad de ciertas áreas a la contaminación. Los factores de clasificación se establecen del 1 al 10, mientras los factores de ponderación varían según el factor implicado y se establecen de 1 al 5. Los factores más importantes son la profundidad del nivel de agua, el tipo de suelo y la zona no saturada. Además los factores de ponderación cambian cuando se trata de agentes contaminantes pesticidas.

A continuación se muestran las tablas de los factores de clasificación y ponderación de cada parámetro utilizado para determinar el índice DRASTIC.

Tabla 2.1a Profundidad del agua (D)

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN D_r
< 1,5	10
1,5 – 5	9
5,0 - 10,0	7
10,0 - 20,0	5
20,0 - 30,0	2
> 30	1
	PONDERACIÓN D_w
	5

Tabla 2.1b Recarga neta (R)

RECARGA (mm)	CLASIFICACIÓN R_r
0 – 50	1
50 – 100	3
100 – 180	6
180 – 255	8
> 255	9
	PONDERACIÓN R_w
	4

Tabla 2.1c Tipo de acuífero (A)

TIPO DE ACUÍFERO	RANGO DE CLASIFICACIÓN A_r	VALOR TÍPICO A_r
Arcillas, margas, limos	1 - 3	2
Ígneas/metamórficas	2 - 5	3
Ígneas/metamórficas alteradas	3 - 5	4
Alternancias de areniscas, arcillas y calizas	5 - 9	6
Areniscas masivas	4 - 9	6
Calizas masivas	4 - 9	6
Arenas, gravas y conglomerados	4 - 9	8
Volcánicas	2 - 10	9
Calizas carstificadas	9 - 10.	10
	PONDERACIÓN A_w	4

Tabla 2.1d Tipo de suelo (S)

TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN S_r
Arcilla no expansiva y agregada	1
Suelo orgánico	2
Marga arcillosa	3
Marga limosa	4
Marga	5
Marga arenosa	6
Arcilla expansiva y/o agregada	7
Turba	8
Arena	9
Grava	10
Delgado o ausente	10
	PONDERACIÓN S_w
	2

Tabla 2.1e Topografía (T)

PENDIENTES (%)	CLASIFICACIÓN T_r
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1
	PONDERACIÓN T_w
	1

Tabla 2.1f Zona no saturada (I)

TIPO DEL MEDIO	RANGO DE CLASIFICACIÓN I_r	VALOR TÍPICO I_r
Capa confinante	1	1
Arcillas, margas, limo	1 - 2	1
Esquistos, pizarras	2 - 5	3
Calizas	2 - 7	6
Areniscas	4 - 8	6
Alternancia de calizas, areniscas y arcillas	4 - 8	6
Arenas y gravas con contenido en arcilla	4 - 8	6
Metamórficas, ígneas	2 - 8	4
Arenas y gravas	6 - 9	8
Volcánicas	2- 10	9
Calizas carstificadas	8 - 10	10
	PONDERACIÓN I_w	5

Tabla 2.1g Conductividad Hidráulica (C)

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	CALIFICACIÓN C_r
< 4	1
4.0 - 12	2
12.0 - 28	4
28.0 - 40	6
40.0 - 80	8
> 80	10
	PONDERACIÓN C_w
	3

Tabla 2.2 Categorías de Vulnerabilidad DRASTIC

GRADO DE VULNERABILIDAD	DRASTIC
Vulnerabilidad Muy baja	< 119
Vulnerabilidad Baja	120 -139
Vulnerabilidad Moderada	140 -159
Vulnerabilidad Alta	-199
Vulnerabilidad Extrema	>200

2.4 METODOLOGÍA GOD

El método de GOD fue desarrollado en 1987 por Foster, y trata de ser simple y sistemático. El método determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante. Este método establece la vulnerabilidad del acuífero, como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Foster e Hirata, 1991).

Se trata de un método empírico que establece la vulnerabilidad relativa como la interacción entre la inaccesibilidad hidráulica y la capacidad de atenuación, factores que poseen relaciones complejas que dependen de gran cantidad de variables difíciles sino imposibles de cuantificar. Para solventar este inconveniente la metodología utiliza la clasificación de tres fases discretas que son:

Distancia del agua

Ocurrencia del agua subterránea

Substrato litológico

La vulnerabilidad según el método se calcula como el producto de los siguientes factores:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = G * O * D$$

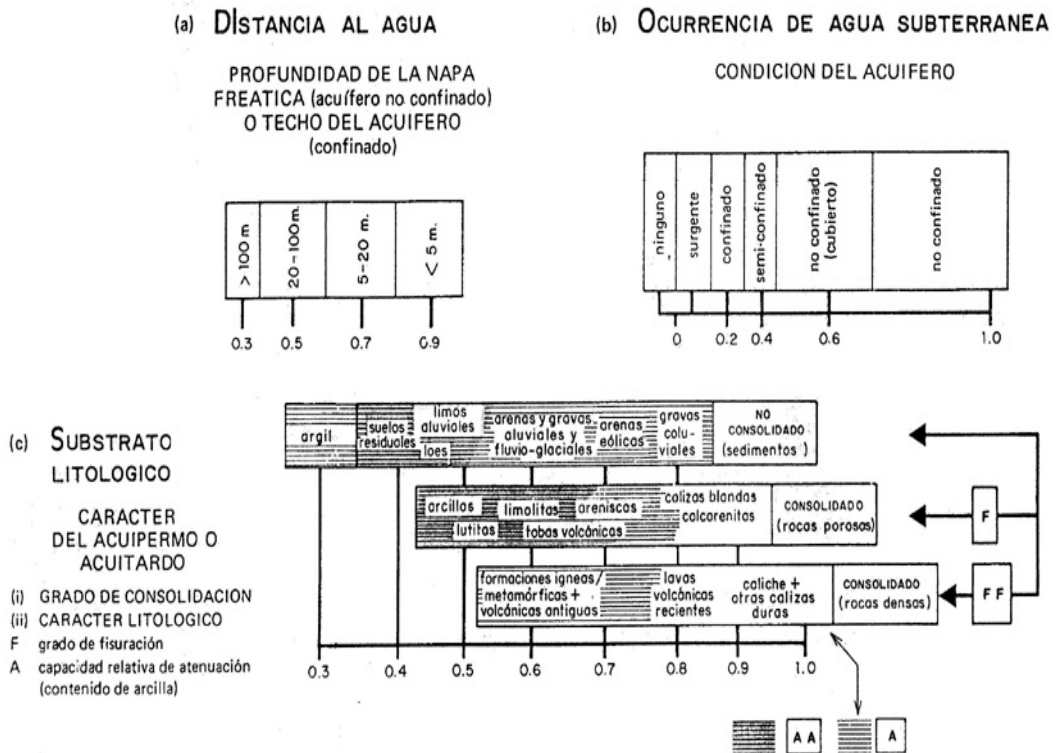
G: Se refiere a la condición de confinamiento del acuífero y establece las siguientes categorías: no confinado, no confinado-cubierto, semiconfinados, y sin presencia de acuífero ver figura (2.4). La condición de confinamiento de los acuíferos es una función que interviene directamente en la vulnerabilidad natural del agua subterránea ante una contaminación potencial, ya que en general en acuíferos confinados el acceso de contaminantes es más restringido.

0: Este parámetro incluye una caracterización global de la zona que suprayace al acuífero en cuanto a la naturaleza litológica, al grado de consolidación y el fracturamiento de la roca ver figura (2.4).

D: Profundidad del nivel freático en acuíferos libres o profundidad del estrato litológico confinante en acuíferos confinados.

La metodología da un puntaje a cada parámetro de acuerdo con su capacidad de atenuación. Una vez valorado cada parámetro se calcula el índice de vulnerabilidad total multiplicando los valores asignados a cada uno de estos, obteniéndose valores de 0 a 1, donde un índice cero "0" indica una vulnerabilidad despreciable y un índice "1" una vulnerabilidad extrema a la contaminación

Figura 2.4 Caracterización de la vulnerabilidad GOD



CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO

Para cada componente, se indica un índice comparativo de peligrosidad creciente.

FUENTE: (Foster e Hirata, 1991)

Tabla 2.3 Categorías de Vulnerabilidad GOD

GRADO DE VULNERABILIDAD	GOD
Vulnerabilidad Muy baja	0 - 0.1
Vulnerabilidad Baja	0.1 - 0.3
Vulnerabilidad Moderada	0.3 - 0.5
Vulnerabilidad Alta	0.5 – 0.7
Vulnerabilidad Extrema	0.7 - 1

FUENTE: (Foster e Hirata, 1991)

3 REVISIÓN E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA DISPONIBLE

Apoyados en la información existente, se realizó la recopilación de los informes para la determinación de los parámetros requeridos por las metodologías de evaluación de vulnerabilidad (GOD y DRASTIC) que serán aplicadas en este trabajo para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en la región de Bucaramanga. Se llevó a cabo la recolección de información en cuanto a piezómetros, pozos profundos construidos en la zona de estudio, cisternas, concesiones de agua subterránea, sondeos geoelectricos y prospecciones geofísicas. También se reviso la información geológica existente que presenta relación con el comportamiento hidrogeológico de las diferentes formaciones presentes en el área de estudio. En la tabla (2.4) se hace el inventario de los pozos, cisternas y piezómetros encontrados en la zona. La información concerniente a los pozos profundos ver ANEXO B.

TABLA 2.4 Puntos de medición de agua subterráneas

Puntos de medición de agua subterránea	Numero	Tipo de información	Entidad origen	Localización
Pozos profundos	19	Profundidad, caudal	Ingeniería Suelos	En mapa
Piezómetros	67	Niveles freáticos	CDMB, (Gómez, S.1990)	En mapa
Cisternas	10	Niveles freáticos	GPH	En mapa

FUENTE: Elaboración propia

Es de resaltar que tras la recolección de información realizada, algunas áreas de interés cuentan con escasa información para determinar un comportamiento ajustado al real de los niveles freáticos, motivo por el cual en algunos casos se generaliza un comportamiento o patrón con los datos que se llegan a encontrar.

3.1 INFORMACIÓN TÉCNICA CONSULTADA

Para la definición de los parámetros que se utilizaron en cada metodología se consultaron los siguientes informes:

Informe del Estado del Conocimiento en la Investigación de Aguas Subterráneas en la Terraza de Bucaramanga. Ingeniería de Suelos Ltda. Septiembre de 1991

Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga. Ingeniería de Suelos Ltda. Octubre 17 de 2002

Estudio Geoelectrico Realizado en el Área Metropolitana en el Proyecto "Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga". Carlos M. Wandurraga B. Abril de 2003

Prospección Geoelectrica para evaluar las posibilidades acuíferas en la meseta de. Hidrogeocol Ltda.

Asesoría Geológica en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Para la Exploración de Aguas Subterráneas. Zambrano, J. Rey, A. 2003

Modelo Geologico-Geofisico para el Área Metropolitana de Bucaramanga. INGEOMINAS, Bermoudes, O. Vásquez, L.

Estudio Técnico para la Declaración del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (D.M.I) de Bucaramanga. CDMB, Ingeniería de Suelos, octubre de 1996.

Predicción de Niveles Freáticos a Partir de la Precipitación y su Influencia en la Estabilidad de Taludes Caso de Aplicación: Meseta de Bucaramanga. Gómez, S. 1990

Informe Construcción Pozo Zona Norte. p & p Ltda. CDMB, febrero de 1992.

Proyecto de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región Central del Departamento de Santander Acuerdo Específico 002/05 - Tomo I

Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander, INGEOMINAS, Bucaramanga, abril de 2007.

Interpretación entre Sistemas Hidrogeológicos para el Estudio del Fenómeno de Recarga en el Macizo de Santander e Identificación de Acuíferos, UIS – Gómez, S. Colciencias. Bucaramanga, noviembre de 2003

Plan de Ordenamiento Ambiental de la Subcuenta del río de oro, tomo II Informe Final, CDMB, Bucaramanga, junio 2004.

Estudio Hidrogeológico y Fortalecimiento Social Para la Vereda de Acapulco. uis, Bucaramanga, diciembre de 2001.

Asesoría de Prospección Geofísica y Estudio Hidrogeológico en la Zona del Sistema de Fallas Bucaramanga Santa Marta. , GPH, Bucaramanga, Mayo de 2003

3.2 PROFUNDIDADES DEL NIVEL FREÁTICO

En la definición de la profundidad del nivel freático se reunió la información de Piezómetros, pozos profundos, cisternas, se identificaron zonas de afloramiento de agua subterránea, además de tener en cuenta todos los Sondeos Eléctricos encontrados en la Información Técnica Consultada que brindaran información de Niveles Freáticos.

Es de resaltar que la zona comprendida desde el Río de Oro en Piedecuesta hacia la Mesa de Los Santos no cuenta con información para definir o hacer una estimación del comportamiento de las profundidades a los niveles freáticos, por tal motivo no se define una zona acuífera en esta área.

3.3 RECARGA

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta en la superficie y vertida en el agua subterránea por la precipitación. Basados en esta definición los valores de recarga aquí tomados son los correspondientes a la recarga local, aunque se conoce que en la región la recarga a los sistemas acuíferos de la meseta de Bucaramanga es principalmente producida por recarga lateral proveniente del Macizo de Santander, con escalas de circulación entre la zona de recarga y los acuíferos de 10 Km o más. (Gómez, S., Ulloa, A. 2007)

En la zona de estudio los valores de recarga fueron asumidos como valores de la recarga potencial obtenidos en el informe Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander, INGEOMINAS Bucaramanga Abril de 2007, figura 48 Pagina 162, ya que no se cuenta valores precisos de Recarga Efectiva en la Zona.

3.4 ZONA NO SATURADA Y LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO

Estos parámetros fueron interpretados de la geología estructural y Sondeos Eléctricos con su respectiva correlación hidrogeológica. Como geología se trabajo la encontrada en el informe de Zambrano, J. Rey, A. 2003 y se complemento esta con el Plano geológico Cuadrángulo H12 – Bucaramanga, INGEOMINAS, 1997.

3.5 SUELOS

Este parámetro fue obtenido de la clasificación de suelos realizada en el informe Plan de Ordenamiento Ambiental de la Subcuenca del Río de Oro, Tomo II Informe Final, CDMB, Bucaramanga, junio 2004, página 114 de la Caracterización biofísica, quienes realizan una clasificación de los suelos llegando hasta el nivel de subgrupo utilizando el sistema taxonómico americano

(Soil Survey Staff 1998). Además para estos subgrupos presentan una descripción y perfil del suelo correspondientes a la clasificación del USDA (United States Department of Agriculture).

3.6 TOPOGRAFÍA - PENDIENTE

Se obtuvieron los valores de pendiente a partir del modelo digital de Elevaciones para La cuenca Superior del Rio Lebrija, realizado en el proyecto de grado Elaboración del Modelo Digital de Elevaciones Cuenca Superior Rio Lebrija, Pérez, D. Bucaramanga Junio de 2010, del cual se extrajo la zona correspondiente al área de estudio.

3.7 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

En la región se tiene muy limitada información de conductividades hidráulicas debido a que existen pocas pruebas de bombeo. Algunos valores de conductividad se tomaron con base en los informes de las pruebas de bombeo realizadas en los pozos profundos construidos en la zona como lo son:

Pozo zona Norte (P&P Ltda.1992), perforación Profunda de Metrocentro (ETA 1979), pruebas hidráulicas realizadas en las perforaciones de Pan de Azúcar, Parque la Flora y Albania. (Gómez, S. Colegial, J. 2003)

Esta información no es representativa para la totalidad de la zona de estudio, los valores se asignaron a cada unidad hidrogeológica en la que se encuentran ubicados dichos pozos, (ver Plano 01 anexo). No se cuenta con información de pruebas de bombeo en sectores como la Mesa de Ruitoque, Bloque Sedimentario Fracturado de Palonegro, Mesa Sedimentaria de Lebrija , por lo tanto en función de la roca constituyente de la unidad hidrogeológica se tomaron valores representativos de conductividad consultados en: Wheatcraft (1992).

3.8 TIPO DE ACUÍFERO

La determinación del acuífero en condiciones de tipo libre o confinado, no fue posible obtenerla de pruebas de bombeo por lo tanto, se dedujo de la interpretación de la geología, de los mantos permeables y capas confinantes presentes en las formaciones geológicas distinguiendo la textura que se encontraba en los sondeos eléctricos. Igualmente desde el análisis de informes de los escasos pozos profundos.

Pozo zona Norte (P&P Ltda.1992)

Perforación Profunda de Metrocentro (ETA 1979)

Pruebas hidráulicas realizadas en las perforaciones de Pan de Azúcar.

La presencia de pozos saltantes como el Pozo Palenque con caudales semi-permanentes de 5 litros por segundo y el Pozo Terpel-Chimita con un caudal de 1.5 litros por segundo, construidos en la formación girón (Jg), dan lugar a la interpretación de confinamiento en el acuífero.

4 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

En la zona de estudio se encuentra las formaciones geológicas, el abanico aluvial de Bucaramanga, rocas sedimentarias (Formación Girón, Jordán, Tambor y Diamante) y rocas ígneas metamórficas conformadas por el Neis de Bucaramanga y las rocas intrusivas tipo granito y la Cuarzomonzonita.

El Abanico aluvial de Bucaramanga actualmente se ha reconocido que la Meseta de Bucaramanga, es una formación geológica tipo cono aluvial conformada por la unión de depósitos llamados abanicos, cuyo material proviene de las quebradas que nacen en el Macizo de Santander, con aportes secundarios de material proveniente del sur y occidente, estos sedimentos forman los acuíferos de Bucaramanga. Los depósitos de la meseta están conformados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables. Entre estos depósitos se destaca la formación Bucaramanga conformada de techo a base por:

Tabla 4.1 Características Estratigráficas de la Formación Bucaramanga.

Miembro	Litología	Espesor Estimado (m)
Limos Rojos (Qblr)	Limos y arenas arcillosas y gravosas	Hasta 5m
Gravoso (Qbg)	Niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos	8 a 30
Finos (Qbf)	Alternancia de niveles arcillosos y limosos en la base Niveles areno limosos hacia el techo	15
Órganos (Qbo)	Limos arenosos hacia la base -Gravas, en alternancia con capas y lentes limoarenosos hacia el techo	180

Fuente: INGEOMINAS, 2004

Se describe a continuación los miembros que conforman la Formación Bucaramanga:

- **MIEMBRO ÓRGANOS (Qbo).**

Definido por Hubach, E., (1952) y corresponde a la base de la formación Bucaramanga; está constituida por niveles limoarenosos de color gris con espesores que varían de a 3 a 5 m. según Bueno y Solarte (1994), corresponden a una serie monótona de niveles policimáticos, de fragmentos gruesos, de aspecto conglomeráticos, en alternancia con capas y lentes limoarenosos.

Las mejores exposiciones de este miembro se encuentran en el borde Occidental del abanico de Bucaramanga, además de aflora en el Cerro La Cumbre y en el sector de Lagos del cacique.

Con base en relaciones estratigráficas, se estima que su espesor puede alcanzar aproximadamente 180 m, siendo el nivel más potente de la Formación Bucaramanga. (Mancera y Salamanca, 1994).

- **MIEMBRO FINOS (Qbf).**

Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdosos. Los mejores afloramientos se encuentran en las canteras de la antigua ladrillera Bucaramanga y en la empresa de ladrillos y tubos donde es explotada para la producción de ladrillos y tejas. Otros sectores donde aflora son los barrios Ciudadela Real de Minas, Campo Hermoso y La Feria entre otros.

La secuencia del miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos:

- 1) **CONJUNTO ARCILLOSO:** Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación

plana paralela, en donde el espesor varia ampliamente, como en el barrio el Porvenir (9 m) y cuchilla de Palomitas (2 m).

- 2) **CONJUNTO ARENOSO:** Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro. En la cuchilla Palomita solo se observan las arcillas grises a verdes en contacto erosivo con el suprayacente miembro Gravoso (Qbg).

En el barrio Malpaso, el miembro Finos, muestra niveles arenosos abigarrados, con un nivel intermedio de base conglomeráticos, suprayaciendo un nivel arcillo arenoso, de color gris verdoso, moteado de blanco, producto de la alteración de los feldespatos.

- **MIEMBRO GRAVOSO (Qbg)**

Definido por Niño y Vargas (1992). Hace parte de la Formación Bucaramanga y se encuentran suprayaciendo el Miembro Finos e infrayaciendo al Miembro Limos Rojos de esta misma formación.

Está constituido por niveles gravosos y gravoarenosos de color amarillo, en una matriz areno – arcillo – limosa donde los cantos son de tamaño grava con un diámetro promedio de 10 cm.

Los afloramientos más representativos se encuentran en el tope del Cerro La Cumbre y en el sector de Lagos del Cacique. Su espesor varía entre 8 y 30 m aproximadamente.

- **MIEMBRO LIMOS ROJOS (Qblr)**

Definido por Julivert, M., (1963). Corresponde al tope de la Formación Bucaramanga y se encuentra suprayaciendo al Miembro Gravoso de la misma formación.

Está representado por limos de color rojizo con presencia de cantos de areniscas; sus mejores exposiciones se encuentran en los Barrios Zapamanga IV etapa, Las Villas, El reposo, en Lagos del Cacique y en lo que está construida hoy la ciudad de Bucaramanga.

Se ha identificado en esta formación la existencia de un acuífero superior contenido en el miembro Qbg (Gravoso), y un acuífero inferior contenido en el miembro Qbo (Órganos), a grandes profundidades (Gómez, S., Suarez J. 1991). El acuífero superior se limita en su mayor parte por el afloramiento del miembro Qbf (Finos) al norte, occidente y sur, al oriente su límite se infiere con el sistema de fallas de Bucaramanga, ya que esta es una zona de complejidad y con poca información.

En esta unidad se ha realizado solo una prueba de bombeo en el pozo Metrocentro Éxito, ETA, 1979 de duración 24 horas con un caudal de 2.4 Lts/s, encontrándose una transmisividad de 20×10^{-4} cm/s ($K=20 \times 10^{-5}$).

Ensayos de permeabilidad de campo fueron realizados por Hidroestudios, obteniendo como resultados de pruebas de laboratorio:

Tabla 4.2 Permeabilidades de la Formación Bucaramanga

Nivel	Permeabilidad			
	m/dia		cm/s	
Conglomerado Superior	0.35	1.73	4×10^{-4}	20×10^{-4}
Nivel de Finos	0.086	0.6	1×10^{-4}	7×10^{-4}
Conglomerado Inferior	0.086	0.9	1×10^{-4}	10×10^{-4}

Fuente: Ingeniería de Suelos (1991)

Se conocen pozos de explotación de agua subterránea mencionados como son:

Pozo la Aurora

Pozo Estación Ciudad Bonita

Pozo Calle 48 Cra. 32

Pozo Metrocentro Éxito

Ver ANEXO B .

Además existe una red de Piezómetros para el monitoreo de los niveles freáticos. (Suarez, J. 2002, Gómez, S. 1991)

A continuación se describen las unidades hidrogeológicas definidas y utilizadas para realizar este trabajo.

4.1 ACUÍFERO PROFUNDO DE BUCARAMANGA

Esta unidad corresponde al acuífero profundo de la Formación Bucaramanga contenido en el miembro Órganos (Qbo), identificado en esta formación según indagación de SEV's distribuidos en la zona los cuales brindan información de niveles freáticos contenidos en los niveles más gruesos de este miembro. (Ver perfil ANEXO D)

El miembro Órganos presenta el mayor espesor dentro de la Formación Bucaramanga pudiéndose establecer valores entre los 220 y 300 m. La parte superior de este miembro con resistividades entre los 42 y 533 ohm-m corresponde a los niveles más gruesos y posiblemente saturados. Su espesor varía de 120 a 170 m aproximadamente. La parte inferior del miembro Órganos presenta resistividades entre los 7 y 29 ohm-m que corresponden al material fino poco permeable, con espesor variable entre los 40 y 140 m. (INGEOMINAS, Bermoudes, O. Vásquez, L.)

En las tablas 4.1 y 4.2 se encuentran una descripción de las propiedades de este miembro.

4.2 ACUÍFERO DE LA CUMBRE

Corresponde a los depósitos sedimentarios no consolidados porosos, permeables y con capacidad de almacenar agua. Esta unidad está representada por los sedimentos de edad cuaternaria de la Formación Bucaramanga como lo son los Miembros Limos Rojos (Qblr), Gravoso (Qbg) y Órganos (Qbo) los Miembros Limos Rojos y Gravosos con tendencia a desaparecer hacia esta zona.

Este acuífero se encuentra identificado por la presencia de cisternas y afloramientos (UIS, 2003), mediante los cuales se logró la definición general de los niveles freáticos del acuífero. Esta unidad se encuentra sobre la Formación Jordán (Jj) que actúa como basamento, (Ingeniería de Suelos, 2001).

4.3 ACUÍFERO ÍGNEO-METAMÓRFICO FRACTURADO Y METEORIZADO

Esta unidad se encuentra localizada hacia el Este de la zona de estudio (constituye principalmente el Macizo de Santander). Para este estudio se ha considerado esta unidad como representativa de la zona a lo largo del Trazo de la Falla de Bucaramanga, entre la terminación de las formaciones aluviales y sedimentarias que conforman las zonas urbanizadas y 1.5 kilómetros hacia el este desde el trazo principal de la Falla.

Se encuentra compuesta principalmente por dos elementos litológicos principales: el Neis de Bucaramanga (PEb) y las intrusiones ígneas tipo granitos y Cuarzomonzonita (JRcl). Por su naturaleza, estas rocas poseen porosidades y permeabilidades primarias nulas a muy bajas, por lo que teóricamente no son consideradas como potenciales acuíferos, sin embargo dependiendo del estado de fracturamiento y/o meteorización, puede conformar buenos acuíferos (Gómez, S., Colegial, J. 2003). “En el Atlas de Aguas Subterráneas de INGEOMINAS (2005), se considera que estas rocas solo pueden conformar acuíferos de baja productividad, discontinuos y de extensión

local y fueron clasificadas como rocas con limitados recursos de aguas subterráneas”.

Trabajos de investigación han encontrado que el potencial hidrogeológico de estas rocas aumenta en función de la intensidad del fracturamiento que posibilita la interconexión entre ellas y del proceso de alteración de las rocas que generan zonas arenizadas que aumentan la capacidad de almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas (Gómez, S., Colegial, J. 2003).

Las rocas ígneas y metamórficas en el macizo de Santander presentan fracturamiento debido a los diversos rasgos estructurales de la región, sin embargo, en la medida que nos acercamos a la zona del sistema de Falla de Bucaramanga el fracturamiento es intenso, encontrándose densidades de diaclasamiento hasta de 25 diaclasas por metro cuadrado (Beltrán, R., Rey, A. 2002). El cuerpo intrusivo conformado por rocas cristalinas presentan alto fracturamiento especialmente en la zona de intersección del sistema de falla principal con la falla dextral La Flora La meteorización en la zona ocurre en la zona en algunos lugares es intensa y profunda donde alcanzan profundidades superiores a los 80 m, evidenciada en las perforaciones realizadas sobre la zona de la Falla de Bucaramanga, en esta unidad.

En el sector de afloramiento de la Cuarzomonzonita (JRcg), se realizaron 8 SEV's (Vergara, 2003) de los cuales cuatro tienen información acerca de niveles saturados que varían desde 2 hasta 10 metros, SEV's realizados para la construcción de los piezómetros de Pan de Azúcar con una profundidad de 72 m y el piezómetro de Albania con profundidad de 70 m donde se verifican los niveles de aguas anteriores. Para representar este acuífero, se considero un nivel estático a los 8 metros de profundidad en el sector de Pan de Azúcar y se mantuvo hacia el norte, hacia el sur de esta unidad se realizó una transición de los 8 m hasta los 22m de profundidad hasta el sector del Pozo Cementerio Jardines la Colina donde se encuentra localizado un pozo de bombeo y desde allí se mantuvo este valor hacia el sur.

En una prueba de bombeo en el piezómetro de Pan de Azúcar y se ha estimado una conductividad hidráulica cercana a 1 m/d. (Gómez, S., Colegial, J. 2003).

En el Neis de esta unidad se encuentra localizado un pozo de bombeo, construido en el parque Cementerio Jardines La Colina que tiene una profundidad de 74 m, (Suarez, J. 2002) , presentando a los 20 m de profundidad zonas productoras de agua. No se encontró información de la prueba de bombeo del pozo. En este trabajo se considera que el valor de conductividad es semejante a la anterior.

4.4 ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DE PALONEGRO

Esta unidad hidrogeológica es una franja de hasta 1.5 kilómetros de ancho, paralela a la Falla del Suárez a la margen izquierda del río de Oro y comprende los sectores de Cantalta, Corregidor y los moteles de la vía al aeropuerto. Está limitada al sur por el cerro de Cantalta y al norte por el río Suratá.

La zona está compuesta principalmente por rocas sedimentarias de la formación Girón, levantadas por acción de la Falla del Suárez y muy fracturadas. Sobre las rocas fracturadas de la Formación Girón se depositaron una gran cantidad de coluviones provenientes del escarpe de la Falla del Suárez. Adicionalmente aparecen depósitos de los miembros Finos y Órganos de la Formación de Bucaramanga.

La infiltración ocurre principalmente por la fracturación intensa que presentan las rocas. La interpretación de los niveles saturados se logro a partir de los SEV's encontrados en la unidad, realizados por las diferentes entidades como Ingeniería de Suelos Ltda, INGEOMINAS, Hidrogeocol y el Geólogo Carlos Wandurraga, además del pozo Jardín de los Cesares. (Ver ANEXO F) Se interpretan saturaciones importantes a profundidades variables desde los 20 hasta 40 metros.

4.5 ACUÍFERO MESA SEDIMENTARIA DE LEBRIJA

Esta unidad hidrogeológica se encuentra al oriente de la zona de estudio adyacente a la unidad de Palonegro. Está compuesta principalmente por rocas sedimentarias de la Formación Girón (Jg) y de la Formación Tambor (Kita), esta ultima de buenas características de permeabilidad. La Formación Girón

consta de areniscas y conglomerados, de color amarillo-naranja alternando con capas de lodolitas rojas violáceas. En esta zona debido a la acción del sistema de Fallas del Suarez las rocas se encuentran muy fracturadas, presentándose densidades de fracturas de 3 a 4 por metro (Suarez, J., 2002).

La infiltración ocurre principalmente a través del suelo residual, cavernas de infiltración y de hormigueros. Una vez infiltrada el agua es conducida siguiendo el plano de estratificación dentro de las areniscas y sobre las arcillolitas. El agua se acumula dentro del manto de areniscas de la Formación Girón.

En esta unidad no se encuentra información de estudios realizados para la determinación de niveles saturados, se tiene conocimiento de pozos poco profundos para el abastecimiento de sitios comerciales que darían crédito de la presencia de saturación. Se llegó a la interpretación de un nivel constante de profundidad de 40 m partiendo de la información geológica, y las profundidades del Bloque sedimentario fracturado de Palonegro adyacentes, las cuales presentan un comportamiento de este tipo.

4.6 ACUÍFERO MESA SEDIMENTARIA DE RUITOQUE

Esta unidad hidrogeológica está compuesta principalmente por rocas sedimentarias de la Formación Tambor (Kita) suprayaciendo a la formación Girón (Jg) (Suarez, J., 2002).

La Formación Tambor (Kita) presenta porosidad secundaria, por tal motivo la infiltración ocurre a través de la fracturación intensa que se presenta en la zona, presentándose densidad de fracturas de 3 por metro. La acumulación de agua en la Formación Tambor (Kita) es baja donde al parecer se forman acuíferos colgados, (Suarez, J., 2002). Que tienen un interés secundario debido a que el recurso a explotar no sería mayor de tal manera que se llegaría a su agotamiento rápidamente.

En la zona no existen pozos profundos y ni buena distribución de SEV`s, mediante los SEV`s encontrados realizados por Ingeniería de suelos (2002), Carlos Wandurraga (2003) y el estudio hidrogeológico y fortalecimiento social para la vereda de Acapulco (UIS, 2002) que realizaron 6 sondeos eléctricos verticales, se definieron dos niveles de acuíferos, uno con profundidades

superiores a los 100 m de profundidad y otro más superficial aproximadamente a los 40 m en las cercanías de Acapulco, estos niveles se generalizaron en la zona por la escasa información. (Ver ANEXO F)

4.7 ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DEL PIEDEMONTE

Esta unidad hidrogeológica es una franja de hasta 2 km de ancho paralela a la Falla Bucaramanga, hacia el norte tiende a integrarse con el Aluvial de Bucaramanga. Está compuesta principalmente por rocas sedimentarias del Paleozoico y el jurasico. Las primeras compuestas por las calizas de las Formaciones Diamante y Tiburón y las otras por las areniscas y limolitas de la formación Girón (Jg) y las arcillolitas de la formación Jordán (Jj) (Suarez, J., 2002).

El sistema de fallas juega un papel muy importante en sus características hidrogeológicas. Las fallas principales son las fallas paralelas a la Falla de Bucaramanga especialmente la Falla de Paramito-Floridablanca, la cual aparentemente se extiende hacia el norte hasta el río Suratá y una falla intermedia que es muy evidente en la meseta de La Cumbre, esta última de carácter compresivo. El resultado es un bloque comprimido y muy fracturado con muy buenas condiciones de permeabilidad secundaria, pero donde predominan las rocas de grano fino de baja permeabilidad. La continuidad del sistema de fracturación no es muy buena y las estructuras principales desde el punto de vista hidrogeológico son las fallas (Suarez, J., 2002).

Esta unidad se dividió en dos, un bloque hacia el sur desde la falla Ruitoque Sur. Se interpretan profundidades al nivel freático desde los 100 y 60 metros a partir de los pozos Ruitoque Condominio de una profundidad de 190 m y el pozo S.O.S. la Aldea con una profundidad de 70m (Suarez, J. 2002), los cuales se hacen variables a media que se avanza hacia Piedecuesta basados en el conocimiento de la existencia de un pozo en el sector de Pretecor Platacero

con una profundidad aproximada de 70m (Gómez, S.). En el bloque hacia el norte no se cuenta con la información suficiente para definir los niveles freáticos, con los SEV encontrados se definió un patrón de profundidades de 50 m. (Ver ANEXO F)

4.8 ACUÍFERO BLOQUE SEDIMENTARIO FRACTURADO DE BAJOS DE RUITOQUE

Corresponde a un bloque fracturado delimitado al sur por la Falla de Ruitoque, al norte por la falla de Ruitoque norte, al occidente por la falla del Suárez y al oriente por la falla de Paramito-Floridablanca. Su estructura debe ser muy similar a la mesa de Ruitoque. Con buzamientos mucho más fuertes hacia el norte y un mayor grado de fracturación. Los afloramientos muestran estratificaciones de areniscas, limolitas y arcillolitas de la Formación Girón (Suarez, J., 2002).

La unidad posee muy buena conductividad debido a su fracturación y una importante capacidad de acumulación en acuíferos dentro de los mantos más permeables de la formación Girón y posiblemente de la formación Tambor. Esta unidad recibe recarga tanto de la mesa de Ruitoque como del macizo de Santander a través del bloque fracturado del Piedemonte, siguiendo las fallas de Río Frío y de Ruitoque y las fracturaciones asociadas con estas (Suarez, J., 2002).

El principal problema de esta unidad hidrogeológica es la falta de información para definir un nivel de acuífero porque no se encontró información de SEV's ni se tiene conocimiento de pozos dentro de esta unidad, que hayan sido reportados. Se definió un patrón de profundidad al nivel freático de 70 m, asociando esta con un comportamiento de profundidad menor a la Mesa Sedimentaria de Ruitoque, debido al fracturamiento presente en esta unidad.

5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación tiene por objeto establecer el grado de defensa del acuífero ante la alteración potencial de la calidad del agua subterránea, basándose en la determinación de las propiedades físicas del medio no saturado, que lo convierten en una herramienta de protección del recurso.

5.1 METODOLOGÍA GOD

En este subcapítulo se determinan las calificaciones respectivas para cada parámetro en la metodología GOD

5.1.1 Ocurrencia del Agua Subterránea (G)

La condición del acuífero no fue posible establecerla mediante pruebas de bombeo, la determinación de confinamiento del acuífero se estableció con los pocos pozos existentes, el análisis de la geología estructural, considerando la información de los SEV's, columnas litológicas de piezómetros, identificando la presencia de mantos de baja permeabilidad y confinantes, correspondiente a cada unidad hidrogeológica.

En la tabla (5.1) se muestra la calificación y el tipo de confinamiento del acuífero según la figura 2.4 presentada en capítulo 2.

Tabla 5.1 Calificación para la condición del acuífero GOD.

NOMBRE DEL ACUÍFERO	ÉPOCA	FORMACIÓN GEOLÓGICA	TIPO ACUÍFERO	CALIFICACIÓN
Ígneo-metamórfico fracturado y meteorizado	Precámbrico	Neis	No Confinado	1
	Precámbrico	Cuarzomonzonita	No Confinado	1
Mesa sedimentaria de Lebrija	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
Mesa sedimentaria de Ruitoque	Jurasico	Formación Girón	Confinado	0.2
	Cretáceo	Formación Tambor	No Confinado	1
Bloque sedimentario fracturado del Piedemonte	Jurasico	Formación Jordán	Confinado	0.2
	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
Bloque sedimentario fracturado de Palonegro	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
	Jurasico	Formación Girón	Confinado	0.2
Plataforma sedimentaria de Bucaramanga	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
Bloque sedimentario fracturado bajos de Ruitoque	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
Abanico aluvial de Bucaramanga superior	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	No Confinado	1
La Cumbre	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	No Confinado	1
Colgado del Norte	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	No Confinado	1
Aluvial (Lagos del Cacique)	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	No Confinado	1
Oro Alto	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1
Profundo de Bucaramanga	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	No Confinado	1
Valles aluviales de los Ríos de Oro y Frio		Aluvial	No Confinado	1
Q La Iglesia hasta Rio Frio	Jurasico	Formación Girón	No Confinado	1

FUENTE: Elaboración propia

5.1.2 Substrato Litológico (O)

Este parámetro es evaluado a partir del grado de consolidación de las rocas y de las características litológicas, se hace una evaluación de los medios no saturados en cada unidad hidrogeológica, además teniendo presente las condiciones de fracturamiento por los sistemas de fallas, disminuyendo la capacidad de atenuación a los posibles contaminantes, lo que implica asignar una calificación mayor.

La tabla 5.2 se describe el substrato con la cual podemos determinar una calificación para cada acuífero según la figura 2.4 presentada en capítulo

Tabla 5.2 Calificación para el Substrato Litológico GOD.

NOMBRE DEL ACUÍFERO	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SUBSTRATO LITOLÓGICO	CALIFICACIÓN
Ígneo-metamórfico fracturado y meteorizado	Neis	Ígneas Metamórficas	1
	Cuarzomonzonita	Ígneas Metamórficas	1
Mesa sedimentaria de Lebrija	Formación Girón	Arenisca	0.9
Mesa sedimentaria de Ruitoque	Formación Girón	Limolitas	0.7
	Formación Tambor	Arenisca	0.9
Bloque sedimentario fracturado del Piedemonte	Formación Jordán	Jordán (Jj)	0.6
	Formación Girón	Arenisca,	0.9
Bloque sedimentario fracturado de Palonegro	Formación Girón	Limo	0.8
	Formación Girón	Limolitas	0.7
Plataforma sedimentaria de Bucaramanga	Formación Girón	Arenisca	0.9
Bloque sedimentario fracturado bajos de Ruitoque	Formación Girón	gravas y arenas	0.9
Abanico aluvial de Bucaramanga superior	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	gravas y arenas	0.9
La Cumbre	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	gravas y arenas	0.9
Colgado del Norte	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	gravas y arenas	0.9
Aluvial (Lagos del Cacique)	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	Arenisca	0.9
Oro Alto	Formación Girón	Arenisca	0.9
Profundo de Bucaramanga	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	gravas y arenas	0.9
Valles aluviales de los Rios de Oro y Frio	Aluvial	gravas y arenas	0.9
Q La Iglesia hasta Rio Frio	Formación Girón	Arenisca	0.9

FUENTE: Elaboración propia

5.1.3 Profundidad (D)

En la determinación de la profundidad del agua se hizo uso de toda la información brindada por pozos profundos, piezómetros, cisternas, además de la interpretación de niveles saturados que presentaran los SEV's encontrados en la información técnica consultada, mencionada en el capítulo 3.

El procedimiento consiste en realizar una resta entre el modelo digital de elevación del terreno y las superficies generadas para el nivel freático obteniendo así los valores de profundidad de los niveles freáticos.

Para la determinación e interpretación de la Profundidad del nivel freático en el Acuífero Aluvial Superior de la Formación Bucaramanga, se trabajaron los datos correspondientes a una lista de piezómetros (Gómez, S. 1991) correspondientes a Octubre de 1985 (Ver ANEXO A), los cuales fueron elegidos de los demás por presentar una tendencia a mayor altura del nivel freático, que brinda la condición más desfavorable desde el punto de vista de contaminación, por ser niveles más superficiales en una zona de baja pendiente. Además se tuvo presente las zonas de afloramiento en las escarpas oriental y norte para definir las cotas del nivel freático igual a la cota de terreno. La información fue procesada con ayuda del Software Surfer 9, escogiendo como método de interpolación el Kriging por ser el que más se ajustaba a los datos.

Este procedimiento se realizó para cada una de las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio, con la particularidad de que no todas las unidades presentan información suficiente para definir un comportamiento adecuado de la profundidad del nivel freático. En estos casos con la poca información que se tiene se generalizo y se trabajo esta para la unidad hidrogeológica como es el caso de:

Macizo Ígneo-Metamórfico fracturado y meteorizado de Santander

Bloque sedimentario fracturado de Palonegro

Mesa sedimentaria de Ruitoque

Bloque sedimentario fracturado del piedemonte

Bloque sedimentario de fracturado de Bajos de Ruitoque

Como se menciona en el capítulo 3, la zona de Oro Alto no dispone de información a los niveles estáticos, esto lleva a que este parámetro no sea evaluado y no reciba calificación en la metodología generando una zona sin resultados de vulnerabilidad de “NoData”.

El resultado de este procedimiento se puede apreciar en la unión de las cotas del nivel freático para cada unidad. Ver ANEXO C

La calificación de la profundidad al agua en los acuíferos, se asigna respecto a su valor ubicándola dentro de los rangos establecidos por la metodología ver la figura 2.4 que se presenta en el capítulo 2.

Tabla 5.3 Calificación para profundidades del agua GOD.

Profundidad (m)	Calificación
< 5	0.9
5.1 – 20	0.7
20.1 – 100	0.5
> 100	0.3

FUENTE: Elaboración propia

5.2 METODOLOGÍA DRASTIC

A continuación se describe el procedimiento para determinar las calificaciones de los parámetros en cada uno de los acuíferos definidos dentro de la zona de estudio.

5.2.1 Profundidad hasta el nivel freático (D)

Corresponde a las profundidades determinadas y descritas en la metodología GOD. Ítem 5.1.3

La calificación de la profundidad al agua en los acuíferos, se asigna respecto a su valor ubicándola dentro de los rangos establecidos por la metodología según la tabla 2.1a presentada en el capítulo 2.

Tabla 5.4 Calificación para las Profundidades del agua DRASTIC.

Profundidad (m)	Calificación
0 - 1.5	10
1.6 – 5	9
5.1 - 10	7
10.1 - 20	5
20.1 - 30	2
> 30.1	1

FUENTE: Elaboración propia

5.2.2 Recarga Neta (R)

En la zona de estudio no se cuenta con estimaciones de valores de recarga efectiva y la determinación de esta amerita un estudio completo del orden de proyecto de grado, dada esta condición se hizo apoyo en los valores de Recarga Potencial obtenidos en el informe Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander, INGEOMINAS Bucaramanga Abril de 2007, figura 48 Pagina 162, trabajando dos rangos como representativos para la zona considerando la condición desfavorable de a mayor recarga mayor índice de vulnerabilidad.

La metodología define rangos de recarga donde se puede determinar las respectivas calificaciones para cada uno de ellos.

La calificación de este parámetro se realiza ubicando el valor de recarga en la zona dentro de los rangos establecidos por la metodología según la tabla 2.1b presentada en el capítulo 2.

Tabla 5.5 Calificación DRASTIC para la recarga neta

Recarga (mm)	Calificación
50 – 100	3
100 - 180	6

FUENTE: ELABORACION PROPIA

5.2.3 Naturaleza del Acuífero (A)

Su evaluación fue realizada partiendo de las unidades geológicas, litología encontrada en los SEV's, piezómetros y pozos distribuidos en la zona de estudio.

La calificación de este parámetro consiste en determinar la litología del acuífero y relacionarla con las descripciones definidas por la metodología según la tabla 2.1c presentada en el capítulo 2 y así determinar su calificación para cada acuífero.

Tabla 5.6 Clasificación DRASTIC zona saturada

NOMBRE DEL ACUÍFERO	ÉPOCA	FORMACIÓN GEOLÓGICA	LITOLOGIA	CALIFICACIÓN
Ígneo-metamórfico fracturado y meteorizado	Precámbrico	Neis	Ígneas Metamórficas	10
	Precámbrico	Cuarzomonzonita	Ígneas Metamórficas	10
Mesa sedimentaria de Lebrija	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Mesa sedimentaria de Ruitoque	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
	Cretáceo	Formación Tambor	Arenisca	6
Bloque sedimentario fracturado del Piedemonte	Jurasico	Formación Jordán	Arenisca	6
	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Bloque sedimentario fracturado de Palonegro	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Plataforma sedimentaria de Bucaramanga	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Bloque sedimentario fracturado bajos de Ruitoque	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Abanico aluvial de Bucaramanga superior	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	Arenas, gravas y conglomerados	9
La Cumbre	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	Arenas, gravas y conglomerados	8
Colgado del Norte	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	Arenas, gravas y conglomerados	8
Aluvial (Lagos del Cacique)	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Gravoso	Arenas, gravas y conglomerados	9
Oro Alto	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6
Profundo de Bucaramanga	Cuaternario	Formación Bucaramanga Miembro Órgano	Arenas, gravas y conglomerados	8
Valles aluviales de los Ríos de Oro y Frio		Aluvial	Arenas, gravas y conglomerados	8
Q La Iglesia hasta Rio Frio	Jurasico	Formación Girón	Arenisca	6

5.2.4 Suelos (S)

Los suelos se obtuvieron del informe plan de ordenamiento ambiental (POA) donde se describen los perfiles de las texturas que los conforman.

Para determinar la clasificación se basa en elegir la textura menos permeable del perfil del suelo y definir un valor calificativo, establecido por la metodología según la tabla 2.1d presentada en el capítulo 2 donde estable calificación para cada tipo de textura de los suelos.

Tabla 5.7 Clasificación DRASTIC para la naturaleza de los suelos.

SUBGRUPO	TEXTURA	CALIFICACIÓN
-----	arena	9
Typic dystrostepts	franco arcillosa	3
Oxid dystrostepts	franco arcillosa	3
Typic ustifluvents	franco arcillosa	3
Typic dystrostepts	franca arcillosa	3
Typic ustorthents	franca	5
Aquic haplustepts	arcilla	1
Typic ustifluvents	franco arenosa	6
-----	ausente	10
Typic dystrostepts	franco arcillosa	3
Typic dystrostepts	franco arcillosa	3
Oxic dystrostepts	arcilla	1
Typic ustorthents	franco arenosa	6
Lithic ustorthents	suelo orgánico	2
Typic dystrostepts	arcilla	1
Aquic haplustepts	arcilla	1
Typic ustifluvents	franco arenosa	6
-----	ausente	10
	arena	9
Typic dystrostepts	franco arcillosa	3
Typic dystrostepts	franco arcillosa	3
Aeric haplaquepts	franco arcillosa	3
Oxic dystrostepts	arcilla	1
Oxic dystrostepts	arcilla	1
-----	franco arcillosa	3
-----	franco arcillosa	3

FUENTE: Elaboración propia

5.2.5 Topografía (T)

Se calculó la pendiente (en porcentaje) a partir del Modelo Digital de Elevaciones de la Cuenca Superior Rio Lebrija, con ayuda software Arcgis 9.3 con la extensión Spatial Analyst. La clasificación se realizó ubicando los valores de pendientes en los rangos establecidos por la metodología según la tabla 2.1e presentada en capítulo 2 asignando la clasificación respectiva.

Tabla 5.8 Clasificación DRASTIC para topografía.

Pendiente (%)	Clasificación
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	6
12 - 18	3
Mayor a 18	1

FUENTE: Elaboración propia

5.2.6 Zona no Saturada (I)

Para obtener este parámetro se utilizaron los perfiles litológicos de piezómetros, pozos, descripción de los SEV's, se analizó el medio existente entre la superficie y el nivel freático, se estableció una calificación según el tipo de material existente en cada capa basada en su capacidad de atenuación, además teniendo presente la característica de fracturamiento en la zona por la presencia del sistema de fallas Suarez, Ruitoque, Bucaramanga Santa Marta y la meteorización, lo que nos lleva a alejarnos de la calificación asignada por la metodología DRASTIC.

Para los libres menos permeables y para los acuíferos confinados se elige la capa confinante como medio no saturado ver tabla 2.1f presentada en el capítulo 2 donde se definen las clasificaciones para cada substrato litológico.

Tabla 5.9 Clasificación DRASTIC para Zona saturada

NOMBRE DEL ACUÍFERO	SUBSTRATO	CALIFICACIÓN
Ígneo-metamórfico fracturado y meteorizado	Cuarzomonzonita	8
	Neis	8
Mesa sedimentaria de Lebrija	Arenisca	7
Mesa sedimentaria de Ruitoque	Capa Confinante	1
	Arenisca	7
Bloque sedimentario fracturado del Piedemonte	Capa Confinante	1
	Arenisca	7
Bloque sedimentario fracturado de Palonegro	Limo	3
	Capa Confinante	1
Plataforma sedimentaria de Bucaramanga	Arenisca	7
Bloque sedimentario fracturado bajos de Ruitoque	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8
Abanico aluvial de Bucaramanga superior	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8
La Cumbre	limo	3
Colgado del Norte	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8
Aluvial (Lagos del Cacique)	Gravas y arenas con contenido en arcillas	7
Oro Alto	Arenisca	7
Profundo de Bucaramanga	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8
Valles aluviales de los Ríos de Oro y Frio	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8
Q La Iglesia hasta Rio Frio	Gravas y arenas con contenido en arcillas	8

FUENTE: Elaboración propia

5.2.7 Conductividad Hidráulica. (C)

En la zona de estudio no se cuenta con buena información de pruebas de bombeo que permitan establecer con seguridad el parámetro. En algunos casos es estimado haciendo consideración del tipo de roca y ajustando este valor alejándose de la condición menos crítica para evitar resultados que sobrepasen la capacidad de este parámetro la calificación se basa en la tabla 2.1g presentada en el capítulo 2.

Tabla 5.10 Clasificación para la conductividad DRASTIC.

NOMBRE DEL ACUIFERO	CONDUCTIVIDAD AD (m/día)	CONDUCTIVIDAD AD (m/día)	CLASIFICACIÓN
Acuífero aluvial superior	1.73	6.92	2
Acuífero colgado zona norte	0.14	0.56	1
Acuífero sedimentario profundo de Bucaramanga (Qbo)	0.1	0.4	1
Acuífero aluvial (lagos cacique)	1.73	6.92	2
Acuífero Neis	1	4	2
Acuífero Cuarzomonsonita	1	4	2
Acuífero La Cumbre (Qbo)	0.1	0.4	1
Acuífero piedemonte (Jg) (areniscas)	6	6	2
Acuífero piedemonte (Jj) (lutitas)	1	4	2
Acuífero Mesa Ruitoque (Jg) (lutitas)	1	4	2
Acuífero Mesa Ruitoque (Kita) (areniscas)	5	5	2
Acuífero bajos de Ruitoque	5	5	2
Acuífero Palonegro jg (lutitas)	1	4	2
Acuífero Palonegro (Jg) (areniscas)	5	5	2
Mesa Lebrija (Jg) (areniscas)	5	5	2
sector mesa los santos (Jg) (areniscas)	0.01	0.04	1

FUENTE: Elaboración propia

5.3 Realización de Mapas

Los mapas de vulnerabilidad GOD y DRASTIC fueron realizados mediante Arcgis 9.3, a partir de los datos obtenidos de cada parámetro. Las capas para

aplicar las metodologías fueron generadas en formato Raster, con un tamaño de pixel de 30 x 30 metros. Se procedió de la siguiente manera:

Los valores puntuales como los niveles estáticos fueron interpolados en el software Surfer 9 con el método Kriging el cual se ajustaba mejor a los datos, con objetivo de generar una superficie continua.

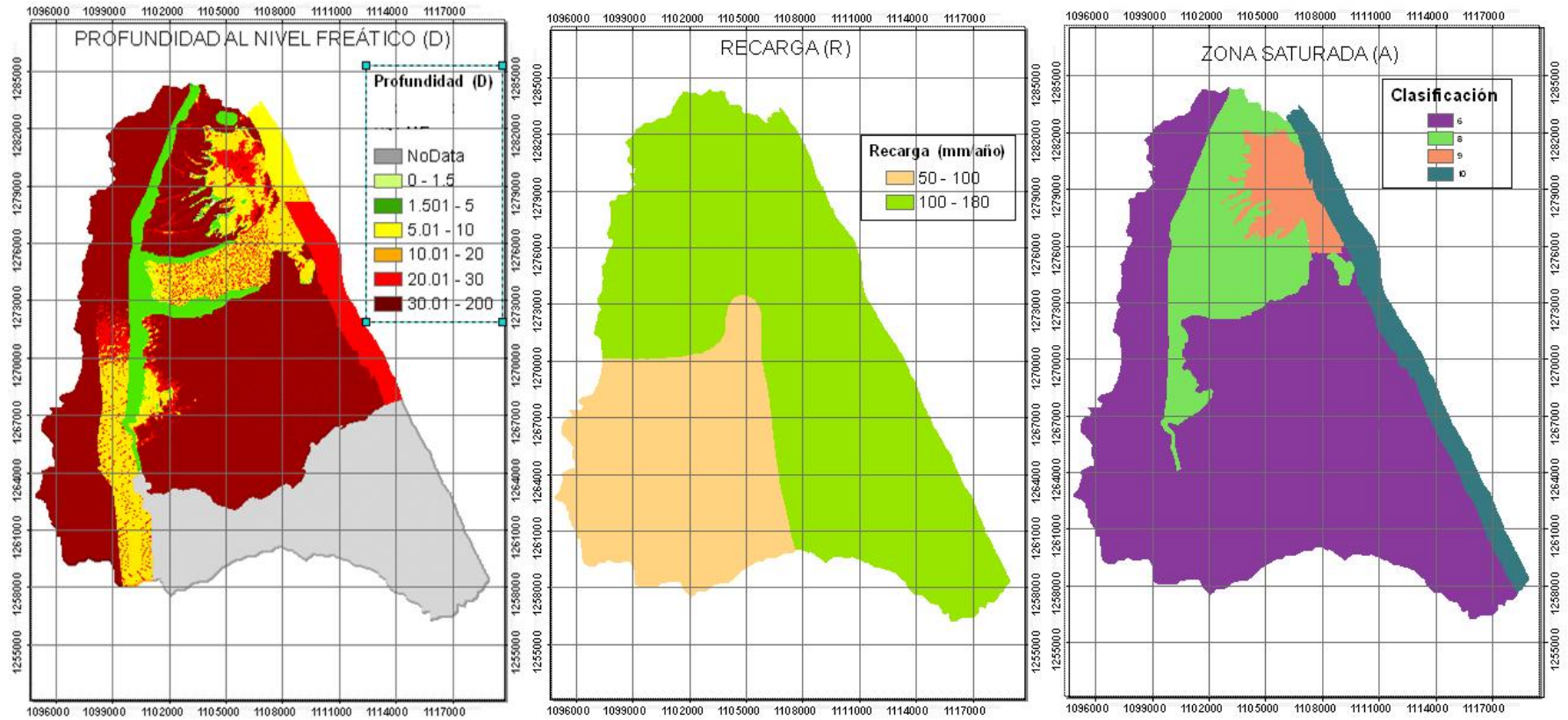
Los parámetros como litología del acuífero, zona no saturada, conductividad, recarga y suelos, que se encontraban inicialmente como polígonos en AutoCad fueron montados en Arcgis 9.3 en formato vectorial y luego transformados a formato Raster para poder realizar el algebra de mapas.

Todas las capas de información fueron reclasificadas según los intervalos que sugieren las metodologías GOD y DRASTIC.

Teniendo las variables reclasificadas y en formato Raster se procedió a realizar el algebra de mapas. Los sistemas de información geográfica (SIG) son muy importantes en este paso, ya que brindan la posibilidad de multiplicar y sumar las capas; para esto se utilizó la extensión Spatial Analyst de Arcgis 9.3.

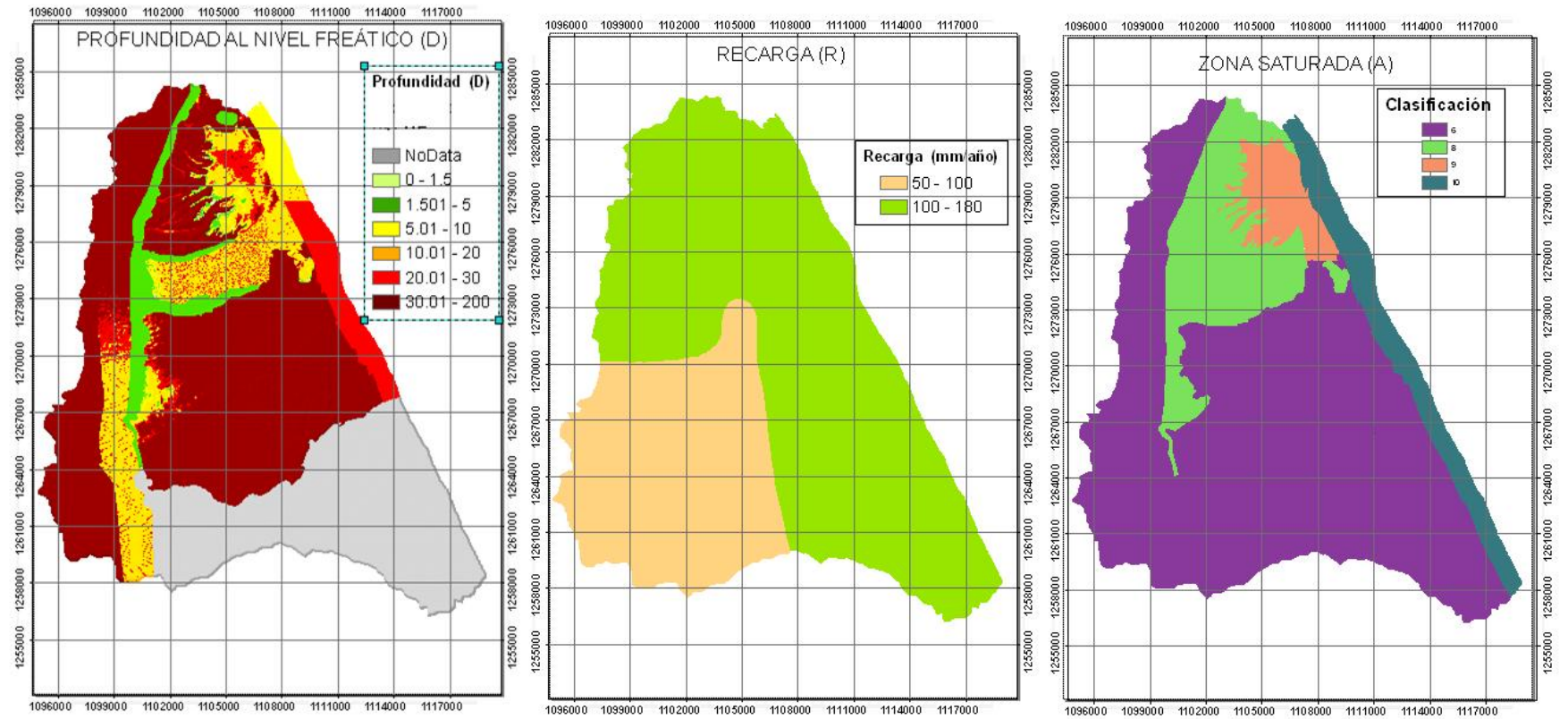
A continuación se presentan las diferentes capas para cada parámetro de las metodologías y su respectivo mapa de vulnerabilidad.

Figura 5.1 Parámetros Metodología DRASTIC



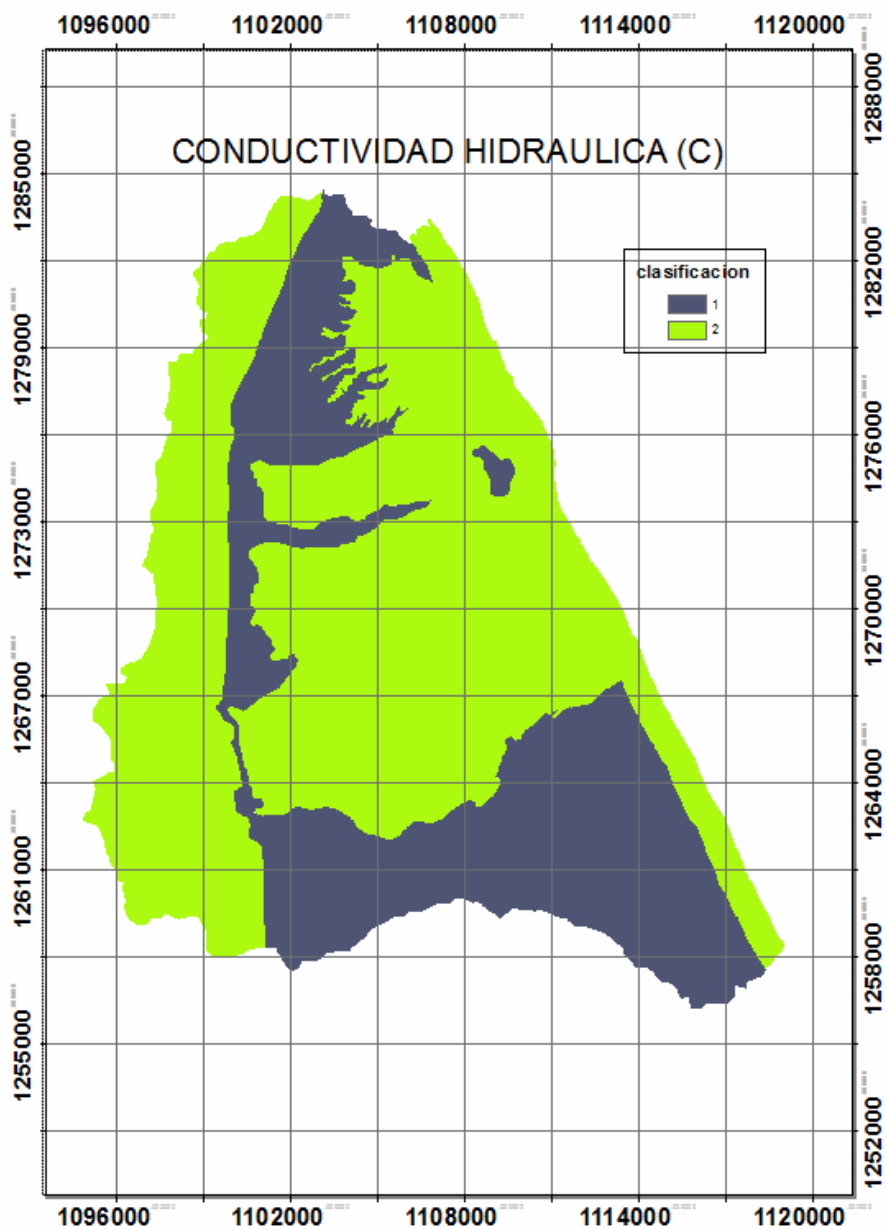
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.2 Parámetros Metodología DRASTIC



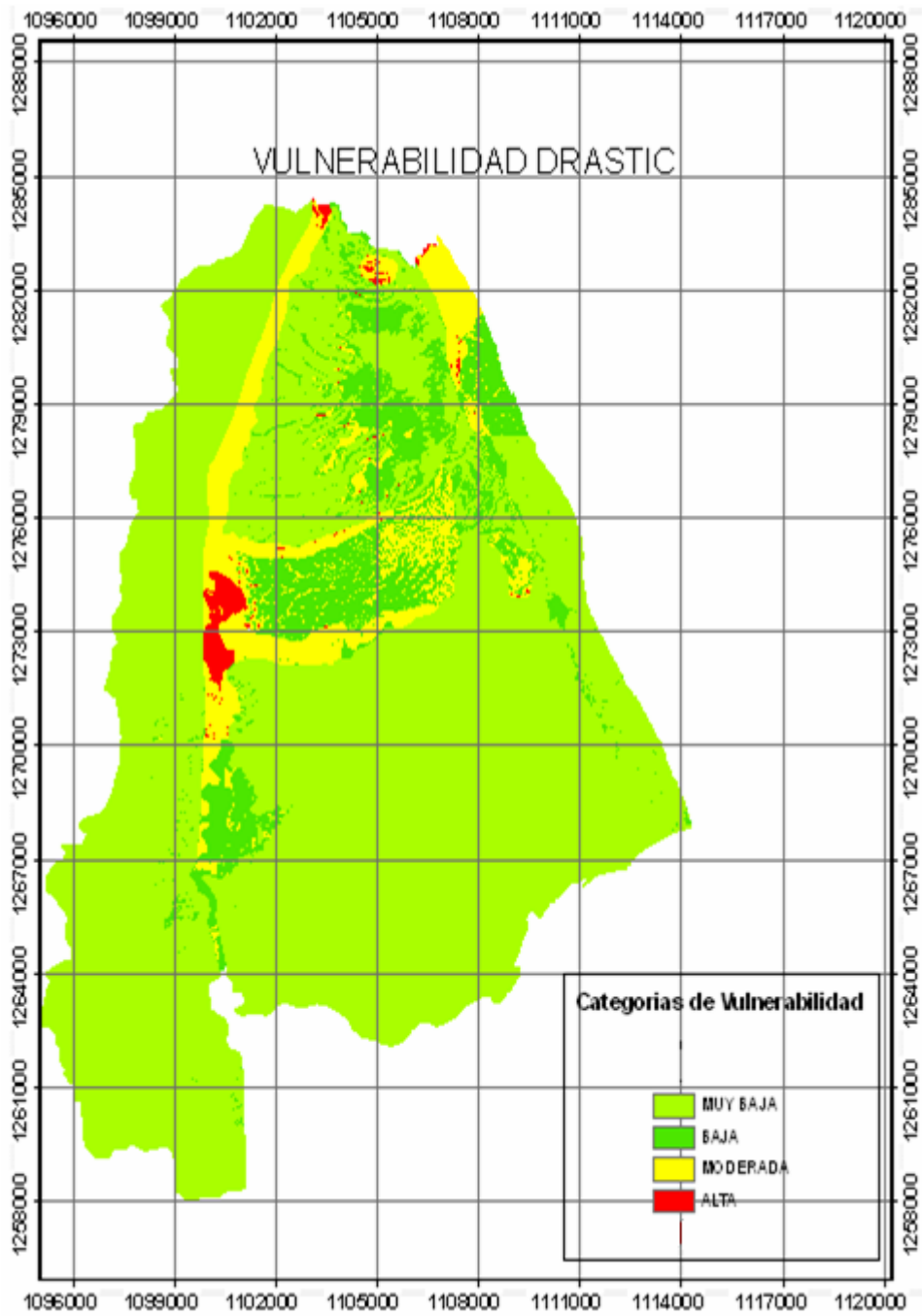
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.3 Parámetros Metodología DRASTIC



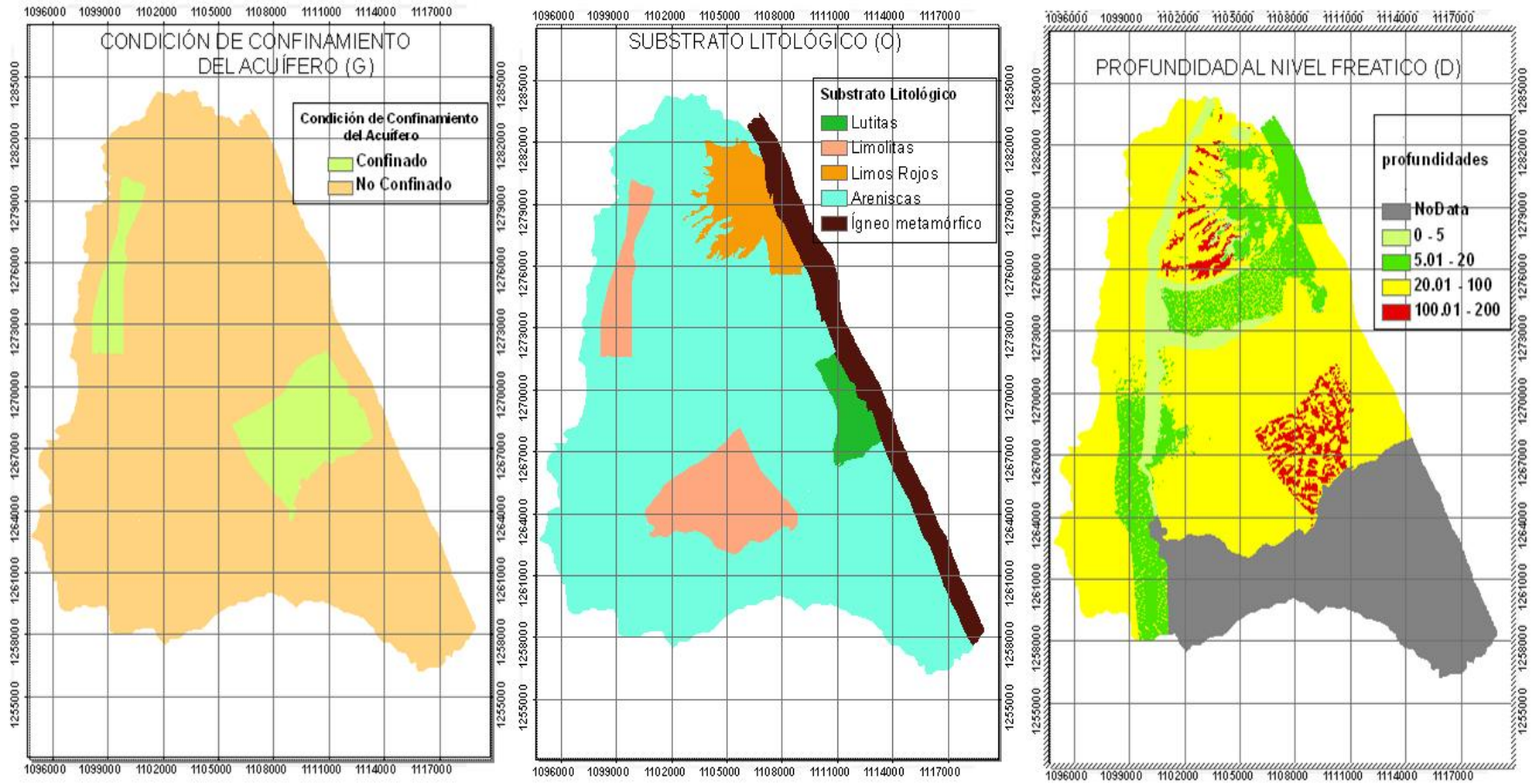
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.4 Vulnerabilidad Metodología DRASTIC



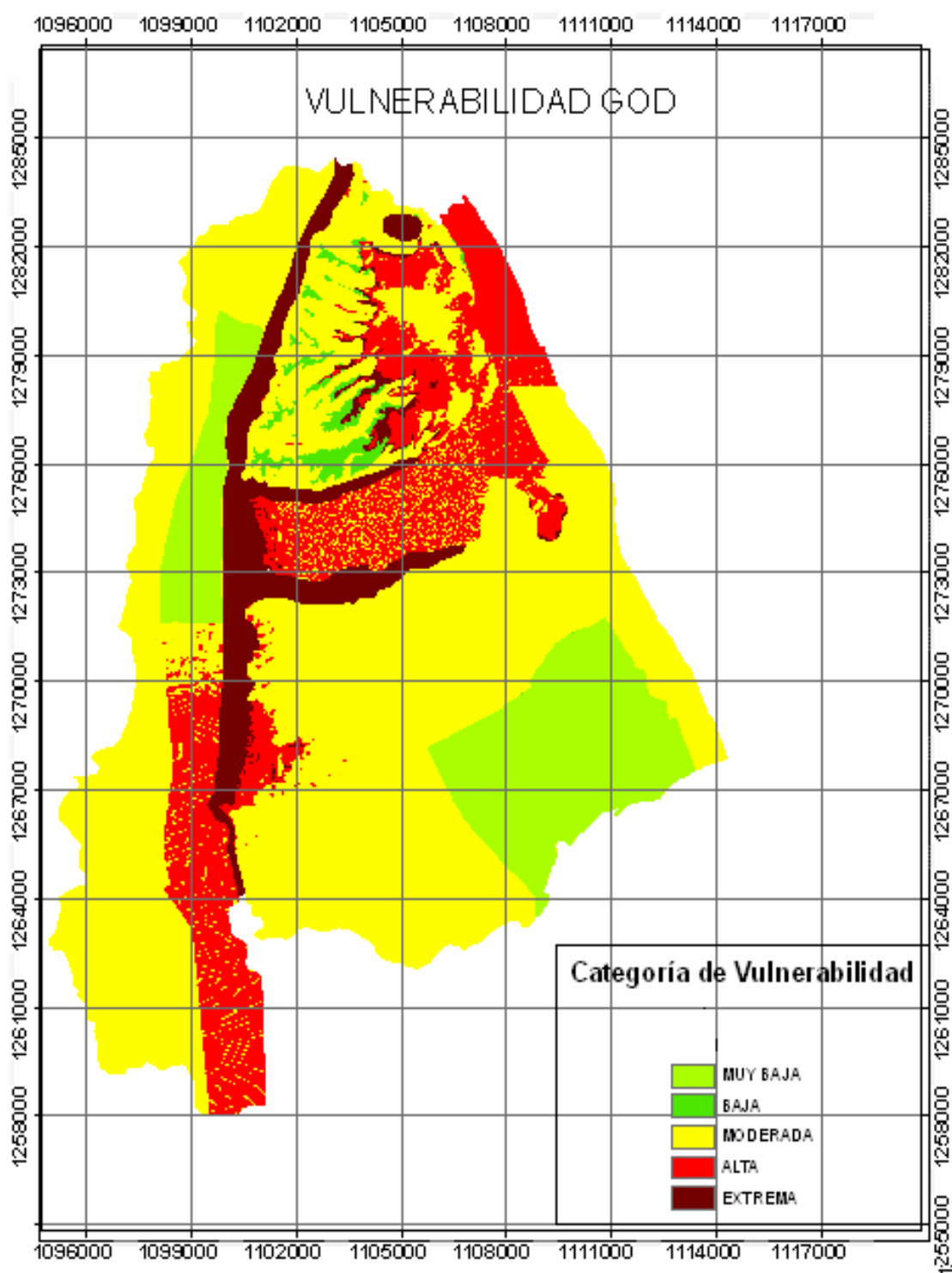
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.5 Parámetros Metodología GOD



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.6 Vulnerabilidad Metodología GOD



Fuente: Elaboración Propia

5.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizara la interpretación de los resultados para cada metodología tratando de indicar el porqué de los determinados índices.

5.4.1 Metodología GOD

La metodología GOD abarco todas las categorías de vulnerabilidad en la zona de estudio. Una porción del área presenta vulnerabilidad extrema, como lo son los valles aluviales de los rio de Oro y Frio, acuífero colado del norte y en la escarpa occidental de meseta de Bucaramanga, correspondiendo a las partes en las que la profundidad del nivel freático es poco profunda (menor a los 5 m) y sitios de afloramientos de aguas, a demás de la condición de acuífero libre.

La categoría de vulnerabilidad alta se evidencia con el paso de la profundidad a un valor mayor de los asumidos por la vulnerabilidad extrema, asimismo combinado con la condición de acuífero libre, este resultado se ve evidenciado en las transiciones de la profundidad en el acuífero superior de Bucaramanga en el paso de la escarpa (zona de afloramiento del agua subterránea) hacia la parte central del acuífero.

La vulnerabilidad moderada para la zona de estudio abarca la mayoría de la zona, en este resultado los parámetros de mayor influencia son la condición de acuífero libre y el substrato litológico ya que este ultimo para estas zonas presenta características de buena permeabilidad primaria (Acuífero profundo de Bucaramanga) y permeabilidad secundaria (Ígneo metamórfico Fracturado y meteorizado de Santander, Bloque sedimentario Fracturado bajos de Ruitoque,, Bloque sedimentario fracturado de Palonegro, Bloque sedimentario Fracturado del Piedemonte), la categoría no es característica en algunos casos para toda la unidad.

Para las categorías de vulnerabilidad baja y muy baja es claro que los factores predominantes son las grandes profundidades y la condición de acuífero confinado respectivamente.

5.4.2 Metodología DRASTIC

Esta metodología da resultados más conservadores, no se evidencia vulnerabilidad extrema y la vulnerabilidad alta es muy poca en la zona evidenciándose los sectores donde interactúan profundidades muy pequeñas y la ausencia de los suelos.

La categoría de vulnerabilidad baja se evidencia en los acuíferos de tipo libre con una profundidad al nivel freático con un promedio de 18 m, hace mayor presenta que las anteriores categorías pero aun sigue siendo poca comprada con la vulnerabilidad muy baja la cual representa el 58.99% de la totalidad de la zona

5.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la categoría GOD se hace presenta la vulnerabilidad muy baja solo en acuíferos de tipo confinado, para la metodología DRASTIC el parámetro que define esta categoría es la profundidad al nivel freático independiente de la condición confinada.

La metodología GOD presenta resultados desde la menor clasificación de vulnerabilidad hasta la mayor a diferencia de la metodología DRASTIC que se ve condicionada a los valores altos de la profundidad al nivel freático para presentar mayores resultados en las categorías menos susceptibles a la contaminación.

La metodología DRASTIC es más robusta que la metodología GOD, dado que utiliza mayor cantidad de parámetros, esto puede significar un problema

cuando no se dispone de información de uno de ellos, en este caso lo ocurrido con los valores de conductividad.

Tabla 5.11 Resultados de Vulnerabilidad GOD

	GOD	
VULNERABILIDAD	ÁREA (km²)	%
MUY BAJA	40.03	10.11
BAJA	4.2	1.06
MODERADA	175.4	44.29
ALTA	52.74	13.32
EXTREMA	22.2	5.60
NODATA	101.41	25.62
	395.91	100

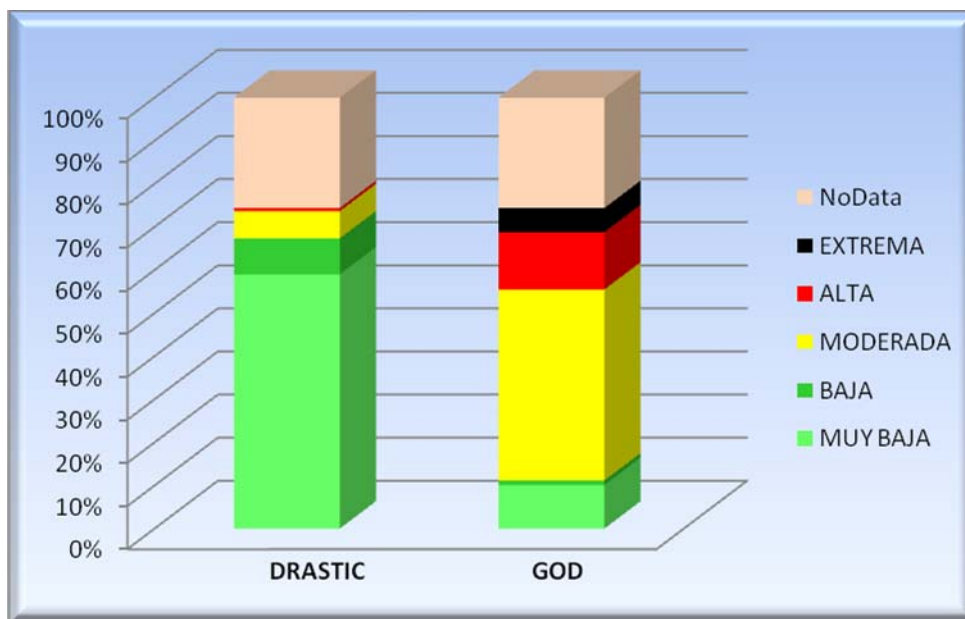
FUENTE: Elaboración propia

Tabla 5.12 Resultados de Vulnerabilidad DRASTIC

	DRASTIC	
VULNERABILIDAD	ÁREA (km²)	%
MUY BAJA	233.54	58.99
BAJA	33.09	8.36
MODERADA	24.98	6.31
ALTA	2.85	0.72
EXTREMA	0	0
NODATA	101.41	25.62
	395.91	100

FUENTE: Elaboración propia

Grafica 1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VULNERABILIDAD



FUENTE: Elaboración propia

6 CONCLUSIONES

1. A partir de la aplicación de metodologías universalmente conocidas y aplicadas tanto en el país como en otros países (Vulnerabilidad, amenaza, peligro) para el manejo del recurso hídrico subterráneo, y de la información disponible (CDMB, Ingeominas, Ingeniería de Suelos, Hidroestudios) en la zona de estudio (zona baja de la cuenca del Rio Lebrija, entre cotas 660 y 1100 msnm) se obtuvieron los mapa de vulnerabilidad a la contaminación de este recurso. Los productos se entregan en sistemas de información geográfica ARCGIS 9.3, en escalas de trabajo de 1:25.000.
2. En la evaluación de la vulnerabilidad, con el método GOD aplicado en la zona de estudio, se puede observar que aquellas unidades hidrogeológicas que constituyen acuíferos libres (Abanico Aluvial de Bucaramanga, Sedimentario de la Cumbre, Macizo Igneo-Metamorfico Fracturado y Saturado de Santander) presentan los mayores índices de vulnerabilidad a la contaminación, debido a que este tipo de acuífero presenta un grado menor de atenuación.
3. La Las unidades hidrogeológicas que presentan porosidad secundaria y de naturaleza libre (Macizo Ígneo Metamórfico Fracturado y Meteorizado de Santander, Bloque Sedimentario Fracturado Bajos de Ruitoque, Bloque Sedimentario Fracturado de Palonegro), tienen un índice de vulnerabilidad GOD de moderado a alto dependiendo de la profundidad del nivel freático, debido a que el flujo de los posibles contaminantes se da por las fracturas, presentando un grado de sensibilidad alto.
4. En la metodología GOD es notorio el peso de los tres parámetros en la unidad del Abanico Aluvial de Bucaramanga donde aparecen las mayores vulnerabilidades, dando lugar al paso de una a otra por la profundidad del nivel freático (D), esto se ve evidenciado con una vulnerabilidad extrema en las

aéreas cercanas a los afloramientos de agua y con una disminución del índice de vulnerabilidad a medida que la profundidad del nivel piezométrico se hace mayor

5. Para la metodología GOD el parámetro profundidad es de mayor peso en la zona de estudio, comparado con el método DRASTIC, debido a los rangos de profundidades manejados por cada unidad hidrogeológica, donde la metodología GOD considera sensible un acuífero con profundidad hasta de 100 m, diferencia notable con los 30 m manejados en DRASTIC, razón por la que se evidencia una clara diferencia entre los índices de vulnerabilidad obtenidos en cada una.

6. Debido a las condiciones locales (porosidad secundaria, presencia de hormigueros, información escasa y de mala calidad), se sugiere que se utilicen los resultados obtenidos con la metodología GOD para ser implementados en proyectos de manejo y protección del recurso hídrico subterráneo.

7. La información sobre geometría del acuífero, tipo de acuífero, pruebas de bombeo, profundidades del nivel freático, recarga, que son determinantes para la evaluación de estas metodologías, en la zona de estudio es escasa y en este trabajo se necesitó hacer muchas aproximaciones, especialmente en los temas de la profundidad al nivel freático y de la conductividad hidráulica. Muchas de las superficies freáticas tuvieron que ser modeladas (especializadas) a partir de muy pocos puntos conocidos, ajustándose a la topografía del terreno (Ígneo Metamórfico Fracturado y Meteorizado de Santander, Bloque Sedimentario Fracturado de Palonegro, Mesa Sedimentaria de Lebrija, Mesa Sedimentaria de Ruitoque, Bloque Sedimentario Fracturado Bajos de Ruitoque).

7 RECOMENDACIONES

Por la importancia del recurso agua, se debe vigilar de manera permanente por lo que se recomienda instalar una red de monitoreo que incluya medir variación de niveles piezométricos y calidad del agua.

Se debe continuar con estudios a detalle de hidrología para caracterizar propiedades de los acuífero; estudios geofísicos y geológicos para definir la geometría y estratigrafía del subsuelo.

Dadas las condiciones de profundidad en la zona de estudio, se recomienda la utilización de la metodología GOD para los resultados de vulnerabilidad.

Realizar estudios que permitan definir parámetros hidrogeológicos como profundidades al nivel freático permeabilidades, transmisividad además del análisis del fracturamiento debido a los sistemas de fallas.

Elaborar estudios que consideren el tipo de contaminante presente, para comparar los resultados obtenidos en este trabajo de vulnerabilidad intrínseca con los de vulnerabilidad específica, y así llegar a concluir si las fuentes de agua subterránea se encuentran en peligro de contaminación con las actividades realizadas.

Solicitar en las concesiones de agua subterránea pruebas de bombeo y columnas litológicas.

El área total de la zona de estudio corresponde a 395.91 Km², en la cual 101Km² no son cartografiados con datos de vulnerabilidad por falta de información de los niveles freáticos, se recomienda realizar estudios en esta zona que permitan crear una idea de estos.

BIBLIOGRAFÍA

- Auge, M., 2004. Vulnerabilidad de acuíferos, conceptos y métodos. Universidad de Buenos Aires. 38 p.
- Aller, I.; Bennet, T.; et al (1987): drastic, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. u.s. environmental protection agency, ada, epa.
- Bredehoeft, J. (2005) The conceptualization model-problem surprise. Springer. J. Hidrogeol 13 37 – 46
- Beltrán, R y Rey, A, 2002. Comportamiento estructural asociado al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, sección entre Piedecuesta (rio de Oro) y Bucaramanga (rio Suratá). Trabajo de grado Geología, Universidad de Santander. Colombia
- Castro S, H. J., LEAL Torres, F.A., 1998. Marco Climático Global, el niño en Santander, Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, uis, Bucaramanga – Colombia.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA – CDMB, 2000. Plan de Manejo Ambiental 2001 – 2003, Bucaramanga – Colombia.
- Foster, S. e Hirata R., 1987. Contaminación de aguas subterráneas. Un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. CEPIS con la OMS y la OPS. Lima, Perú.
- Foster, S. e Hirata R., 1992. Estrategias para la protección de agua subterráneas una guía para su implementación. CEPIS con la OMS y la OPS. Lima, Perú. 82 p.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, IT). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. n°31. Roma, IT 161 p.
- Gómez, S, Colegial J. 2003. Interacción entre los sistemas hidrogeológicos en el macizo de Santander para el estudio de la recarga

e identificación de acuíferos. Proyecto Colciencias. Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático. Colombia

- Gómez, S., 1990. Predicción de niveles freáticos a partir de la precipitación y su influencia en la estabilidad de taludes caso de aplicación. Meseta de Bucaramanga
- Ingeniería de Suelos 1991. Estudio del conocimiento del agua subterránea en la meseta de Bucaramanga. Informe técnico.
- Ingeniería de suelos 2002. Modelo hidrogeológico básico de Bucaramanga.
- Lazar, R., Estudio sobre el clima urbano en Bucaramanga. 2001.
- Losilla, M; Rodriguez, H; Schosinsky, G; Stimson, J; Bethune, D. 2001. Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. San José, CR. 206p.
- Mendoza, R., C.A., Sandoval Silva, R., 2002. Estudio de la oferta hídrica en la cuenca superior del río Lebrija. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, UIS, Bucaramanga – Colombia.
- Rueda, M y Betancur, T, 2006. Evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea en el Bajo Cauca Antioqueño. Avances en recursos Hidráulicos, Universidad Nacional sede Medellín, 13, 71-88. Colombia
- Wandurraga, C, 2003. Estudio geoelectrico realizado en el área metropolitana en el proyecto “ Modelo básico de Bucaramanga”
- Hidrogeocol Ltda. Prospección geoelectrica para evaluar las posibilidades acuíferas en la meseta de Bucaramanga

1. ANEXOS

ANEXO A: NIVELES PIEZOMETRICOS OCTEBRE DE 1985

Piezómetro	Este	Norte	Cota N.F
SM-2	1107010	1279755	1013.04
SM-1	1107220	1279200	1026.54
SV-2	1106313	1277040	919.25
SV-1	1106150	1276660	900.18
SG-5	1105930	1276930	901.56
SG-1	1105550	1276960	902.11
SG-2	1105360	1277380	914.12
SL-2	1105500	1278120	920
SRO-7	1105600	1278430	930.1
SRO-6	1105250	1278480	923.11
SRO-5	1105010	1278520	920.26
SJ-4	1104560	1278690	921.95
SS-3	1104400	1279100	906.55
SA-5	1103965	1279550	906.35
SA-8	1104132	1279740	912.75
SNA-2	1104430	1279900	922.39
SNA-4	1104660	1280300	930.22
SN-1	1104220	1280570	911.39
SN-5	1104360	1281090	917.07
SN-7	1104275	1281174	912.71
SR-2	1104020	1281480	896.82
SR-3	1104150	1281690	891.43
SG-4	1105880	1277510	922.3
SRO-8	1105900	1278350	948.23
SS-5	1104920	1279080	932.71
SS-2	1104520	1279040	919.84
SA-9	1104410	1279700	926.54
SD-4	1104440	1280530	917.54

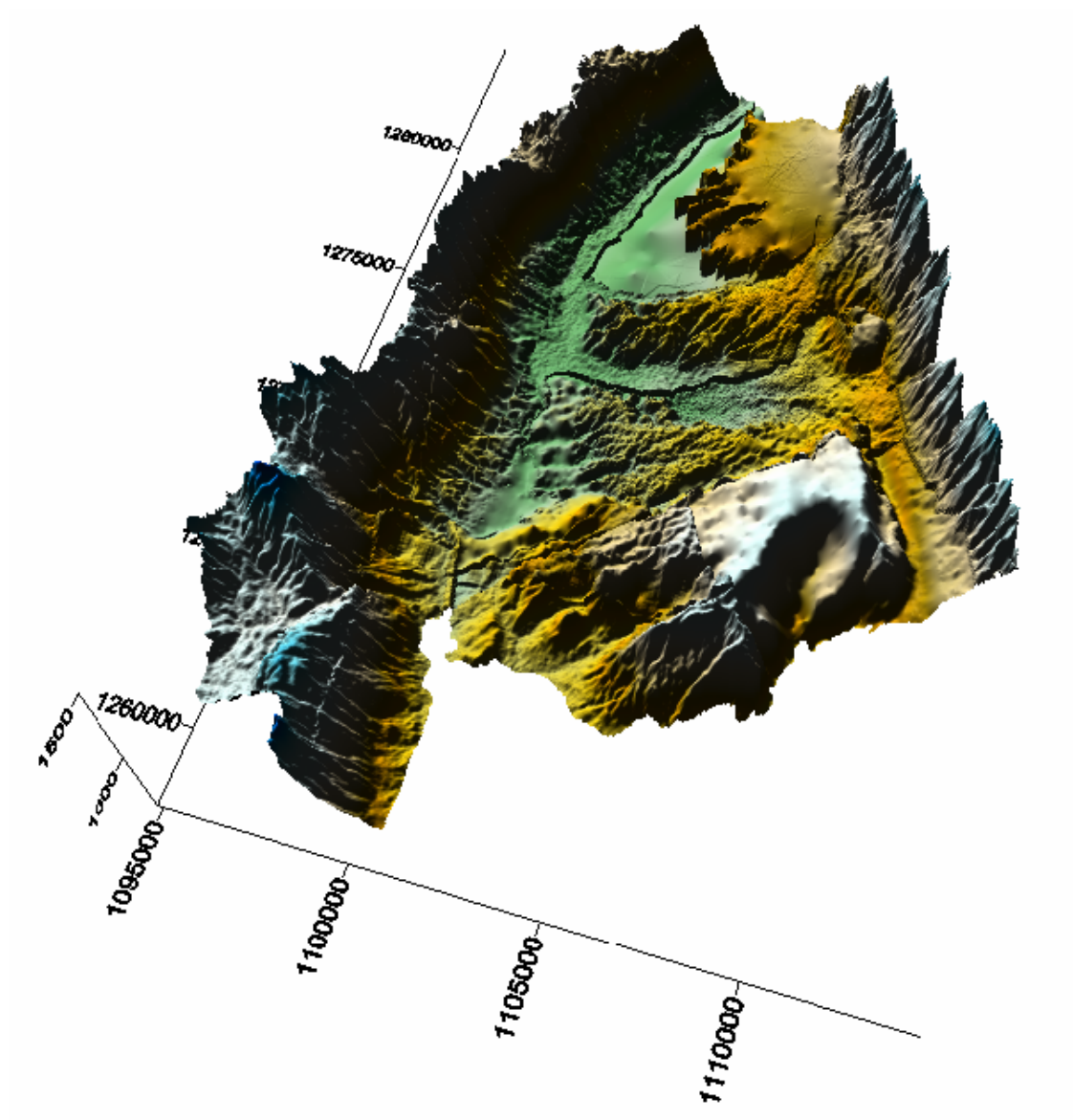
Piezómetro	Este	Norte	Cota N.F
SN-3	1104475	1280800	918.45
SN-4	1104820	1280770	934.19
SM-7	1105445	1280820	969.3
SM-6	1105920	1281160	978.58
SM-5	1106470	1280880	1015.57
SM-4	1106980	1281010	1025.86
SM-3	1106840	1280240	1022.18
SRO-9	1105310	1278190	904.27
SRO-4	1104830	1278440	909.93
SJ-3	1104330	1278580	908.21

ANEXO B: POZOS PROFUNDOS

Pozo No.	Localización	Profundidad (m)	Caudal Aproximado Obtenido	Observaciones
1	Asovicrist	125	0.5 litros/ seg.	Aparece Formación Girón a los 80m
2	Ruitoque Condominio	190	Menos de 1litro/ seg.	Perforación a través de la misma formación.
3	Coca-Cola	160	Mínimo	No apareció roca.
4	Freska Leche	65	1 litro/ seg.	No apareció roca.
5	Terpel-Chimita	70-80?	1.5 litros/ seg.	Saltante
6	Jardines Los Cesares	50	2.5 litros/ seg.	No apareció roca.
7	Santandereana de Aceites	60	Inicialmente 2.5 litros/ seg. A octubre de 2002 1.8 litros/ seg.	No apareció roca.
8	Metrocentro (Éxito)	125	7.5 litros/ seg.	No apareció roca.
9	La Aurora	48	1.5 litros/ seg.	
10	La Pedregosa	50	Seco	Apareció roca.
11	Calle 48 Carrera 32	30		No se encontro roca.
12	Palenque	50		Saltante
13	Estación Ciudad Bonita	60	Hasta 10 litros/ seg.	
14	Terminal de Transportes	60	0.15 litros/ seg.	
15	Parqueadero el Palenque	47	0.06 litros/ seg.	
16	Estación el Bosque	49	0.045 litros/ seg.	Apareció roca arcillosa a los 45 metros
17	S.O.S La Aldea	70	1 litro/ seg.	Limolitas (Jj)
18	Cementerio La Colina	74	0.86 litros/ seg.	Neis a 44 metros
19	Zona Norte	66	0.25 litros/ seg.	No apareció roca.

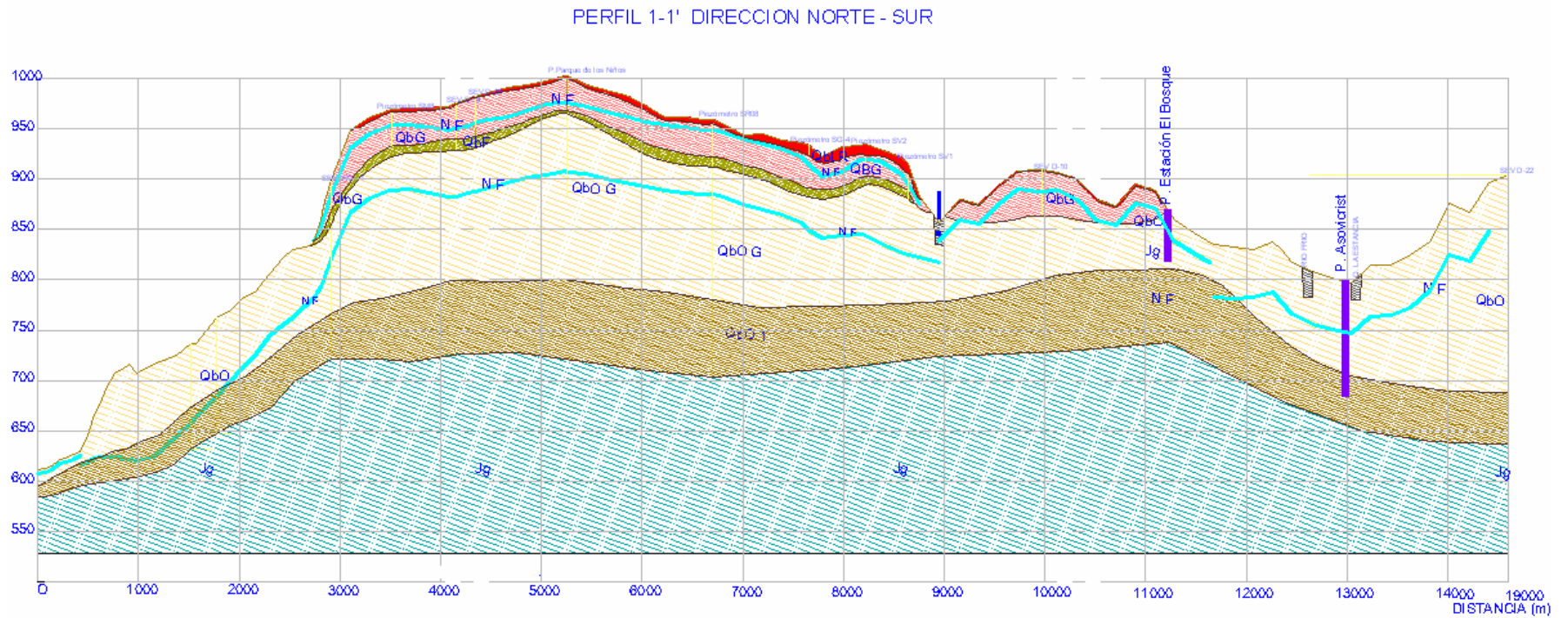
FUENTE: Ingeniería de Suelos Ltda. 2002

ANEXO C: SUPERFICIE DE NIVELES FREATICOS GENERADOS MEDIANTE INTERPOLACION



FUENTE: Elaboración propia

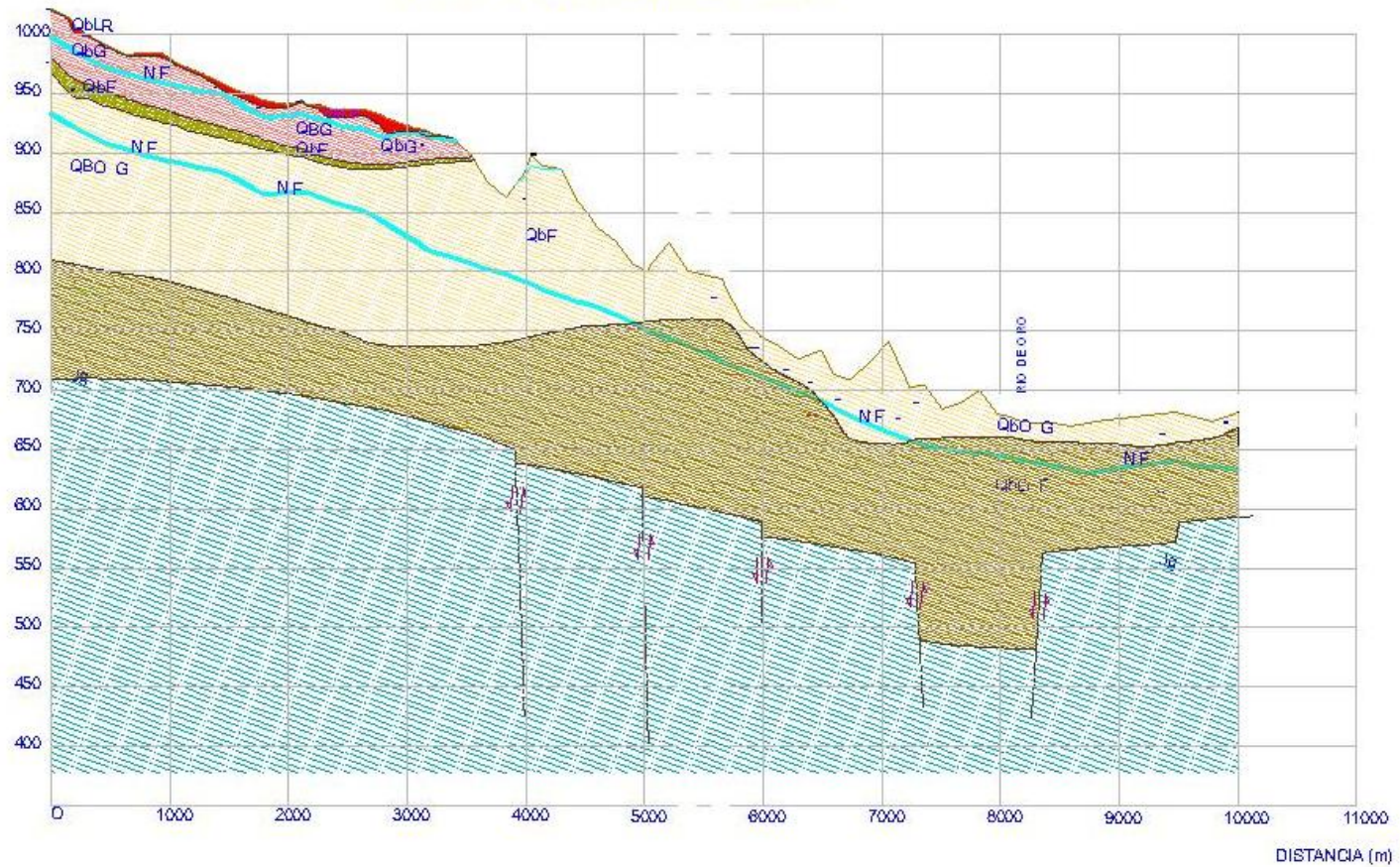
ANEXO D: PERFIL 1-1' DIRECCION NORTE - SUR



FUENTE: Elaboración propia

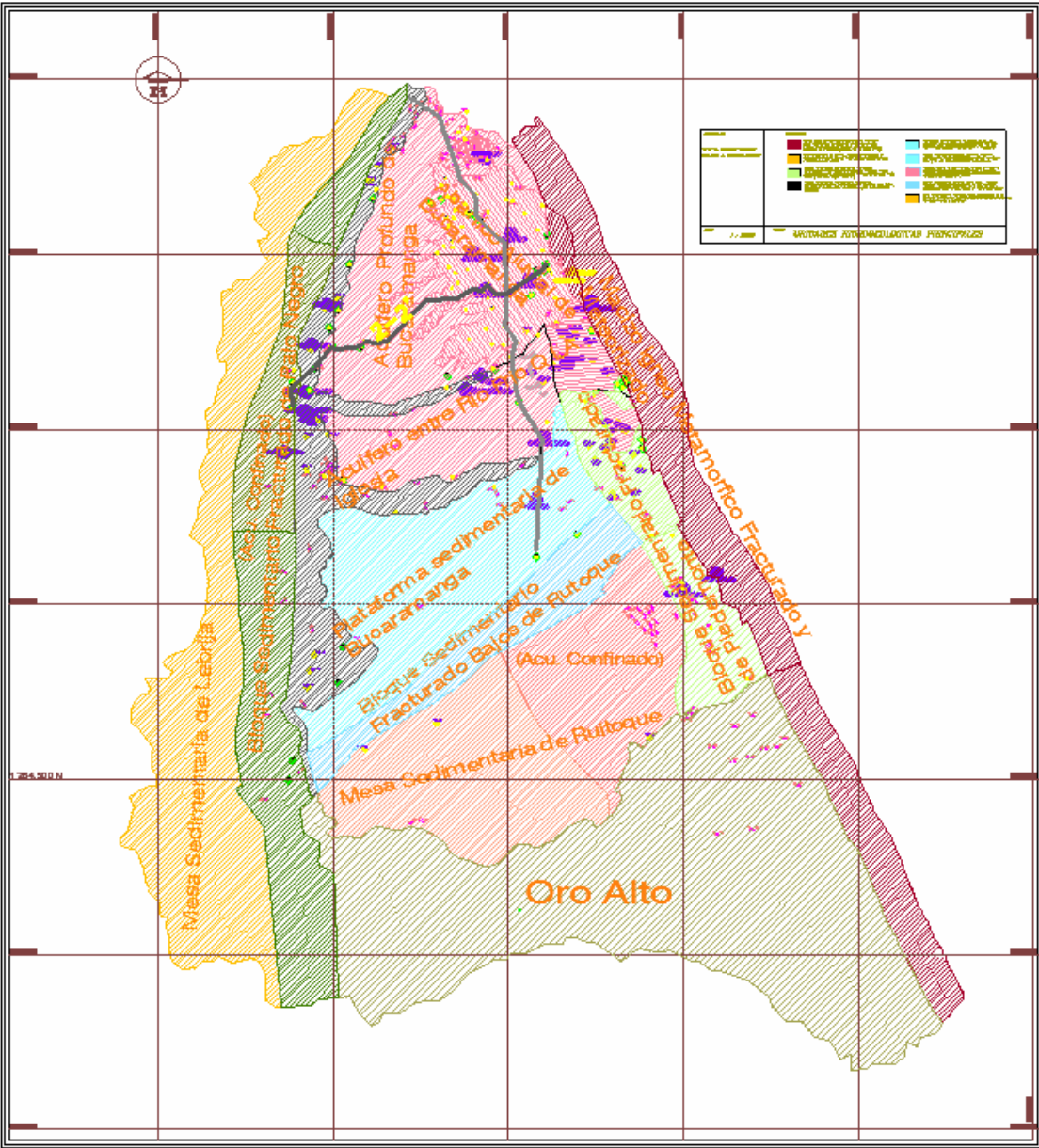
ANEXO E: PERFIL 2-2' DIRECCIÓN ESTE - OESTE.

PERFIL 2-2' DIRECCION ESTE - OESTE



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO F: PLANOS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS



FUENTE: Elaboración propia