

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E  
HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA A MEDIA DEL RÍO  
SAN RAFAEL, CON FINES DE ORDENAMIENTO  
URBANÍSTICO Y MEJORAS. MUNICIPIO HERES, CIUDAD  
BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LAS  
BACHILLERES MARÍA E.,  
MACABRIL G., Y AURA M.  
SERRANO B., PARA OPTAR A  
LOS TÍTULOS DE GEÓLOGO  
E INGENIERO GEÓLOGO,  
RESPECTIVAMENTE**

**CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO DE 2010**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado intitulado “**Caracterización geológica, geotécnica e hidrológica de la cuenca alta a media del río San Rafael, con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras. Municipio Heres, Ciudad Bolívar, Estado Bolívar**”. Realizado por las bachilleres **Macabril G., María E. y Serrano B., Aura M.**, ha sido aprobado, de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Profesor Jorge Abud

---

(Asesor)

Firma:

---

Profesora Rosario Rivadulla

Jefe del Departamento de Geología

Profesor Enrique Acosta

Jefe del departamento de Geotecnia

Ciudad Bolívar, Junio de 2010.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo especial de grado, a mis padres *María García* y *Franklin Macabril* sin cuyo amor incondicional nunca habría logrado alcanzar mis metas, gracias por su apoyo, los quiero mucho...

A toda mi familia, hermanos, sobrinos tías y tíos, primas y primos por su apoyo y por la alegría que sienten por haber cumplido mi meta.

*Macabril G. María E.*

## DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso por darme la vida y la oportunidad de realizar mis estudios que hoy culmino.

A mis padres *Neccy Belisario* y *Saúl Serrano* quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y de mi vida.

A mis Hermanos *Saúl*, *Rosmerys* y *Javier* por el apoyo brindado en el momento oportuno.

A mis Tíos, padrinos y primos quienes han estado apoyándome en todos mis estudios.

A mi abuelo *Belisario* por su estímulo y empuje durante este trayecto.

Nuestro triunfo y alegría es de ustedes, los llevaremos siempre en el corazón.

Por ustedes y para ustedes.

*Aura M. Serrano B.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios Nuestro Señor, por haberme guiado durante esta etapa, a mi madre María García por su apoyo incondicional durante la realización de este trabajo y a mi padre Franklin Macabril que aunque esta en el cielo siempre me acompañó.

A mis Hermanos Joel, Yudith, Francimar, Paula, Marlin, a mis primos, a mi prima María Alejandra, a mi segunda madre mi tía Verónica, a mi abuelita Paula y mis sobrinos bellos Johander, Johirmar, Jorfran.

A mis amigas Carmelina, Kimberly, Darlenys, Eumaris, Marbelis, Floranyel, Niletza, Yaneth y muy especialmente a Aura por haber tomado la responsabilidad de compartir este trabajo conmigo. A la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo Bolívar, especialmente a la Escuela Ciencia de la Tierra, a los profesores que contribuyeron para que se me hiciera realidad el logro de ésta gran meta que me trace en la vida. Al profesor Jorge Abud, por su orientación en la realización de este trabajo. A todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su ayuda para la culminación de esta meta.

*Macabril G, María E*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Madre, ejemplo de constancia y tenacidad, el roble que nunca ha flaqueado, mujer determinada que jamás dejó que me venciera la duda, apoyándome hasta el final.

A mi Padre, ejemplo de equilibrio, quien me enseñó a no tenerle miedo a las cosas grandes.

A mis hermanos quienes son mi detonante de empuje, siempre contarán conmigo. A mis tíos y padrinos por contar siempre con su apoyo.

Al técnico del laboratorio de suelos TSU Lenin Velázquez. A mi casa de estudio, nunca te olvidaré, en mi corazón estará plasmado todo lo que viví mientras transitaba por tus pasillos, todo lo que aprendí en tus aulas. En tí quedaran mis alegrías y tristezas, fuiste mi compañera por cinco años. Gracias por cobijarme en tu seno. Muy especialmente a nuestro tutor académico profesor Jorge Abud, gracias por su valiosa ayuda para la realización de este trabajo y que hizo posible la culminación del mismo. A mis amigos y amigas: Ronald, Taylor, Pablo, María, Yohana, Eumaris, Kimberly, Marbelis, Darlenys, Florangel por su apoyo, tristezas y alegrías compartidas a lo largo de la carrera. A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a lograr esta meta. Mil gracias a todos...

***Aura M. Serrano B.***

## RESUMEN

La cuenca del río San Rafael está ubicada al Noroeste de Ciudad Bolívar Municipio Autónomo Heres del estado Bolívar, con coordenadas U.T.M. 891.700,00-900.000,00 Este y 438.850,00-442.000,00 Norte, su cuenca se extiende en dirección Sur-Norte hasta desembocar en el río Orinoco. Este estudio consiste en caracterizar geológica, geotécnica e hidrológicamente la cuenca alta a media del río San Rafael, con fines de ordenamiento urbanístico. Para lograr este objetivo, se realizó un recorrido por estación en el área de estudio a fin de visualizar las características geológicas, donde se reconocieron dos unidades geológicas: Formación Mesa y Aluviones Recientes y los aspectos más resaltantes que aceleran los procesos erosivos que incentivan la generación de movimientos morfodinámicos e identificar el uso actual del suelo. Se realizaron 6 calicatas donde se tomaron muestras de sedimentos, para aplicarle los ensayos respectivos y así poder determinar sus características geotécnicas e identificar el tipo de suelo en cada una de las estaciones. También se realizaron 2 aforos para conocer el caudal que presenta el río así como también el comportamiento del mismo a través del método de flotadores. La granulometría característica del sector Angosturita comprende arenas medias con pocas partículas de grava, los suelos son de tipo Sp formado por materiales no consolidados y esto lo hace susceptible a la erosión. La granulometría característica del sector Angosturita comprende arenas de grano medio a fino con 87,42% para C1, arenas de grano medio a fino con 85,08% para C2, arenas finas con 77,44% para C3; los suelos son de tipo SP. La granulometría característica del sector Las campiñas comprende arenas de granos fino con 88,06% para C4, arenas de grano medio a fino con 94,22% para C5, y arenas de grano medio a fino con 88,29% para C6; los suelos son de tipo SP. El grado de compactación en la estación Angosturita para la calicata C1; es de 94,74%, C2; es de 92,17%, C3; es de 93,79% y en la estación las Campiñas el grado de compactación para la calicata C4; es de 99,72%, C5; es de 96,49%, C6; es de 84,18%. Tomando en cuenta el uso del suelo, en el río San Rafael y debido a la pobreza y a la carencia de viviendas, ha motivado la invasión de las márgenes adyacentes del río, situación que acelera rápidamente los procesos morfodinámicos en alguno de los sectores, debido a la concentración de aguas superficiales producto del urbanismo mal planificado generando la formación de cárcavas sobre todo en la parte alta de la cuenca. El urbanismo no planificado, ocupa áreas que bordean las cárcavas, las cuales de acuerdo con la Ley de Aguas deben cumplir funciones de protección en las mismas, para reubicar a las familias cuyas viviendas se encuentran en las zonas de alto riesgo a lo largo de la cuenca, las descargas de aguas servidas sobre las cárcavas contribuyen a la erosión, así como también, a la sobresaturación de los suelos propiciando condiciones de desestabilización de los taludes.

## CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN .....	VII
CONTENIDO .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE TABLAS .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I .....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO.....	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
<b>1. POCA ACCESIBILIDAD AL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>2. INSEGURIDAD.....</b>	<b>6</b>
<b>3. FALTA DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DE LA ZONA, QUE PERMITA SUSTENTAR EL ESTUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>4. LA INSUFICIENCIA DE RECURSOS CON LOS QUE SE CUENTAN, Y LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>6</b>
CAPÍTULO II.....	7
GENERALIDADES .....	7
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	7
2.2 ACCESIBILIDAD.....	7

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO NATURALES DE LA ZONA .....	8
2.3.1 <i>Clima</i> .....	8
2.3.2 <i>Precipitación</i> .....	9
2.3.3 <i>Evaporación</i> .....	9
2.3.4 <i>Temperatura</i> .....	9
2.3.5 <i>Humedad relativa</i> .....	12
2.3.6 <i>Vegetación</i> .....	12
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE .....	15
2.5 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS .....	16
2.5.1 <i>Geología regional</i> .....	16
2.5.2 <i>Geología local</i> .....	18
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
3.1 ANTECEDENTES.....	21
3.2. BASES TEÓRICAS.....	23
3.2.1 <i>Características fisiográficas e hidrográficas de la cuenca del río San Rafael</i> .....	23
3.2.2 <i>Características geológicas</i> .....	26
3.2.3 <i>Características geomorfológicas</i> .....	29
3.2.4 <i>Caracterización de la vegetación</i> .....	34
3.2.5 <i>Transporte de sedimentos</i> .....	35
3.2.6 <i>Aspectos morfodinámicos</i> .....	36
3.2.7 <i>Dinámica de vertientes</i> .....	38
3.2.8 <i>Características del suelo</i> .....	39
3.2.9 <i>Características geotécnicas</i> .....	41
3.2.10 <i>Fundamentos legales</i> .....	54
3.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	57
3.3.1 <i>Acuífero</i> .....	57
3.3.2 <i>Afluente</i> .....	58
3.3.3 <i>Aguas residuales</i> .....	58
3.3.4 <i>Aguas subterráneas</i> .....	58
3.3.5 <i>Área de la cuenca</i> .....	58
3.3.6 <i>Asentamiento</i> .....	58
3.3.7 <i>Calicatas o catas</i> .....	59
3.3.8 <i>Caudal</i> .....	59
3.3.9 <i>Cohesión</i> .....	60
3.3.10 <i>Consistencia</i> .....	60
3.3.11 <i>Cuenca</i> .....	60
3.3.12 <i>Cuenca hidrográfica</i> .....	60
3.3.13 <i>Depuración</i> .....	60
3.3.14 <i>Drenaje</i> .....	61
3.3.15 <i>Efluentes</i> .....	61

3.3.16 Erosión .....	61
3.3.17 Erosión fluvial .....	61
3.3.18 Factor Forma (Ff) .....	61
3.3.19 Permeabilidad.....	62
3.3.20 Sedimentos .....	62
3.3.21 Sólidos en suspensión .....	62
3.3.22 Suelo .....	62
3.3.23 Suelo Residual.....	63
3.3.24 Suelo Transportado .....	63
3.3.25 Tiempo de Concentración (Tc) .....	63
3.3.26 Tiempo de retardo .....	64
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>65</b>
<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>65</b>
4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	67
4.3 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	67
4.4 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	68
4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS .....	68
4.6 INTERPRETACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	69
4.7 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MORFODINÁMICOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO EROSIVO .....	69
4.8 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS.....	70
4.8.1 Elaboración de calicatas y toma de muestras para los ensayos de laboratorio.....	70
4.8.2. Ensayos realizados en campo y laboratorio .....	72
4.8.3 Clasificación de los suelos.....	85
4.9 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA EN ESTUDIO .....	85
4.9.1 Análisis morfoscópico de las muestras tomadas en el cauce .....	86
4.10 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FLUJO DEL RÍO SAN RAFAEL .....	87
4.11 IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO URBANO LOCAL .....	88
4.12 ELABORACIÓN DE LOS MAPAS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO Y DE MUESTREO .....	89
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>91</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>91</b>
5.1 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAN RAFAEL .....	91
5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO .....	91
5.3 INTERPRETACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA PRESENTE EN LA CUENCA EN ESTUDIO .....	93
5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MORFODINÁMICOS QUE ACTÚAN EN EL PROCESO EROSIVO .....	94
5.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA ZONA.....	96
5.5.1 Densidad In Situ .....	96
5.5.2 Compactación .....	96
5.6 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN RAFAEL .....	97
5.6.1 Área de la cuenca .....	97

5.6.2 Factor forma ( $F_f$ ).....	97
5.6.3 Cálculo del caudal utilizando aforo.....	98
5.6.4 Análisis de las muestras de sedimentos de los aforos .....	99
5.7 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FLUJO DEL RÍO SAN RAFAEL .....	102
5.7.1 Número de Froude .....	102
5.7.2 Número de Reynolds.....	103
5.8 IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO .....	103
5.9 ELABORACIÓN DE LOS MAPAS GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO Y DE MUESTREO .....	105
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
CONCLUSIONES .....	106
RECOMENDACIONES.....	108
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA RELATIVA DEL RÍO SAN RAFAEL. (GOOGLE EARTH, 2005). 8
- FIGURA 2.2 VEGETACION DE BOSQUES DE GALERIA PRESENTES EN LAS CERCANIAS DEL RÍO. 13
- FIGURA 2.3 VEGETACIÓN DE SABANAS CON CHAPARRO. 14
- FIGURA 2.4 MAPA DE PROVINCIAS GEOLÓGICAS DEL ESTADO BOLÍVAR. (MENDOZA VICENTE, 2005). 17
- FIGURA 2.5 EVIDENCIA DE LA PRESENCIA DE LA FORMACIÓN MESA. ESTACIÓN CABECERA DEL RÍO SAN RAFAEL. (CABRERA Y HURTADO, 2008). 18
- FIGURA 2.6 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN MESA. (CARRASCO, A. 1985). 20
- FIGURA 3.1 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA ESTABLECIDA POR BETANCOURT, (1998), REPRESENTATIVA DE LA FORMACIÓN MESA. 29
- FIGURA 3.2 EVOLUCIÓN DE UNA CÁRCAVA EN CUATRO ETAPAS. (SANTIAGO, 2008). 31
- FIGURA.3.3 EVOLUCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN RAFAEL, CIUDAD BOLÍVAR. (SANTIAGO, 2008). 33
- FIGURA.3.4 DELIMITACIÓN DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE CÁRCAVAS DE CIUDAD BOLÍVAR (MAPA BASE: GOOGLE EARTH, 2007. MODIFICADO). 34
- FIGURA 3.5 LÍMITES ATTERBERG. (JUÁREZ, BADILLO E Y RICO, R.A. 1974). 43
- FIGURA 3.6 CARTA DE PLASTICIDAD. 46
- FIGURA 4.1 FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO. 66
- FIGURA 4.2 CALICATA REALIZADA EN LA ESTACIÓN ANGOSTURITA. 71
- FIGURA 4.3 CALICATA REALIZADA EN LA ESTACIÓN LAS CAMPIÑAS. 72
- FIGURA 5.1 TALUD FORMADO POR SEDIMENTOS RECIENTES PRESENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO. 93
- FIGURA 5.2 VEGETACIÓN EXISTENTE EN LA MÁRGENES DEL RÍO SAN RAFAEL. 94
- FIGURA 5.3 CÁRCAVAS PRESENTES EN LA ESTACIÓN ANGOSTURITA. 95
- FIGURA 5.4 PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO SAN RAFAEL APROXIMADAMENTE 150 MTS AGUAS ABAJO DEL PUENTE LAS CAMPIÑAS. (HURTADO Y CABRERA, 2008). 99
- FIGURA 5.5 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO. MUESTRA M-1. ESTACIÓN ANGOSTURITA. 101
- FIGURA 5.6 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO. MUESTRA M-2. ESTACIÓN LAS CAMPIÑAS. 102

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 COORDENADAS UTM DEL RÍO SAN RAFAEL. (MARTÍNEZ FERLA Y PÉREZ ENEIDA, 2007). .	8
TABLA 2.2 RESUMEN CLIMATOLÓGICO PARA EL AÑO 2008. ESTACIÓN CIUDAD BOLÍVAR. SERVICIO METEOROLÓGICO DE AVIACIÓN. ....	11
TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO. (BOWLES, J.E., 1981). ....	46
TABLA 3.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS. (BOWLES, J.E., 1981). ....	47
TABLA 3.3 TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE ACUERDO AL MATERIAL RETENIDO EN LOS TAMICES. (LAMBE, WILLIAM Y WHITMAN ROBERT, 2001). ....	48
TABLA 3.4 PREFIJOS USADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELO. (LAMBE, WILLIAM Y WHITMAN ROBERT (2001). ....	48
TABLA 3.5 TIPOS DE SUELOS DE ACUERDO A SU GRAVEDAD ESPECÍFICA. (BOWLES, JOSEPH, 1981). ....	50
TABLA 3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS GRADOS DE REDONDEZ EN ARENAS. (POWERS 1953). ....	54
TABLA 4.1 COORDENADAS UTM - ESTACIÓN ANGOSTURITA. ....	71
TABLA 4.2 COORDENADAS UTM - ESTACIÓN LAS CAMPIÑA. ....	71
TABLA 4.3 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO POR EL NÚMERO DE FROUDE. ....	87
TABLA 4.4 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO SEGÚN SU NÚMERO DE REYNOLDS. ....	88
TABLA 5.1 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO DE MUESTRA M- 1. ESTACIÓN ANGOSTURITA. ....	100
TABLA 5.2 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO DE MUESTRA M- 2. ESTACIÓN LAS CAMPIÑAS. ....	100
TABLA 2.1 COORDENADAS UTM DEL RÍO SAN RAFAEL. (MARTÍNEZ FERLA Y PÉREZ ENEIDA, 2007). .	8
TABLA 2.2 RESUMEN CLIMATOLÓGICO PARA EL AÑO 2008. ESTACIÓN CIUDAD BOLÍVAR. SERVICIO METEOROLÓGICO DE AVIACIÓN. .	11
TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO. (BOWLES, J.E., 1981). .	46
TABLA 3.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS. (BOWLES, J.E., 1981). .	47
TABLA 3.3 TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE ACUERDO AL MATERIAL RETENIDO EN LOS TAMICES. (LAMBE, WILLIAM Y WHITMAN ROBERT, 2001). .	48
TABLA 3.4 PREFIJOS USADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELO. (LAMBE, WILLIAM Y WHITMAN ROBERT (2001). .	48
TABLA 3.5 TIPOS DE SUELOS DE ACUERDO A SU GRAVEDAD ESPECÍFICA. (BOWLES, JOSEPH, 1981). .	50

<b>TABLA 3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS GRADOS DE REDONDEZ EN ARENAS. (POWERS 1953).</b>	<b>54</b>
<b>TABLA 4.1 COORDENADAS UTM - ESTACIÓN ANGOSTURITA.</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 4.2 COORDENADAS UTM - ESTACIÓN LAS CAMPIÑA.</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 4.3 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO POR EL NÚMERO DE FROUDE.</b>	<b>87</b>
<b>TABLA 4.4 CLASIFICACIÓN DEL FLUJO SEGÚN SU NÚMERO DE REYNOLDS.</b>	<b>88</b>
<b>TABLA 5.1 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO DE MUESTRA M- 1. ESTACIÓN ANGOSTURITA.</b>	<b>100</b>
<b>TABLA 5.2 ANÁLISIS MORFOSCÓPICO DE MUESTRA M- 2. ESTACIÓN LAS CAMPIÑAS.</b>	<b>100</b>

## INTRODUCCIÓN

El efecto que pueden tener las actividades humanas generadoras de contaminación e intervención de las cuencas hidrográficas es de suma importancia por el impacto ambiental que pueden tener como por el efecto que tienen sobre la calidad de las aguas, debido a la adición de sustancias que alteran las propiedades naturales de las mismas, haciendo imposible o difícil su utilización para diversos usos, entre los más importantes aquellos relacionados al consumo humano, directo e indirecto.

La contaminación de las aguas puede tener efectos nocivos para el ambiente afectando el equilibrio natural de los ecosistemas, circulación de nutrientes, eliminación de algunas especies y desarrollo descontrolado de otras, como para el hombre, siendo causas de enfermedades, afectando la salud y calidad de vida.

El presente trabajo considera como objeto de estudio al río San Rafael ubicado al Noroeste de Ciudad Bolívar, políticamente se ubica en el Municipio Autónomo Heres del estado Bolívar, debido a que se desconoce hasta el momento el nivel de contaminación. La caracterización geológica y geotécnica de la cuenca alta del río San Rafael genera información detallada que sirve para enriquecer el conocimiento obtenido hasta ahora por trabajos anteriores hechos a escala regional.

La cuenca alta del río San Rafael está constituida por taludes naturales de grandes alturas y pendientes variables, interrumpidas por cárcavas, que son el resultado de un proceso natural de erosión en ellas; que actualmente aceleran los problemas de inestabilidad en los taludes. El problema de retroceso se debe a que gran parte de la superficie en el tope de los taludes ha sido impermeabilizada con capas de cemento, asfalto techos de diferentes materiales, lo que genera un exceso de escorrentía.

El retroceso de las cabeceras de los barrancos puede convertirse en una amenaza para la estabilidad de las infraestructuras adyacentes, incluso que pueden llegar a convertirse en un peligro para la vida de las personas que habitan dentro de las zonas afectadas.

Es necesario el estudio geológico, geotécnico e hidrológico de la parte alta a media de la cuenca, a los fines de definir los aspectos morfodinámicos y el comportamiento geotécnico de los suelos que contribuyen a acelerar el proceso de erosión de las cárcavas. Para la ordenación y protección ambiental.

El presente trabajo de grado se encuentra estructurado de la siguiente manera, en el Capítulo I se presenta la Situación a Investigar, en el Capítulo II las Generalidades referentes a la Información necesaria para el logro de los objetivos planteados, el Capítulo III el Marco Teórico, el Capítulo IV Metodología empleada y en el Capítulo V los Análisis e Interpretaciones de Resultados, Conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **SITUACIÓN A INVESTIGAR**

### **1.1 Situación objeto de estudio**

Hoy en día en Venezuela se ha ido incrementando el asentamiento de viviendas tipo ranchos ocupando áreas baldías que se ubican a los márgenes de los ríos y que no cuentan con servicios sanitarios apropiados y en consecuencia dan origen a que se produzcan la descarga de desechos sólidos y líquidos sobre los cuerpos de agua interrumpiendo su rumbo, provocando así la socavación lateral en las paredes de los ríos que van generando las cárcavas produciendo una alta inestabilidad en el terreno donde se hallan establecidas estas zonas urbanizadas convirtiéndolas en zonas de alto riesgo.

Actualmente el curso de agua natural del río San Rafael, se ha estado apartando de su estado de equilibrio, es decir, perdiendo su posición de equilibrio, ocasionando procesos erosivos que crean las cárcavas ó aumentando el volumen de dichas cárcavas y causando grandes problemas de inestabilidad en los taludes, desarrollando movimientos de tierra en las zonas urbanizadas. Estos problemas se deben al aumento de agua que discurren por el canal debido a la precipitación, la disminución de la capacidad del canal a causa del proceso de sedimentación la cual puede propiciar el desbordamiento del cauce.

La falta de recursos, de información y del mismo sentido común; conllevan a la construcción de viviendas en zonas de riesgo como lo son las zonas aledañas del río.

En algunos casos la aplicación de actividades incorrectas junto con el desarrollo socio-económico de las poblaciones, al no ajustarse con los principios de armonía y

equilibrio hacen desencadenar situaciones que deterioran el entorno natural y por consiguiente disminuye la calidad de vida de las personas; en base a esto se va a desarrollar una caracterización geológica, geotécnica e hidrológica de la cuenca alta a media del río San Rafael con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras que permitirá desarrollar un plan de desarrollo urbano local con fines de adecuación en las áreas críticas de las cercanías del río San Rafael para mantener y rescatar este importante cuerpo de agua superficial.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Caracterizar geológica, geotécnica e hidrológicamente la cuenca alta a media del río San Rafael, con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras. Municipio Heres, Ciudad Bolívar- estado Bolívar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Diagnosticar la problemática actual de la cuenca alta y media del río San Rafael.
2. Describir las unidades geológicas del área en estudio.
3. Interpretar la geomorfología presente en la cuenca en estudio.
4. Describir los aspectos morfo-dinámicos que actúan en el proceso erosivo.

5. Determinar las características geotécnicas de los suelos pertenecientes a la cuenca en estudio.
6. Determinar las características hidrográficas de la cuenca en estudio.
7. Determinar del tipo de flujo del río San Rafael.
8. Implementar un plan de desarrollo urbano local que permita evitar las construcciones de viviendas a lo largo de la cuenca alta y media del río San Rafael.
9. Elaboración de los mapas; geológico, geotécnico y de muestreo.

### **1.3 Justificación de la investigación**

En función a la problemática planteada ubicada en la cuenca alta del río San Rafael correspondiente al sector Angosturita; en cuyos sectores lamentablemente se han producidos deterioros a infraestructuras y amenaza con afectar a bienes y a personas en un futuro no muy lejano. Por tal motivo es necesario realizar una caracterización geológica, geotécnica e hidrológica en dicha cuenca y de esta manera definir los aspectos morfo-dinámicos y el comportamiento geotécnico de los suelos que permitirá desarrollar un plan de desarrollo urbano local con fines de adecuación en las áreas críticas de las cercanías del río San Rafael.

### **1.4 Alcance de la investigación**

Este trabajo de investigación estará limitado a caracterizar geológica y geotécnicamente la cuenca alta a media del río San Rafael como también caracterizara su hidrología en las aéreas críticas de la misma con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras.

### **1.5 Limitaciones de la investigación**

1. Poca accesibilidad al área de estudio.
2. Inseguridad.
3. Falta de información bibliográfica acerca de la zona, que permita sustentar el estudio.
4. La insuficiencia de recursos con los que se cuentan, y los equipos necesarios para la recolección de información.

## **CAPÍTULO II GENERALIDADES**

### **2.1 Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio está ubicada al Noroeste de Ciudad Bolívar, políticamente se ubica en el Municipio Autónomo Heres del estado Bolívar, según la Ley de División Político Territorial del estado Bolívar del 26 de Junio de 1986. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

En la tabla 2.1 y figura 2.1 se muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

### **2.2 Accesibilidad**

El acceso principal a la zona en estudio se puede realizar a través de la Avenida Libertador, Avenida República y el Paseo Gaspari por el Este; al Oeste por la Avenida España, Las Campiñas, al Sur por la Avenida Perimetral y al Norte por el barrio La Toma, cuyas vías se encuentran totalmente asfaltadas.

Tabla 2.1 Coordenadas UTM del río San Rafael. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

Coordenadas Este	Coordenadas Norte
891.700,00	438.850,00
900.000,00	442.000,00

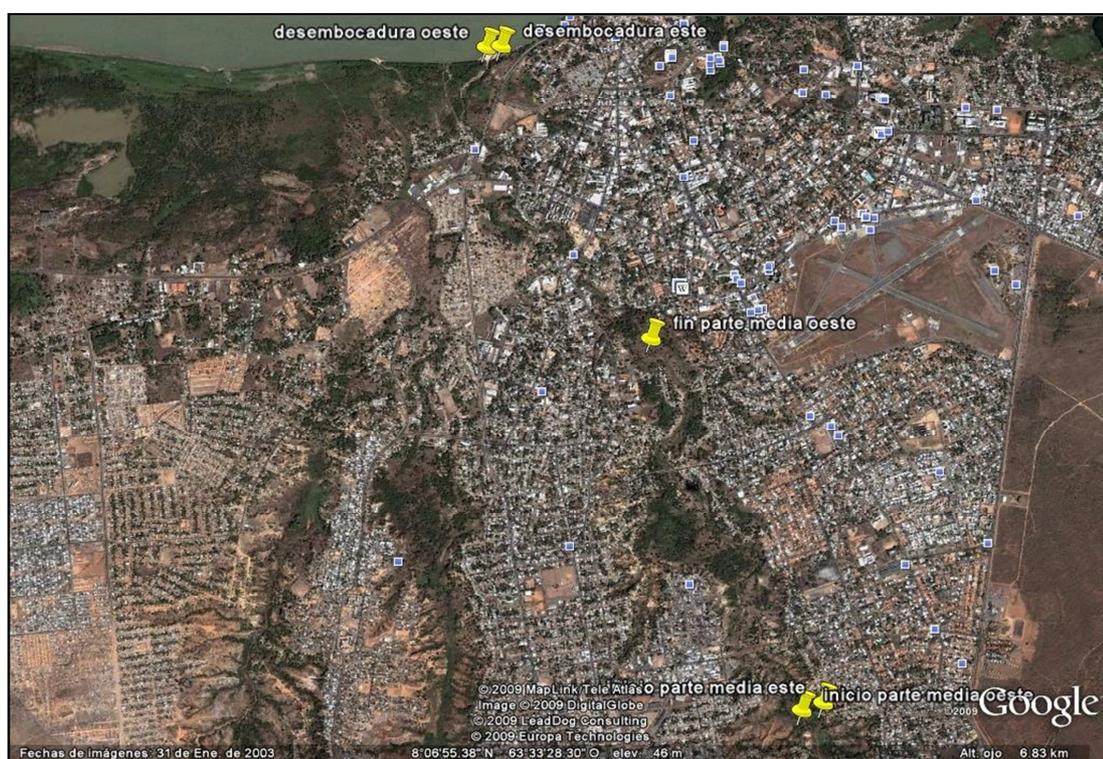


Figura 2.1 Ubicación geográfica relativa del río San Rafael. (Google Earth, 2005).

## 2.3 Características físico naturales de la zona

### 2.3.1 Clima

Ciudad Bolívar y sus alrededores, tiene una clasificación climática (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. (1991) que corresponde a una zona de Bosque Seco Tropical, caracterizado por una definición cuantitativa de

la relación de dependencia que existe entre la naturaleza y la vegetación y los principales elementos del clima: biotemperatura, precipitación, y humedad ambiental, de manera que la vegetación refleja las condiciones climáticas predominantes, las cuales también influyen significativamente en el relieve, la hidrología y suelos.

El clima se mide por medio de termómetros, pluviómetros, barómetros y otros instrumentos, pero su estudio depende de las estadísticas. El modo más fácil de interpretarlo es en términos de medias mensuales y anuales de las variables climatológicas: precipitación, evaporación, temperatura, insolación solar, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

### **2.3.2 Precipitación**

La época de lluvia en esta área consta de un periodo de 6 meses desde Mayo hasta Octubre, siendo julio el mes más lluvioso y el resto del año es un periodo de sequía, para un valor anual de 844,9 mm. (Tabla 2.2).

### **2.3.3 Evaporación**

Debido a la gran intensidad de radiación que se recibe durante todo el año da lugar a una tasa de alta evaporación, especialmente en la época de pleno verano e inicio de lluvia con valores que se encuentran entre 100 y 160 mm, alcanzando sus valores más altos en el mes de abril y para los meses junio y julio promediando los valores más bajos llegando a 78 mm. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **2.3.4 Temperatura**

1. Temperatura media.

2. Temperatura máxima media.
3. Temperatura mínima media.

Tabla 2.2 Resumen climatológico para el año 2008. Estación Ciudad Bolívar. Servicio Meteorológico de Aviación.

Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Precipitación (mm)	34,5	21	17,6	16,5	109,2	163	198,5	141,5	98	83,4	80,5	44,2	449,8
Evaporación (mm)	130	141,5	158	160,2	127,5	79,6	78	85,5	90,4	111,5	101	119,8	1303
Temperatura (°C)	26,5	27,2	29,6	30,8	29,5	28,2	27,5	28	28,7	29	27,5	26,7	28,3
Humedad Relativa (%)	76	75	75	77	78	78	86	78	83	78	78	79	78

2.3.4.1 Temperatura media: la temperatura media anual en el área de estudio es de 28,3° C y el máximo principal ocurre en el mes de abril, con un valor de 30,8° C y los valores menores de temperatura media se registra en los meses de Diciembre, Enero, Febrero.

2.3.4.2 Temperatura máxima media: los valores más altos de temperatura máxima media mensual, se registran en los meses de Marzo, Abril y Mayo. Las temperaturas más bajas ocurren en los meses de Junio, Julio y Noviembre-Enero.

2.3.4.3 Temperatura mínima media: la temperatura media anual muestra sus valores máximos durante los meses de Abril y Mayo y los valores mínimos se registran en los meses de Diciembre, Enero y Febrero.

### **2.3.5 Humedad relativa**

Los valores máximos de humedad se presentan durante la época de junio a septiembre alcanzando valores promedios mensuales entre 85-87 % y los valores mínimos se presentan en la época de Abril, Marzo y Febrero, con promedios mensuales comprendidos entre 75-76 % de humedad. La humedad promedio anual para este periodo fue de 80%.

### **2.3.6 Vegetación**

La vegetación presente en el área de estudio es de bosques de galerías y de sabana con chaparros. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

2.3.6.1 Vegetación de bosques de galerías: esta vegetación se observa a lo largo de las zonas húmedas, específicamente en las márgenes de los ríos y se presenta en forma de arborescencia de tipo selvático, a la que se le denomina bosque de galería, en este tipo de vegetación se incluye el bambú el cual se observa en las nacientes del río San Rafael. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007). (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vegetación de bosques de galería presentes en las cercanías del río.

2.3.6.2 Vegetación de sabanas con chaparros: este tipo de vegetación se caracteriza por vegetación herbácea que está formada por una cobertura graminiforme de porte bajo, entre los cuales las especies más abundantes son: Paja peluda (*tracgypogon plumosus*), escobilla (*scoparia dulcis*), dormidera (*mimosa dormiens*), cadillo y por la vegetación arbustiva que esta constituida por árboles de 2 a 4 mts de altura, los principales representantes son: Chaparro (*curatera americana*), manteco (*byrsominia crassifolia*), merey (*anarcadium occidental*), alcornoque (*bowdichia virgiloides*) y en proporción menor se encuentra el mango (*mangifera indica*). (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007). (Figura 2.3).



Figura 2.3 Vegetación de sabanas con chaparro.

## 2.4 Características del relieve

En esta área se identifican fundamentalmente las formas de relieve de los sedimentos de la Formación Mesa; los procesos erosivos de estos sedimentos dan origen a áreas de tierras malas o “bad lands”, superficies ligeramente inclinadas. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

En los estratos superiores se desarrollan formas de relieve típicas de tierras malas o cárcavas con drenaje absolutamente dendrítico, en el cual los cursos principales socavan la base de los barrancos y se extiende su perfil longitudinal mediante sucesivos derrumbes. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1998).

Este relieve expresa las características propias de un valle con topografía accidentada; se encuentran zonas con pendientes menores del 10% y se observan otras de relieve alto, con pendientes mayores del 20%. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1998).

La pendiente se va haciendo mayor en la parte alta de la cuenca encontrándose taludes naturales de alturas que varían entre 10 y 60 mts y con pendientes variables, generalmente superiores a 60% aproximadamente. Existen zonas donde los taludes alcanzan menor altura, con poca pendiente donde el efecto erosivo laminar ha alcanzado menor desarrollo, en el cual la pendiente se mantiene casi constante hasta alcanzar el nivel del río. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1998).

## **2.5 Características geológicas**

### **2.5.1 Geología regional**

La geología regional está constituida por dos ambientes geológicos bien diferenciados, que son: el basamento ígneo-metamórfico del Complejo Imataca y los sedimentos de la Formación Mesa que lo cubren discordantemente. (Figura 2.4).

2.5.1.1 Complejo de Imataca: según Kallioskoski (1965) en González de Juana (1890), la parte Norte-Central del Escudo de Guayana venezolana consiste en una faja con rumbo Este-Noreste de gneises de alto grado del Complejo de Imataca.

Las rocas del Complejo Imataca se hallan intensamente plegadas, metamorfizadas regionalmente a facies de la anfibolita y granulita, contiene abundante gneis granítico y se destacan especialmente por su contenido de miembro de cuarcitas ferruginosa, algunos enriquecidos al punto de construir menas de hierro de alto tenor.

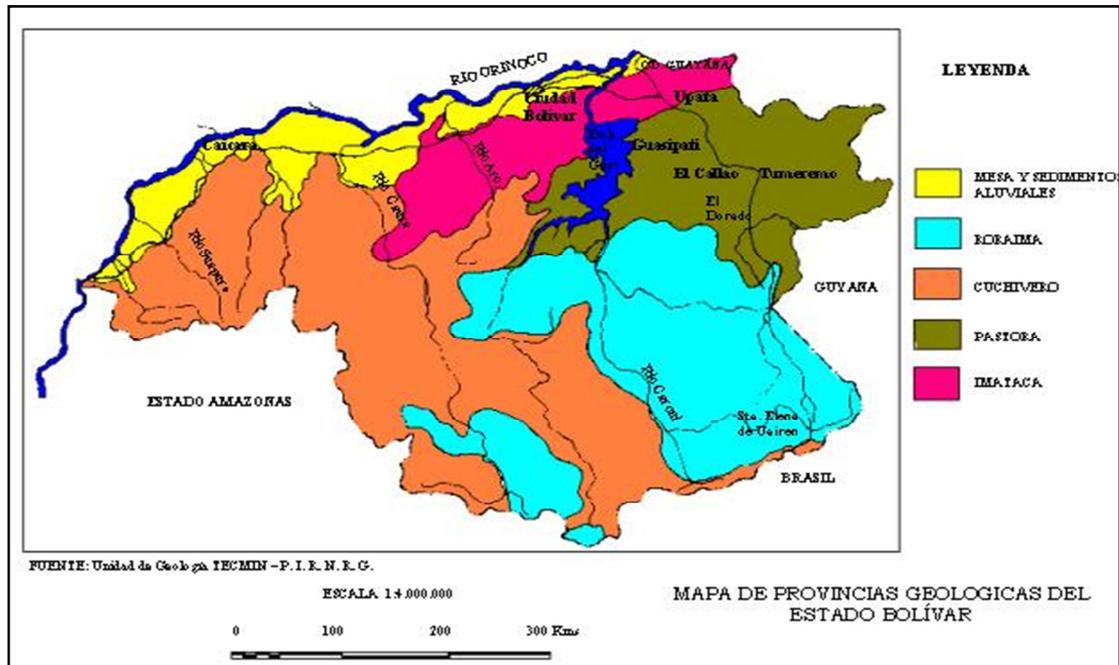


Figura 2.4 Mapa de provincias geológicas del estado Bolívar. (Mendoza Vicente, 2005).

Según Kallioskoski (1965) en González de Juana (1892), señala que la Formación Mesa parece depositada sobre una superficie irregular de rocas Precámbricas, en el Escudo de Guayana, debido a los afloramientos redondeados de granitos gnéisicos y parcialmente afloramientos irregulares de cuarcitas parcialmente ferruginosas, que se elevan por encima de la Formación, en el área de Ciudad Bolívar. Esta Formación queda representada por grandes depósitos del plio-pleistoceno sobre el peneplano ígneo-metamórfico del Escudo de Guayana, el cual forma los morichales de Ciudad Bolívar, la mesa de la Sabanita, Las Piedritas y el banco de sabana alta, que topográficamente conforman la divisoria de aguas entre los pequeños ríos que fluyen al Sur.

### 2.5.2 Geología local

El área de investigación esta constituida en su mayor parte por los sedimentos de la Formación Mesa, y en menor proporción por los Sedimentos Recientes o aluviones recientes como lo define Yánez, G., en su trabajo “Geomorfología del área entre Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana”. Debido a la cobertura de estos sedimentos, las rocas pertenecientes al Complejo de Imataca no afloran en el área, pero se infiere su existencia a algunas decenas de mts de profundidad debido a que la Formación Mesa se encuentra discordante con el Complejo de Imataca en Ciudad Bolívar, tal como se muestra en la columna estratigráfica (Figura. 2.5).

La Formación Mesa en la zona de la cuenca del río San Rafael se divide en dos horizontes, una parte superior de color generalmente rojizo, producto de la lixiviación de hierro y comprende una secuencia de arcillas limonitas y arenas bien estratificadas la cual presenta concreciones de hierro, y una parte inferior que esta menos afectada por lixiviación y presenta estrato de limo arcillas y arenas de tonos claros. (González de Juana, 1982).



Figura 2.5 Evidencia de la presencia de la Formación Mesa. Estación Cabecera del río San Rafael. (Cabrera y Hurtado, 2008).

2.5.2.1 Aluviones recientes: estos materiales son provenientes de la erosión de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir del holoceno hasta el presente, constituyendo las planicies de aluviones y el área de inundación.

Los materiales comprenden cantos, peñones, gravas, arenas, limos, arcillas, coloides y otras partículas en suspensión que se han depositado desde el Holoceno hasta el presente en el fondo de los cauces de los ríos, formando depósitos de cauce, y en épocas de crecida, originando las barras de meandro (Corporación Lobap C.A.-Asesorías Geológicas y Mineras,

2.001). Estos materiales, de color amarillento a blanco y con una granulometría variable, se encuentran dispuestos en forma de planicies que dan origen a pequeñas terrazas constituidas por sedimentos arenosos-limosos, acarreados por los ríos, principalmente en épocas de lluvia (Betancourt, op. cit.). (Figura 2.6).

La mineralogía de las arenas que conforman los sedimentos recientes está constituida por 70% de cuarzo, 26% de feldspatos, 3,5% de micas y otros minerales opacos y 0,5% de otros minerales accesorios. Respecto a las características físicas se cuentan el peso específico de  $2,67\text{gr/cm}^3$ ; el color; su módulo de firmeza de 2,4%; su textura media; la resistencia muy tenaz; su dureza de 7,1; no es reactiva al cemento (0%) y los granos son angulares. (Betancourt, op.cit.).

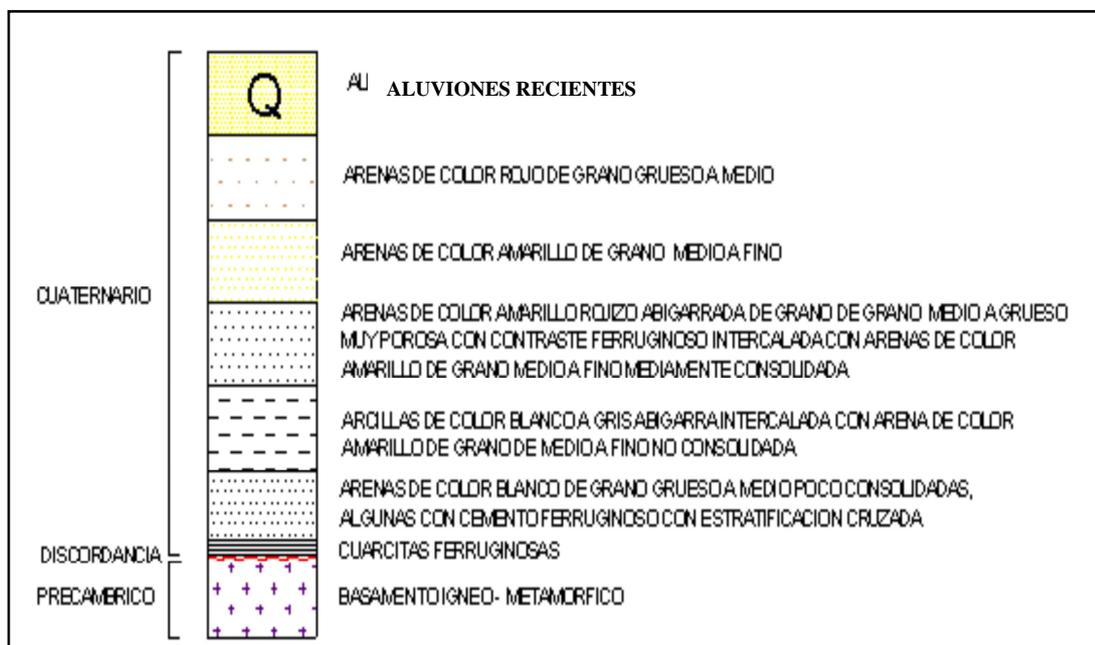


Figura 2.6 Columna estratigráfica de la Formación Mesa. (Carrasco, A. 1985).

## **CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO**

El presente estudio se fundamenta en caracterizar geológica, geotécnica e hidrológicamente la cuenca del río San Rafael, desde su nacimiento hasta su parte media, con fines de ordenamiento urbanístico y conservación. La investigación teórica y conceptual permitirá realizar y fundamentar la investigación propuesta.

A continuación se presenta de manera resumida la idea principal de cada uno de los temas propuestos, los cuales constituyen el esquema tentativo del marco teórico, proporcionando una noción aproximada del tema planteado.

### **3.1 Antecedentes**

Cabrera, Jhoarliss y Hurtado, Orlando (2008) realizaron una **“Caracterización geológica, geotécnica e hidrológica con fines de ordenamiento y conservación del río San Rafael, Municipio Heres, Ciudad Bolívar- estado Bolívar”** con la finalidad de determinar las características hidrológicas y geotécnicas del terreno y describir las unidades geológicas presentes en la cuenca del río San Rafael que permitirán establecer las medidas preventivas para asegurar la protección y estabilización de las cárcavas retrocedentes.

Gutiérrez Eliene y Pérez Karelis, (2001). Realizaron un estudio con la finalidad de definir las características geológicas de la cuenca del río San Rafael, así como también evaluar la calidad del agua de este río y determinar cuál es el grado de contaminación del mismo y sugerir el tipo de tratamiento que debe recibir estas aguas.

Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis (2000) realizaron la **“Hidrología urbana de la cuenca hidrográfica del río San Rafael. Ciudad Bolívar - estado Bolívar”**. El objetivo de este trabajo es conocer y determinar la hidrología urbana de la cuenca hidrográfica del río San Rafael, la cual resume un conjunto de procedimientos utilizados en la determinación del escurrimiento superficial sobre suelo natural, asfalto y concreto, para la planificación y proyecto de sistema de drenaje urbano, lo que finalmente permite evitar al máximo los posibles daños que las aguas pluviales pueden ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano, como también garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, logrando así un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de las lluvias.

Martínez Ferla y Martínez Eneida (2007). Realizaron la **“Caracterización geológica ambiental del río San Rafael en épocas de sequía y lluvias, Municipio Heres, Ciudad Bolívar”**. El objetivo de este trabajo tiene como finalidad actualizar los datos geológicos y ambientales existentes en la cuenca del río San Rafael, permitiendo elaborar un plan de recuperación muy a detalle de la cuenca del río San Rafael.

Betancourt y Guevara, (1998), realizaron un **“Estudio Geológico, Geotécnico, e Hidrológico con fines de ordenación y conservación de la cuenca alta del río San Rafael”**. En el mencionado estudio fueron definidas las características geológicas y geotécnicas de la cuenca alta del río San Rafael y la Hidrológica urbana en áreas críticas de erosión aceleradas en cárcavas retrocedentes, a fin de establecer las medidas necesarias y las pautas para la estabilización de las mismas.

Eulacio y Rivero (1988); con sus respectivos y diversos estudios en la evaluación de microcuencas para los diferentes ríos del perímetro urbano de Ciudad Bolívar han contribuido de alguna manera al conocimiento actual, desde el punto de

vista Geológico, Geotécnico e Hidrológico, topográfico y de caracterización física-química y bacteriológica de las aguas de los ríos, objeto de interés desde el punto de vista científico y técnico.

Un proyecto de canalización del río San Rafael fue elaborado por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Dirección general de proyecto región Nor-oriental (1976). El informe se refiere a una descripción de los criterios topográficos, hidrológicos, planos de construcción y planos aerofotogramétricos adaptados para la realización del proyecto de la canalización del río.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1 Características fisiográficas e hidrográficas de la cuenca del río San Rafael**

La cuenca del río se extiende en la dirección Sur-Norte hasta desembocar en el río Orinoco, con un área aproximada de 24 km<sup>2</sup> la longitud del cauce principal es de 17 km, tiene acusada pendiente que disminuye a medida que se acerca a su desembocadura en el río Orinoco. (Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis, 2000).

Los factores de drenaje que presenta el río San Rafael son del tipo dendrítico sub-paralelo y lenguado, formado por pequeñas quebradas intermitentes, que aportan agua al cauce principal durante los meses de invierno (Mayo-Octubre). (Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis, 2000).

La red de drenaje del río San Rafael se encuentra enmarcada dentro de la Formación Mesa, observándose in situ el desplazamiento de sedimentos arenociliosos, producto de la alteración de los taludes verticales que bordean al río, los

cuales son atacados por procesos geológicos, tales como: erosión, lixiviación e interperismo. (Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis, 2000).

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia caen sobre ella como si fuera impermeable y tenderían a ser drenadas por el sistema de corrientes, hacia un mismo punto de salida. (Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis, 2000).

Martínez Ferla y Martínez Eneida (2007) definen a una cuenca como la depresión cerrada de la superficie terrestre de paredes suaves de alimentación natural y que canalizan el agua de lluvia en un solo desagüe.

Una cuenca hidrográfica es un territorio cuyas aguas fluyen todas a un mismo río, lago o mar, está delimitada por divisiones de agua. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

El carácter hidrológico de la cuenca contribuye considerablemente a formar sus características físicas e hidrológicas y se deben a un gran número de factores. La determinación de las características físicas de una cuenca está limitada por la disponibilidad de mapas que, en general, son de diferentes escalas y están hechos con estándares cartográficos diferentes, de manera que un mismo parámetro debe tener diferentes valores de acuerdo con el mapa utilizado.

Dentro del análisis hidrológico se han propuesto muchas formas numéricas para describir las diferentes características de una cuenca hidrográfica. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

El drenaje es un encañamiento o derrame de las aguas mediante desagüe. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

Los afluentes son líquidos o sólidos que sale de una planta de tratamiento de residuos. Descarga de agua de tipo industrial y urbano. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

El caudal se define como el agua que entra en las corrientes procedentes de fuentes persistentes que varían lentamente y mantienen el flujo de la corriente entre los lechos de entrada de agua. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

Las características físicas de la cuenca dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de los suelos, la capa vegetal, la geología y las prácticas agrícolas entre otras. Estos factores físicos e hidrológicos proporciona la más conveniente posibilidad de conocer la variación en los espacios de los elementos del régimen hidrológico.

3.2.1.1 Área de la cuenca: es la magnitud más importante que define la cuenca. Delimita el volumen total de agua que la cuenca recibe en cada uno de sus afluentes.

Para determinar el área de la cuenca es necesario delimitar su contorno. Existe un primer contorno de la cuenca definido por la topografía y que delimitaría la cuenca vertiente por escorrentía superficial, es decir, determina los puntos cuya escorrentía vierte a la cuenca considerada. Para ello se debe determinar la línea límite de la cuenca con las adyacentes localizando en primer lugar los puntos más altos del límite de la cuenca, posteriormente se dibuja el contorno de la cuenca, sabiendo que la escorrentía es siempre perpendicular a las curvas de nivel.

Se determina sobre mapas topográficos elaborados a una escala conveniente y se expresa generalmente en  $\text{Km}^2$  y/o hectáreas (Ha). El área de la cuenca en estudio es de 1994 hectáreas con una longitud del cauce principal de 17 Km. (Martínez Ferla y Martínez Eneida, 2007).

3.2.1.2 Factor forma: es un índice adimensional para indicar la relación del ancho promedio de la cuenca respecto a su longitud axial ( $l_{ax}$ ), lo que se traduce hidrológicamente como la capacidad que tiene la cuenca de producir creciente. La longitud axial es la distancia en km. Desde la desembocadura o punto medio hasta el punto más lejano de la cuenca aguas arriba, en línea recta. (Olarte Lissy, Ruiz José y González Donis, 2000). Como se muestra en la ecuación (3.1).

$$Ff = \frac{\text{área de la cuenca (Km}^2\text{)}}{\text{longitud axial (Km}^2\text{)}} \quad (3.1)$$

Donde:

Ff= Factor forma.

### 3.2.2 Características geológicas

#### 3.2.2.1 Geología regional

- Complejo de Imataca: según Kallioskoski, (1965) en González de Juana, (1892), la parte Norte-Central del Escudo de Guayana venezolana consiste en una faja con rumbo Este-Noreste de gneises de alto grado del Complejo de Imataca.

Las rocas del Complejo Imataca se hallan intensamente plegadas, metamorfizadas regionalmente a facies de la anfíbolita y granulita, contiene abundante gneis granítico y se destacan especialmente por su contenido de miembro de cuarcitas ferruginosa, algunos enriquecidos al punto de construir menas de hierro de alto tenor.

Según Kallioskoski, (1965) en González de Juana, (1980), señala que la Formación Mesa parece depositada sobre una superficie irregular de rocas

Precámbricas, en el Escudo de Guayana, debido a los afloramientos redondeados de granitos gnéisicos y parcialmente afloramientos irregulares de cuarcitas parcialmente ferruginosas, que se elevan por encima de la Formación, en el área de Ciudad Bolívar. Esta Formación queda representada por grandes depósitos del plio-pleistoceno sobre el peneplano ígneo-metamórfico del Escudo de Guayana, el cual forma los morichales de Ciudad Bolívar, la mesa de la Sabanita, Las Piedritas y el banco de sabana alta, que topográficamente conforman la divisoria de aguas entre los pequeños ríos que fluyen al Sur.

- La Formación Mesa en la zona de la cuenca del río San Rafael se divide en dos horizontes, una parte superior de color generalmente rojizo, producto de la lixiviación de hierro y comprende una secuencia de arcillas limonitas y arenas bien estratificadas la cual presenta concreciones de hierro, y una parte inferior que esta menos afectada por lixiviación y presenta estrato de limo arcillas y arenas de tonos claros. (González de Juana, 1980).

3.2.2.2 Geología local: esta geología está representada por gran estabilidad tectónica, ya que está ubicada sobre rocas ígneas del Escudo Guayanés correspondiente al Precámbrico, constituyendo las formaciones geológicas más antiguas.

El área de investigación está constituida en su mayor parte por los sedimentos de la Formación Mesa, y en menor proporción por los Sedimentos Recientes o aluviones recientes como lo define Yáñez, G., en su trabajo “Geomorfología del área entre Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana”. Debido a la cobertura de estos sedimentos, las rocas pertenecientes al Complejo de Imataca no afloran en el área, pero se infiere su existencia a algunas decenas de mts de profundidad debido a que la Formación Mesa se encuentra discordante con el Complejo de Imataca en Ciudad Bolívar, tal como se muestra en la columna estratigráfica. (Figura 3.2).

- Aluviones Recientes: los componen materiales provenientes de la disgregación de la Formación Mesa y descomposición de las rocas del Complejo de Imataca, los cuales son arrastrados y depositados por las aguas de escorrentía y el viento hacia los diferentes ríos de la región. (Betancourt, 1998).

Los materiales comprenden cantos, peñones, gravas, arenas, limos, arcillas, coloides y otras partículas en suspensión que se han depositado desde el Holoceno hasta el presente en el fondo de los cauces de los ríos, formando depósitos de cauce, y en épocas de crecida, originando las barras de meandro.

Estos materiales, de color amarillento a blanco y con una granulometría variable, se encuentran dispuestos en forma de planicies que dan origen a pequeñas terrazas constituidas por sedimentos arenosos-limosos, acarreados por los ríos, principalmente en épocas de lluvia. (Betancourt, op. cit.).

La mineralogía de las arenas que conforman los sedimentos recientes está constituida por 70% de cuarzo, 26% de feldespatos, 3,5% de micas y otros minerales opacos y 0,5% de otros minerales accesorios. Respecto a las características físicas se cuentan el peso específico de 2,67; el color; su módulo de firmeza de 2,4%; su textura media; la resistencia muy tenaz; su dureza de 7,1; no es reactiva al cemento (0%) y los granos son angulares. (Betancourt, op.cit.). (Figura 3.1).



Figura 3.1 Columna estratigráfica establecida por Betancourt, (1998), representativa de la Formación Mesa.

### 3.2.3 Características geomorfológicas

El estudio de las características de un área trata del origen y desarrollo sistemático de todos los tipos de relieves; es decir, no solamente se limita a la descripción de sus formas, sino que trata de establecer su origen y evolución, así como también los procesos que cambian el relieve, teniendo en cuenta la gran influencia que tiene sobre este la actividad humana.

La geomorfología resulta de la interacción entre los materiales de corteza terrestre, su dinámica interna y sus procesos externos relacionados principalmente con el clima y agua de escorrentía. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1998).

La geomorfología consiste en planicies deposicionales, muy disecadas bien drenadas e identificadas como parte de la Formación Mesa. El elevado grado de

disección se asocia a grandes extensiones de cárcavas o “bad lands”, las cuales se han originado a consecuencia de muchos de los factores tales como la probabilidad de que las variaciones en el nivel base (cauce de río Orinoco) haya contribuido en el avance de la erosión regresiva, además, es posible que los caracteres del clima actual no hayan favorecido el desarrollo de una cobertura vegetal que pudiera servir de mayor protección a las antiguas capas de sedimentos.

3.2.3.1 La composición de estas planicies se define de acuerdo a los dos tipos de relieves

- Llanura aluvial: no es una llanura propiamente dicha si se considera el perfil irregular y el rango de pendientes, el cual es superior al normal (0 – 4 %) en particular, si se corresponde a las laderas de los barrancos o cárcavas que podrían medir desde los 16% hasta 30%.

- Cárcavas: la secuencia de las cárcavas es en si el resto de lo que una superficie plana y rectilínea formada por sedimentos aluviales, donde el escurrimiento concentrado ha sido lo suficientemente severo como para construir tan peculiar sistema de barrancos, inestable en su mayoría.

Las cárcavas pueden definirse como zanjas o conjuntos de canales que se desarrollan sobre capas de materiales no consolidados de la superficie terrestre. En la terminología internacional se les conoce como “badlands”. Pueden medir desde aproximadamente 30 centímetros hasta varias decenas de metros de anchura. Al principio son surcos ramificados que progresivamente van creciendo en tres dimensiones: vertical, longitudinal y lateralmente, hasta convertirse en torrentes. (Figura 3.2).

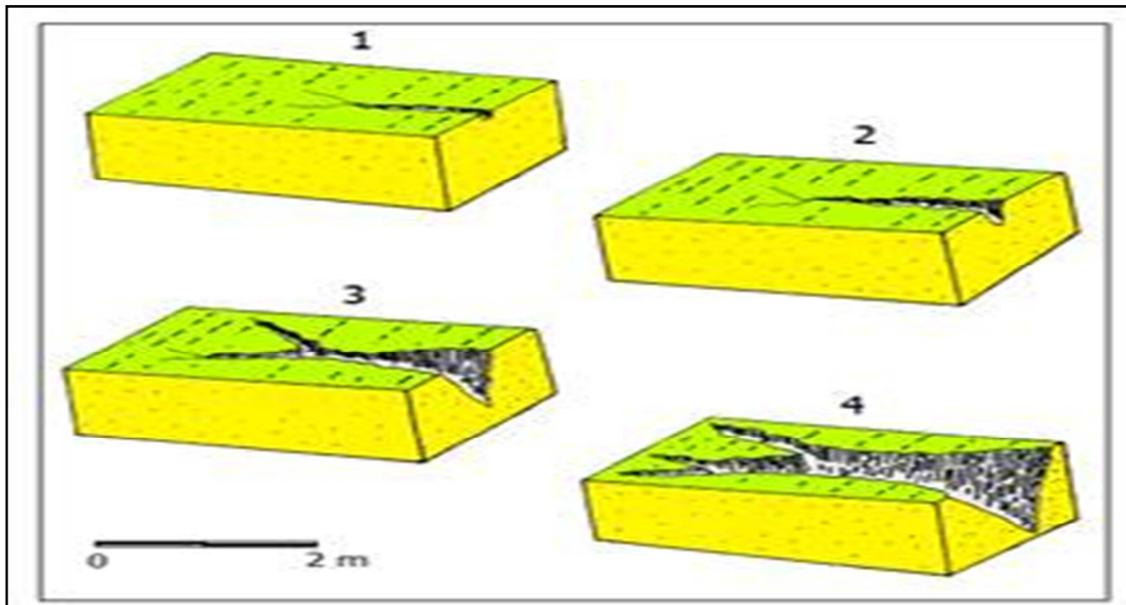


Figura 3.2 Evolución de una cárcava en cuatro etapas. (Santiago, 2008).

Generalmente, poseen un perfil agudo en forma de “V”; sin embargo, al detenerse el crecimiento vertical y avanzar el desgaste lateral, el perfil deja de tener un fondo agudo y desarrolla una superficie plana, dando al conjunto una forma de cajón. (Santiago, 2008). A medida que se va socavando el fondo del barranco, las paredes se van desmoronando. La tasa de crecimiento dependerá de la intensidad de las lluvias. Cuando la cabecera o punta de la cárcava presenta un escarpe, durante las lluvias más intensas se genera un salto de agua de alto poder erosivo, cuyo impacto al pie del talud produce una intensa salpicadura radial, capaz de hacer retroceder el barranco varios metros durante un mismo aguacero

Una cubierta de vegetación escasa puede implicar un crecimiento más acelerado de las cárcavas, puesto que, durante las lluvias, la escorrentía tendrá menos obstáculos a lo largo de las vertientes. La mayor o menor velocidad de la escorrentía depende del grado de inclinación (pendientes) del terreno. Las cárcavas se originan por causas naturales, pero en muchas circunstancias su origen se asocia a las

actividades antrópicas; el hombre desforesta la superficie con diferentes propósitos (agricultura, minería, urbanización, etc.).

Las cárcavas en Ciudad Bolívar estuvieron allí desde mucho antes de fundarse la ciudad (año 1764) en el sitio que ocupa en el presente. En aquella época se trataba de sistemas de cárcavas estables. Se desconoce cuando el relleno sedimentario (Formación Mesa) comenzó a levantarse. Se supone que fue a lo largo de ese levantamiento cuando la incisión creada por los ríos fue desarrollando escarpes empinados y muy inestables. Probablemente ese fenómeno ocurrió a finales del Pleistoceno, cuando el clima era más seco que en la actualidad. (Santiago, 2008). (Figura 3.3).

Las áreas de Ciudad Bolívar más expuestas a este tipo de problemas se localizan en aquellos lugares correspondientes a las cabeceras de los sistemas de cárcavas. Cabe destacar al respecto las cuencas de los ríos San Rafael, Buena Vista y Santa Bárbara, sobre las cuales se asienta la mayor parte de la población de la ciudad. (Figuras 3.3 y 3.4).

En tiempos recientes, a causa del avance de la urbanización, otras localidades han comenzado a manifestar el crecimiento excesivo de los barrancos, tal como ocurre en la cuenca del río Cañafístola (sector Este). Hay incluso zonas dentro de los sistemas de cárcavas que han sido ocupadas por la población, bajo la tutela de las mismas autoridades, quienes les han proveído de los servicios básicos.

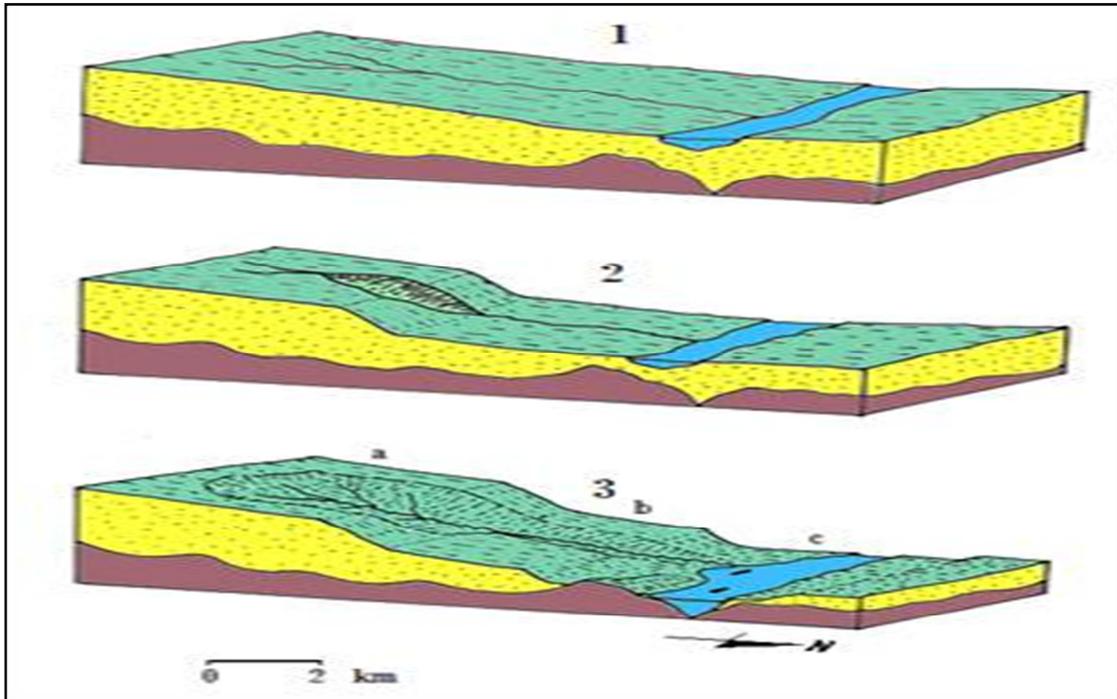


Figura.3.3 Evolución de la cuenca del río San Rafael, Ciudad Bolívar. (Santiago, 2008).

Cuando los asentamientos invadidos por las personas son recientes, el crecimiento de los barrancos es muy leve, y esto se debe a que la impermeabilización de la superficie aún no le ha ganado suficiente espacio al terreno. Pero una vez que las viviendas se hacen más grandes y que las autoridades proceden a asfaltar y a construir las aceras en las calles, las cabeceras de los barrancos se convierten en una amenaza inminente.



Figura.3.4 Delimitación de los principales sistemas de cárcavas de Ciudad Bolívar (Mapa base: Google Earth, 2007. Modificado).

### 3.2.4 Caracterización de la vegetación

La vegetación presente en el área de estudio es de bosques de galerías y de sabana con chaparros. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.2.4.1 Vegetación de bosques de galerías: esta vegetación se observa a lo largo de las zonas húmedas, específicamente en las márgenes de los ríos y se presenta en forma de arborescencia de tipo selvático, a la que se le denomina bosque de galería, en este tipo de vegetación se incluye el bambú el cual se observa en las nacientes del río San Rafael. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.2.4.2 Vegetación de sabanas con chaparros: este tipo de vegetación se caracteriza por vegetación herbácea que está formada por una cobertura graminiforme de porte bajo, entre los cuales las especies más abundantes son: Paja peluda (*tracypogon plumosus*), escobilla (*scoparia dulcis*), dormidera (*mimosa dormiens*), cadillo y por la vegetación arbustiva que esta constituida por árboles de 2 a 4 mts de altura, los principales representantes son: Chaparro (*curatera americana*), manteco (*byrsominia crassifolia*), merey (*anarcadium occidental*), alcornoque (*bowdichia virgiloides*) y en proporción menor se encuentra el mango (*mangifera indica*). (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.2.5 Transporte de sedimentos**

La lluvia cuando cae sobre el suelo ejerce una fuerza sobre las partículas de éste capaz de removerlas de sus posiciones hacia otros lugares, en general, a niveles más bajos. Esa acción erosiva de las lluvias lleva anualmente millones de toneladas de suelos a los ríos de todo el mundo.

Por otro lado, las corrientes también ejercen una acción erosiva en sus canales. Partículas del lecho, arrancadas de éste, pasan a ser transportadas en suspensión en la corriente por la acción de las componentes verticales en regímenes turbulentos.

La acción de la gravedad hace que la mayor concentración de partículas este junto al fondo. Así, es común distinguir dos tipos de transporte de sedimentos: uno en suspensión y otro junto al fondo. No existe un límite bien definido entre esos dos tipos de transporte de sedimentos. (Santiago, 2003).

Las características que definen los procesos de suspensión, transporte y posterior deposición de sedimentos, depende no sólo de las propiedades del mismo, sino también de la velocidad de la corriente, de la inclinación de la pendiente.

Estas propiedades pueden caracterizar al sedimento como un conjunto o a las partículas que lo forman, individualmente. Las propiedades más importantes de una partícula de sedimento son; tamaño, forma de las partículas de sedimento, peso específico y velocidad Terminal uniforme de las partículas. (Departamento de Geología de la Universidad de Oriente (UDO), Año 2001.).

El gasto sólido que transporta un río puede ser determinado mediante mediciones y el estimado de los cálculos. El material que va en suspensión puede ser captado fácilmente, sin embargo, el material de fondo es de difícil medición.

### **3.2.6 Aspectos morfodinamicos**

Entre los procesos geomorfológicos que ocurren en un área, se analizan los diferentes factores morfodinamicos como lo son:

3.2.6.1 Causa de la erosión por cárcavas: la erosión en cárcavas ocurre cuando un curso de agua natural se aparta de su estado de equilibrio meta-estable, es decir, pierde su posición de equilibrio, que es lo que ha sucedido con el río San Rafael. Un curso de agua procura alcanzar siempre un equilibrio entre el tamaño del canal de desagüe, su forma gradiente y la cantidad que discurre por el mismo. Cuando el curso de agua se ve afectado por una fuerza exterior, el cauce tenderá a volver a su posición de equilibrio. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

3.2.6.2 Agua de arroyada: proceso de socavamiento sub-superficial

3.2.6.3 Agua de escorrentía encauzada: forman parte del factor hidrológico producto de las aguas de lluvia, recogidas y encauzadas a través de cunetas, vías urbanas, alcantarillas, que van a desembocar directa o indirectamente en el cauce del río. Estas aguas desarrollan un gran poder erosivo debido a que se movilizan a través de estructuras que facilitan su movimiento superficial a velocidades relativamente altas y de no ser controladas a través de estructuras de conducción y disipación de energía propician al aceleramiento de erosión retrocedentes (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

3.2.6.4 Aguas de escorrentía no encauzadas: son aquellas aguas que se disponen en forma de mantos sin cauce definido. En áreas donde la pendiente tiene valores elevados (50%, 60%), se forman surcos de erosión con el desarrollo de cárcavas y retrocesos de escarpes (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

3.2.6.5 Erosión: fase de denudación que comprende el desgaste de la superficie terrestre mediante la acción mecánica.

3.2.6.6 Sedimentos: es un material sólido que se acumula sobre la superficie terrestre, producto de las acciones de fenómenos y procesos que actúan sobre él.

3.2.6.7 Movimientos de masa, deslizamientos y reptación

- Reptación: este fenómeno se presenta en algunas vertientes de moderado desnivel que se halla recubierto de suelo y consiste en el movimiento descendente extremadamente lento del suelo y el manto detrítico. Este proceso se debe a la saturación del suelo a profundidades relativamente considerables, en sitios donde las laderas alcanzan pendientes mayores de 10% y cuyos estratos presentan pequeñas

inclinaciones hacia el centro de la cuenca. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

- Deslizamientos o derrumbes: un deslizamiento es un movimiento rápido de suelo con un pequeño flujo de material en las primeras etapas de deslizamientos. Este fenómeno se encuentra muy relacionado a los cursos de aguas superficiales y subterráneo. En las primeras, se produce la profundización de los taludes ribereños y la socavación hasta donde se manifiesta el deslizamiento de sedimentos, los segundos contribuyen al deterioro de la inestabilidad de los taludes. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

En los taludes de altas pendientes se han producido deslizamientos rápidos por socavación de las aguas de escorrentía, durante las fuertes precipitaciones. Estos deslizamientos se han producido con mayor frecuencia en las zonas que presentan relieves topográficos, característico de las llamadas “tierras malas”. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989).

### **3.2.7 Dinámica de vertientes**

3.2.7.1 Desarrollo del proceso erosivo: la dinámica de vertientes, en el área de estudio, debido a la modificación impuesta por la actividad humana adquiere un potencial morfogenético elevado, con una marcada tendencia a causar modificaciones en el relieve por el retroceso de escarpes. (Betancourt Carolina y Guevara Zenaida, 1989)

### 3.2.8 Características del suelo

La zona de estudio se caracteriza por ser de origen deposicional desarrolladas a partir de la Formación Mesa; presenta un avanzado desarrollo evolutivo. En general son suelos muy profundos, de más de 150 cm., posee un horizonte A con espesores de 15 – 37 cm. de textura arenosa. El horizonte A suprayace a un horizonte B de aluviación de arcilla, profundo (mayor de 150 cm.) con textura comúnmente franco arcillo arenosa de estructura de bloque sub.-angular, de moderado desarrollo y tamaño fino.

En sentido general, la capacidad de almacenamiento de humedad se ha estimado como baja y la permeabilidad moderada. Son suelos bien drenados y tienen una baja fertilidad debido a que tiene un pH fuertemente ácido y bajos niveles de capacidad de intercambio catiónico.

Son suelos muy profundos (> 150 cm.); de textura arenosa y arena francosa, sin estructuración (grano simple). La capacidad de almacenamiento de humedad es muy baja y la permeabilidad muy rápida. Son suelos cuyos drenajes es algo excesivo, poseen un pH ácido y muy bajos voladores de capacidad de intercambio catiónico, lo que determina un estado de fertilidad natural muy pobre.

3.2.8.1 Granulometría: el análisis granulométrico de un sedimento o análisis mecánico consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. Estos análisis expresan cuantitativamente las proporciones en peso de las partículas de distintos tamaños que hay en un sedimento, la forma de realizarlo es por medio de una serie de tamices que definen el tamaño de las partículas. Las dimensiones de las partículas se expresan en términos de diámetro equivalente de las partículas. (Gutiérrez y Pérez, 2001).

Los análisis granulométricos son expresados en forma de la curva llamada “Curva Granulométrica” esta curva se hace para comparar la distribución de los tamaños de granos presentes en el suelo, para realizar estas curvas es necesario utilizar representaciones logarítmicas para los tamaños de las partículas. Las curvas granulométricas representan el porcentaje acumulado de material que pasa por los diferentes tamices.

3.2.8.2 Análisis por tamizado: el análisis granulométrico por tamizado se realiza con el fin de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada. Obviamente, para obtener un resultado significativo de la muestra debe ser estadísticamente representativo de la masa de suelo y por ello es recomendable tomar un mínimo de 500 gramos de la muestra total tomada en el campo, como no es físicamente posible determinar el tamaño real de cada partícula individual el ensayo solo agrupa los materiales por rangos de tamaños. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores al anterior. De esta manera se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices.

Ensayo del hidrómetro: El objetivo del ensayo es determinar la distribución de tamaños de partículas menores a 0,075mm (partículas comprendidas entre el tamiz N° 200 hasta alrededor de 0,001 mm.) obteniendo un estimado de la distribución granulométrica de suelo a través de un proceso de sedimentación. (Bowles J.E, 1981).

Este análisis de hidrómetro es un método utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0,075 mm) hasta alrededor de 0,001 mm. Un Hidrómetro es un instrumento utilizado para medir la velocidad o fuerza de los líquidos en movimiento. (Bowles J.E, 1981).

Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de porcentaje de material más fino contra diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido, o sea mayor que el tamiz N° 200 (u otro tamaño cualquiera).

El principal objetivo de este análisis es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0,002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200 no es utilizada como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

La conducta de la fracción de suelo cohesivo del suelo dado depende principalmente del tipo y porcentajes de arcilla presente en el suelo, de su historia geológica y del contenido de humedad más que de la distribución misma de los tamaños de las partículas. (Bowles J.E, 1981).

### **3.2.9 Características geotécnicas**

Para definir los parámetros que constituyen los índices de las propiedades físicas que caracterizan un suelo es necesario clasificar y conocer su comportamiento geotécnico. La clasificación de los suelos constituye una herramienta altamente efectiva a la hora de darle una denominación técnica, a cualquier tipo de muestra que se desee estudiar.

3.2.9.1 Peso unitario o densidad in situ: el peso unitario lo definimos como el peso de una sustancia por unidad de volumen. El Peso Unitario también es conocido como la densidad del suelo. (Bowles J.E, 1981).

Para determinar el peso unitario en el terreno, se utilizan distintos métodos, dentro de los cuales encontramos: el cono de arena, el método de la parafina, el método del cilindro, del aceite y del densímetro nuclear. Todos estos métodos tienen como objetivo determinar la densidad in situ o su peso unitario húmedo de la muestra de estudio y su volumen, sin embargo estos métodos difieren principalmente en la forma de obtener dicho volumen. (Bowles J.E, 1981). Para la determinación de este valor se utiliza la ecuación 3.2:

$$\gamma_s = W_s / V_s \quad (3.2)$$

Donde:

$\gamma_s$ = densidad del suelo.

$W_s$ = peso de la muestra.

$V_s$ = peso de la muestra.

3.2.9.2 Humedad (W): se expresa como el porcentaje que relaciona el peso del agua, en la masa de suelo y el peso de los sólidos en la misma masa. (Bowles J.E, 1981) se determina utilizando la siguiente ecuación 3.3:

$$w = W_w / W_s (\%) \quad (3.3)$$

Donde:

W= Humedad natural.

$W_w$ = Peso del agua.

$W_s$ = Peso del suelo.

3.2.9.3 Límites de Atterberg: los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. (Juárez, Badillo E y Rico, R.A. 1974). (Figura 3.5).

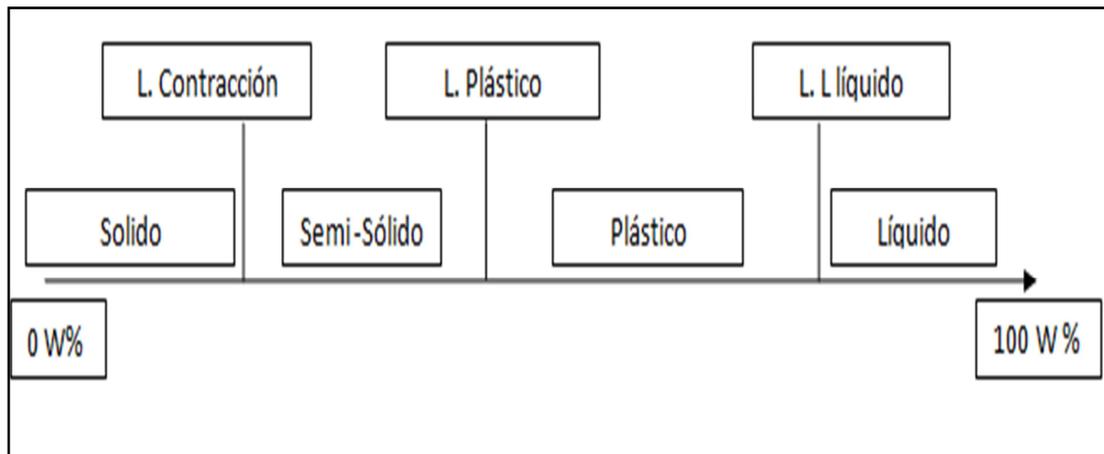


Figura 3.5 Límites Atterberg. (Juárez, Badillo E y Rico, R.A. 1974).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg. (Juárez, Badillo E y Rico, R.A. 1974).

- Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

- Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

- Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

3.2.9.4 Clasificación de los suelos: la clasificación de los suelos constituye una herramienta altamente efectiva a la hora de darle una denominación técnica, a cualquier tipo de muestra que nos sea designada a estudiar.

Un sistema de clasificación de los suelos no es más que una unificación de ciertos parámetros concordantes en torno a las características de los mismos, de forma tal que puedan establecerse condiciones estándares que simplifiquen los procedimientos de estimación de las propiedades de un suelo y por ende, de su posible comportamiento.

En la actualidad existen muchos modelos que permiten establecer una clasificación de suelos, cada uno con aspectos convergentes, y por tanto, unos mejores que otros. El más conocido es el Sistema Unificado de la Clasificación de los suelos; pero además se tiene también, el del Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FAA), el Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO), entre otros (Bowles J.E, 1981).

- Sistema AASHTO: este método define

*Grava*: material que pasa por 80 mm y es retenido en tamiz de 2.

*Arena gruesa*: material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm.

*Arena fina*: material comprendido entre 0,5 y 0,08 mm.

Limo arcilla: material que pasa por tamiz 0,08 mm. (Bowles J.E, 1981).

El término material granular se aplica a aquellos con 35% o menos bajo tamiz 0,08 mm; limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso se aplica a los materiales finos que tienen índice de plasticidad 11 o mayor.

Materiales limo arcilla contienen más del 35% bajo tamiz 0,08 mm.

Cuando se calcula índices de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, use solamente el término del índice de plasticidad de la fórmula. (Bowles J.E, 1981)

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0). (Bowles J.E, 1981)

Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto. (Bowles J.E, 1981) (Tabla 3.1 y figura 3.6).

La tabla 3.1 ilustra que solo los análisis de tamizado y los límites de Atterberg son necesarios para clasificar un suelo. Se realiza un análisis de tamizado y se traza la curva granulométrica. Cuando menos de 12% pasa la malla No. 200, es necesario obtener Cc y Cu para establecer si el suelo es bien o pobremente gradado.

Cuando más de un 12% pasa la malla No. 200, el Cu y Cc no tienen significación y solo se emplean los límites de Atterberg para clasificar el suelo. (Bowles J.E, 1981).

Tabla 3.1 Clasificación de los suelos según AASHTO. (Bowles, J.E., 1981).

Clasificación General	Materiales Granulares (35 % o menos del total pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 <sup>a</sup> A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10	50 max										
No. 40	30 max	50 max	51 min								
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz No. 40											
Límite líquido, $w_L$				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice Plástico, $I_p$	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Índice de Grupo <sup>b</sup>	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max

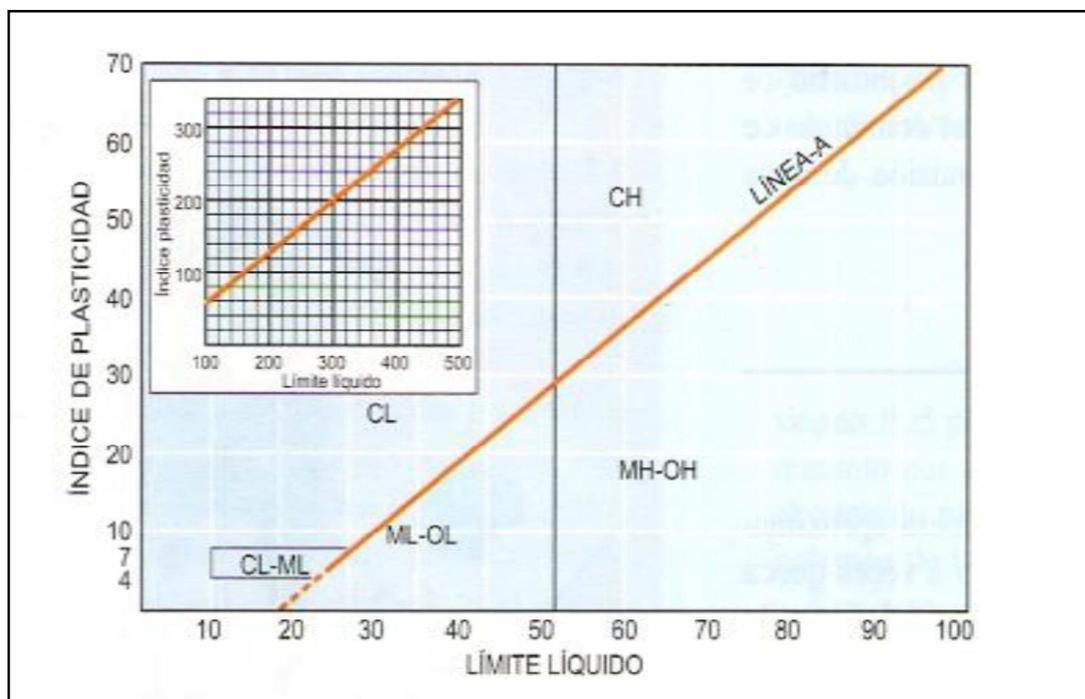


Figura 3.6 Carta de plasticidad.

Tabla 3.2 Sistema unificado de clasificación de suelos. (Bowles, J.E., 1981).

Divisiones mayores		Símbolo de grupo	Nombres típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz No. 200)	Gravas (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No. 4)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$		
		GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		GM	$\frac{d}{u}$ Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas gravo-arena-arcillosas	Límites de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$		
	Arenas (Más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	$\frac{d}{u}$ Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$ .	Si el material está en la zona sombreada con $4 \leq I_p \leq 7$ se considera de frontera y se le asigna doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$	
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz No. 200)	Limos y arcillas (límite líquido $W_L < 50$ )	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% — GW, GP, SW, SP Más del 12% — GM, GC, SM, SC de 5 a 12% — Casos de frontera que requieren doble símbolo		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limo y arcillas (límite líquido $W_L > 50$ )	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos				

3.2.9.5 Tamaño de las partículas: los diferentes tamaños de las partículas del suelo, utilizadas en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, se determinaran por el método del tamizado, y pueden ser definidas como sigue. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001). (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Tamaño de partículas de acuerdo al material retenido en los tamices. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001).

Partículas	Tamaños (Tamiz)
Piedra	$\emptyset \geq 3''$
Grava gruesa	$3'' \leq \emptyset \leq 3/4''$
Grava fina	$3/4'' \leq \emptyset \leq N^{\circ} 4$
Arena gruesa	$N^{\circ} 4 \leq \emptyset \leq N^{\circ} 10$
Arena media	$N^{\circ} 10 \leq \emptyset \leq N^{\circ} 40$
Arena fina	$N^{\circ} 40 \leq \emptyset \leq N^{\circ} 200$
Limo y arcilla	$N^{\circ} 200 \leq \emptyset$

Como se muestra en la tabla 3.4, los suelos son designados por símbolos de grupos consistentes en prefijo y en un sufijo. Los prefijos indican los tipos principales de suelo y los sufijos indican las subdivisiones entre grupos como sigue:

Tabla 3.4 Prefijos usados para la clasificación de los suelo. (Lambe, William y Whitman Robert (2001).

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien Gradado	W
Arena	S	Pobremente	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	$W1 < 50\%$	L
Turba	Pt	$W1 > 50\%$	H

Una grava bien gradada es GW; una arena pobremente gradada es SP; una arena bien gradada es SW; una arena limosa es SM; una arcilla con un límite líquido > 50% es CH, etc. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001).

Un suelo es bien gradado o no uniforme si tiene una distribución amplia de los tamaños de los granos presentes, si hay algunos granos de cada tamaño posible entre los límites superior e inferior de la gradación. Esto se puede averiguar trazando la curva granulométrica, ya sea observando la forma y amplitudes de tamaños o calculando el coeficiente de uniformidad  $C_u$  y el coeficiente de concavidad  $C_c$ . (Lambe, William y Whitman Robert, 2001).

Un suelo es pobremente gradado o uniforme, si la muestra es mayoritariamente de un solo tamaño o si es deficiente en ciertos tamaños de grano. Una arena de playa es un ejemplo de un suelo uniformemente gradado. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001)

3.2.9.6 Gravedad específica: la gravedad específica está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados. Se representa la gravedad específica por  $G_s$ . (Ecuación 3.4).

$$G_s = \frac{\text{Peso unitario de los sólidos del suelo } (\gamma_s)}{\text{Peso unitario del agua } (\gamma_a)} \quad (3.4)$$

Donde:

$G_s$ = Gravedad Especifica de la muestra.

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo. (Bowles J.E, 1981). (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Tipos de suelos de acuerdo a su gravedad específica. (Bowles, Joseph, 1981).

TIPO DE SUELO	Gs
Arena	2,65 – 2,67
Arena Limosa	2,67 – 2,70
Arcilla Inorgánica	2,70 – 2,80
Suelos con micas o hierro	2,75 – 3,00
Suelos Orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.

3.2.9.7 Ensayo de compactación: se entiende por compactación de suelos al proceso mecánico mediante el cual reducen los vacíos, como consecuencia de la expulsión del aire por aplicación de una determinada carga. No todo el aire sale del suelo, por lo que la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001). El objetivo principal de la compactación de un suelo es la de mejorar las características de resistencia, compresibilidad, esfuerzo-deformación, así como también para obtener unas características idóneas de permeabilidad y flexibilidad. (Lambe, William y Whitman Robert, 2001). El propósito del ensayo de compactación en el laboratorio, es el determinar la cantidad de agua (humedad óptima) conveniente, que debe agregarse al suelo para obtener un grado de densificación (densidad máxima) satisfactorio. (Bowles J.E, 1981).

3.2.9.8 Esfericidad y redondez de las partículas de sedimento clástico: la forma de los granos (fragmentos clásticos) de cada partícula que conforma un sedimento es una de sus características más obvias y tiene gran influencia en la determinación de su comportamiento durante el transporte y la depositación. De igual manera constituye una importante característica de su textura. Esta propiedad es también una de las más difíciles de describir y medir en términos cuantitativos, de hecho, el problema; aún desafía a una solución satisfactoria. Sin embargo, la forma se expresa mediante dos índices el de esfericidad y el de redondez (Departamento de Geotecnia, Universidad de Oriente- Núcleo Bolívar, 2.001).

En su origen los fragmentos de roca son normalmente angulares y casi de una variedad de formas infinitas. Los minerales que son quebradizos o que tienen buen clivaje tienden a permanecer angulares al ser reducidos en tamaño (principalmente por fractura), pero los minerales resistentes, como el cuarzo, son reducidos por abrasión durante el transporte. (Departamento de Geotecnia, Universidad de Oriente, 2.001).

El desgaste de estas partículas está concentrado principalmente en las orillas y esquinas, que son desgastadas hasta hacerse romas (por ejemplo, en el caso de transporte por saltación los granos minerales sufren golpeteos con el fondo del cauce de los ríos en función de la intensidad de la corriente). El redondeamiento es, entonces, una función de la agudeza de las orillas y las esquinas. (Departamento de Geotecnia, Universidad de Oriente, 2.001).

Cuando se estudia la esfericidad y la redondez de las partículas de un sedimento se están estudiando las condiciones de transporte de los mismos, es decir, si la muestra ha sufrido poco o mucho transporte. Además, intrínsecamente se estudian los niveles energéticos a los que ha estado sometida la muestra, relacionándolos con la distancia de transporte y la intensidad con la que ha ocurrido el proceso que les ha dado su forma. (Departamento de Geotecnia, Universidad de Oriente, 2.001).

Con respecto a la cantidad de energía que es aplicada sobre cada una de las partículas, ésta puede ser: alta, media o baja. La primera, a de mover granos de gran tamaño y disminuye en el sentido de la energía aplicada, mientras que, para que las aristas de los granos sean angulosas es necesario menor cantidad de energía y de transporte (estar cerca de la fuente), parámetros que se incrementan a medida que los granos se hacen más redondeados (Departamento de Geotecnia, Universidad de Oriente, 2.001).

- Índice de esfericidad de los sedimentos: es un parámetro que ayuda a determinar la distancia a la que se encuentra la fuente de un sedimento, y que se caracteriza por la tendencia que tienen las partículas de hacerse esféricas con el transporte (Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, op. cit.).

- Sub-anguloso: los fragmentos mantienen aún su forma primitiva y las caras están virtualmente intactas, pero las aristas y los vértices han sido redondeados en cierto grado mostrando los efectos típicos del desgaste. Los vértices secundarios son numerosos (entre 10- 20), pero menos que en los angulosos.

- Sub-redondeado: las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentra bastante reducida, mostrando considerable desgaste pero manteniendo aún la forma primitiva del grano. Los vértices secundarios están muy redondeados y en número reducido.

- Redondeado: las caras originales se muestran completamente destruidas pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulidos hasta curvas suaves y amplias. Los vértices secundarios están muy suavizados y escasos (entre 0-5). Con una redondez de 0,6 todos los vértices secundarios desaparecen, y aún se reconoce la forma primitiva.

- Bien o muy redondeado: la superficie consta totalmente de curvas amplias, sin caras originales con aristas y vértices; carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano (Tabla 3.6).

Tabla 3.6 Clasificación de los distintos grados de redondez en arenas. (Powers 1953).

Nomenclatura de los grados de redondez	Russel y Taylor		Pettijohn	
	Límites de las Clases	Punto Medio	Límites de las Clases	Punto Medio
Anguloso	0,00-0,15	0,075	0,00-0,15	0,125
Sub- Anguloso	0,15-0,30	0,225	0,15-0,25	0,200
Sub- Redondeado	0,30-0,50	0,400	0,25-0,40	0,315
Redondeado	0,50-0,70	0,600	0,40-0,60	0,500
Muy Redondeado	0,70-1,00	0,850	0,60-1,00	0,800

### 3.2.10 Fundamentos legales

#### 3.2.10.1 Ley Orgánica de Ordenación del Territorio (1983)

- Artículo 33. El Plan Nacional de Ordenación del Territorio y los planes sectoriales así como sus modificaciones, serán aprobados por el Presidente de la República en Consejo de Ministros, a proposición de la Comisión Nacional de Ordenación del Territorio, mediante decreto que se publicará en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela.

#### 3.2.10.2 Ley de las aguas

- Gaceta Oficial N° 38.595 del 2 de Enero de 2007

De la prevención y control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes. Medidas para prevención y control.

- Artículo 6. Son bienes del dominio público de la nación:

1. Todas las aguas del territorio nacional, sean continentales marinas e insulares, superficiales y subterráneas.

2. Todas las áreas comprendidas dentro de una franja de ochenta metros (80 mts) a ambas márgenes de los ríos no navegables o intermitentes y cien metros (100 mts) a ambas márgenes de los ríos navegables, medidos a partir del borde del área ocupada por las crecidas, correspondientes a un periodo de retorno de dos coma treinta y tres (2,33) años. Quedan a salvo, en los términos que establece esta ley, los derechos adquiridos por los particulares con anterioridad a la entrada en vigencia de la misma.

3.2.10.3 Ley Orgánica del Ambiente. Gaceta Oficial N° 5.833 Extraordinario del 22 de Diciembre de 2006

- Artículo 62. La gestión para la conservación del suelo y del subsuelo debe realizarse atendiendo a los lineamientos siguientes:

1. El uso y aprovechamiento del suelo y del subsuelo debe realizarse en función a su vocación natural, la disponibilidad y acceso a las tecnologías ambientalmente seguras, a fin de evitar su degradación.

2. La adopción de medidas tendientes a evitar y corregir las acciones que generen erosión, salinización, desertificación o modificación de las características topográficas y otras formas de degradación del suelo y del paisaje.

3. La restauración y recuperación del suelo y del subsuelo que haya sido afectado por la ejecución de actividades.

• Artículo 80. Se consideran actividades capaces de degradar el ambiente:

1. Las que directa o indirectamente contaminen o deterioren la atmósfera, agua, fondos marinos, suelo y subsuelo o incidan desfavorablemente sobre las comunidades biológicas, vegetales y animales.

2. Las que aceleren los procesos erosivos y/o incentiven la generación de movimientos morfodinámicos, tales como derrumbes, movimientos de tierra, cárcavas, entre otros.

3. Las que produzcan alteraciones nocivas del flujo natural de las aguas.

4. Las que generen sedimentación en los cursos y depósitos de agua.

5. Las que alteren las dinámicas físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua.

6. Las relacionadas con la introducción y utilización de productos o sustancias no biodegradables.

7. Las que produzcan ruidos, vibraciones y olores molestos o nocivos.

8. Las que contribuyan con la destrucción de la capa de ozono.

9. Las que modifiquen el clima.

10. Las que propendan a la acumulación de residuos y desechos sólidos.

11. Cualesquiera otras que puedan dañar el ambiente o incidir negativamente sobre las comunidades biológicas, la salud humana y el bienestar colectivo.

3.2.10.4 Ley Penal del Ambiente. Gaceta Oficial N° 4358 de fecha 3 de Enero de 1992

• Artículo 34. Permisos o autorizaciones ilícitos: El funcionario que otorgue permisos o autorizaciones para la construcción de obras y desarrollo de actividades no permitidas, de acuerdo a los planes de ordenación del territorio o las normas técnicas, en los lechos, vegas y planicies inundables de los ríos u otros cuerpos de agua, será sancionado con prisión de seis (6) meses a un (1) año y multa de seiscientos (600) a mil (1.000) días de salario mínimo.

### **3.3 Definición de términos**

#### **3.3.1 Acuífero**

Rocas y terrenos que transmiten el agua con facilidad a través de sus poros y fracturas, por ejemplo, la piedra caliza, arenisca y granito fracturado.

### **3.3.2 Afluente**

Arroyo o río secundario que desemboca en otro principal. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.3 Aguas residuales**

Aguas procedentes de usos domésticos o industriales. Su grado de impureza puede ser muy variado. Tienen en suspensión o disueltas materias coloidales o sólidas, de las que alrededor de 50 por 100 son orgánicas; por tanto, en vías de putrefacción.

### **3.3.4 Aguas subterráneas**

De fondo, agua llegada al subsuelo por infiltración (vadosa) o liberada de magma pétreos ascendentes (juveniles), que llena los espacios vacíos de la tierra al muelle y de la roca viva.

### **3.3.5 Área de la cuenca**

Se define como la superficie en proyección horizontal delimitada por la divisoria o parte de la cuenca. Se determina sobre mapas topográficos elaborados a una escala conveniente y se expresa generalmente en Km<sup>2</sup> y/o Ha.

### **3.3.6 Asentamiento**

Fundación o asiento poblacional donde se fija la habitación.

### **3.3.7 Calicatas o catas**

Son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

Las calicatas permiten:

1. Una inspección visual del terreno "in situ".
2. Toma de muestras.
3. Realización de algún ensayo de campo

### **3.3.8 Caudal**

Aguas que entran en las corrientes procedentes de fuentes persistentes que varían lentamente y mantiene el flujo de la corriente entre los lechos de entrada de agua.

### **3.3.9 Cohesión**

Esta fuerza es debida a atracción molecular en razón, a que las partículas de arcilla presentan carga superficial, por una parte y la atracción de masas por las fuerzas de Van der Waals. Además de estas fuerzas, otros factores tales como compuestos orgánicos, carbonatos de calcio y óxidos de hierro y aluminio, son agentes que integran el mantenimiento conjunto de las partículas.

### **3.3.10 Consistencia**

Es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto.

### **3.3.11 Cuenca**

Depresión cerrada de la superficie terrestre de paredes suaves de alimentación natural y que canaliza el agua de lluvia en un solo desagüe (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.12 Cuenca hidrográfica**

Territorio cuyas aguas fluyen todas al mismo río, lago o mar, esta delimitada por divisiones de agua. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.13 Depuración**

Proceso mediante el cual las partículas en suspensión y los gases ácidos se eliminan de una corriente de gas de combustión, el primero por absorción sobre gotas de un líquido y el último mediante difusión en la fase líquida.

### **3.3.14 Drenaje**

Encañamiento o derrame de las aguas mediante desagüe. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.15 Efluentes**

Líquidos o sólidos que sale de una planta de tratamiento de residuos. Descarga de agua del tipo industrial y urbano. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.16 Erosión**

Conjunto de fenómenos exteriores de la corteza terrestre que contribuyen a modificar las formas creadas por el tectonismo y el vulcanismo y en donde actúan los agentes erosivos (ríos, torrentes, mares); distinguiéndose entre ellos, la lluvia, viento, hielo, el mar, biológicos y el hombre (erosivo antrópica). (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.17 Erosión fluvial**

Producto de la acción lineal o vertical del flujo concentrado de corriente de agua. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.18 Factor Forma (Ff)**

Es un índice adimensional para indicar la relación del ancho promedio de la cuenca respecto a su longitud axial, lo cual se traduce hidrológicamente como la capacidad que tiene la cuenca de producir creciente.

### **3.3.19 Permeabilidad**

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.20 Sedimentos**

Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo. (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

### **3.3.21 Sólidos en suspensión**

Sólidos no disueltos, en suspensión que se pueden eliminar por filtración.

### **3.3.22 Suelo**

Desde el punto de vista de la ingeniería es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Desde el punto de vista ingenieril se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía.

Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

1. Fase líquida (generalmente agua).

2. Fase gaseosa (generalmente aire) que ocupan los intersticios entre los sólidos.
3. Sólidos, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.

Pueden distinguirse tres grupos de parámetros que permiten definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide:

Los parámetros de identificación:

1. Los parámetros de estado.
2. Los parámetros estrictamente geomecánicos.

### **3.3.23 Suelo Residual**

Suelo desarrollado directamente a partir de la meteorización del sustrato de roca subyacente.

### **3.3.24 Suelo Transportado**

Suelo que se forma en depósitos no consolidados.

### **3.3.25 Tiempo de Concentración (Tc)**

Es el tiempo en horas requerido por un volumen unitario de escurrimiento superficial para trasladarse desde el punto más remoto en la divisoria de la cuenca.

### **3.3.26 Tiempo de retardo**

Es el tiempo en horas que permite establecer las atenuaciones en la cuenca hidrográfica.

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **4.1 Nivel de la investigación**

Debido al problema planteado, se realizó la caracterización geológica, geotécnica e hidrológica de la cuenca alta a media del río San Rafael con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras, y de acuerdo a sus objetivos el tipo de investigación se enmarca dentro de los siguientes aspectos: analítica descriptiva, siguiendo el marco metodológico descrito por Balestrini, Acuña (2001) y se siguieron los pasos descritos en la Figura 4.1.

De tal manera que este estudio permitió conocer el comportamiento geotécnico de los suelos en el área, de acuerdo a los ensayos de campo y de laboratorio, los aspectos morfodinámicos que actúan en el proceso erosivo, la geomorfología de la cuenca, para así poder establecer las medidas preventivas que aseguren la protección y estabilización de las cárcavas retrocedentes e identificar el uso actual de la tierra y su confrontación con el uso actual,

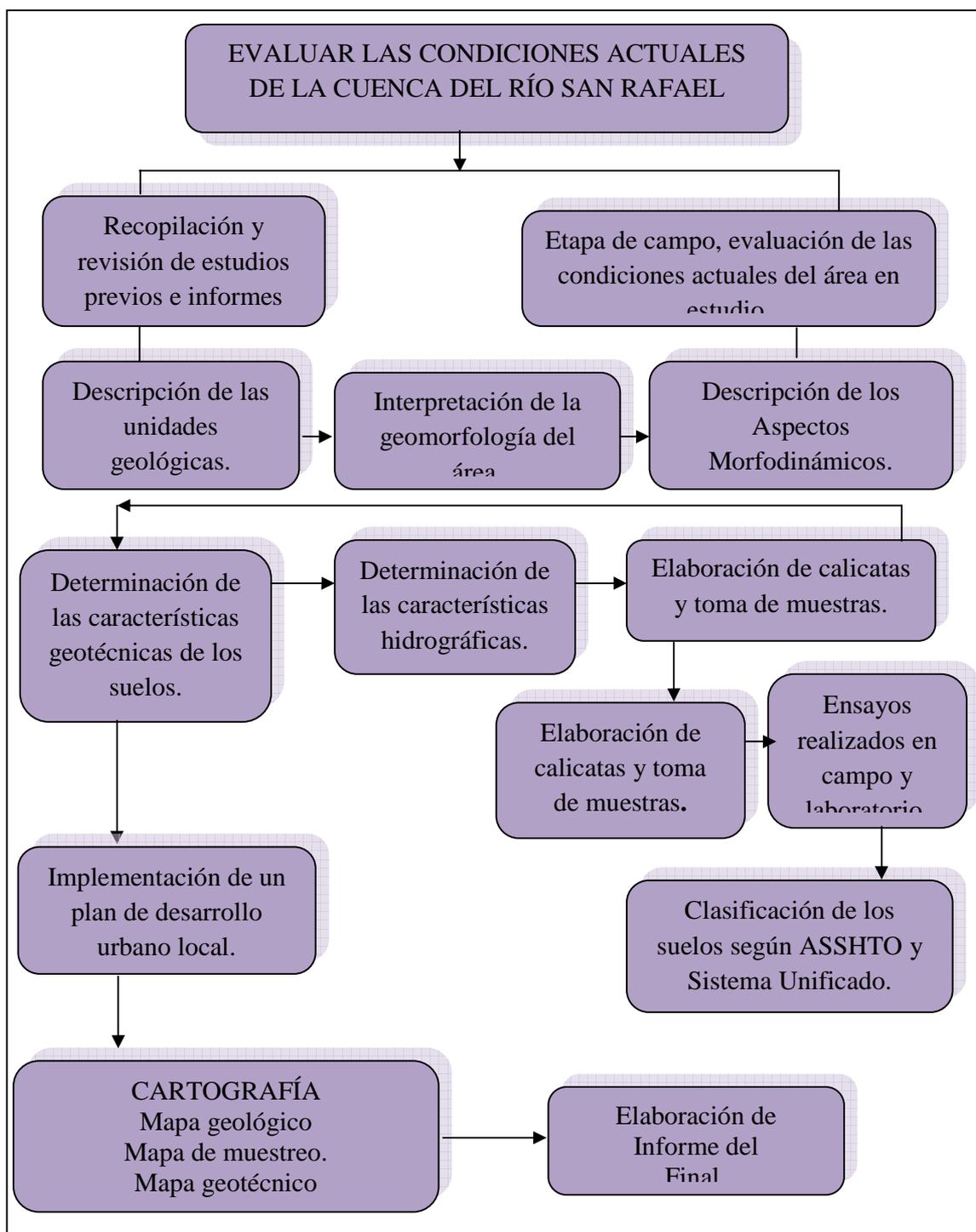


Figura 4.1 Flujograma de la metodología de trabajo.

## **4.2 Tipo de investigación**

De acuerdo al problema planteado referido a la caracterización geológica, geotécnica e hidrológica en la cuenca alta a media del río San Rafael Ciudad Bolívar – estado Bolívar, y en sus objetivos, el tipo de investigación se caracterizara por ser de tipo analítica, porque tiene como objeto conocer el comportamiento geotécnico de los suelos en el área, y descriptiva ya que permitirá exponer la información acerca de los procesos o fenómenos allí presentes y sus implicaciones.

## **4.3 Recopilación bibliográfica y cartográfica del área de estudio**

Para el desarrollo de la investigación fue necesaria la integración de fuentes bibliográficas y cartográficas.

La primera, permitió conocer, reseñar y discutir los aspectos generales más resaltantes sobre el tema en estudio, para lo cual se consultaron trabajos previos llevados a cabo en el área (trabajos de grado, informes técnicos, etc.) provenientes de las fuentes de documentación de la Biblioteca de la Escuela de Ciencias de la Tierra perteneciente a la Universidad de Oriente en el Núcleo Bolívar con sede en la mencionada ciudad. Adicional a las fuentes bibliográficas impresas, se incluyó información obtenida a través de fuentes electrónicas como la Internet y de documentos personales.

La segunda, además de la información cartográfica del área también agrupó la información geológica y la geomorfología del área de estudio.

#### **4.4 Diagnostico de la situación del área de estudio**

Una vez revisada y recopilada toda la información requerida se realizó una vista geológica de campo preliminar de la cuenca alta y media del río San Rafael, con el objeto de observar y determinar las posibles fuentes de contaminación, y señalar donde se encontrarían ubicadas las estaciones de muestreo de agua y fuentes contaminantes, las estaciones seleccionadas para la toma de muestra son las siguientes:

Estación N° 1: Cabecera del río o lo más próximo a ella, exactamente en el Barrio Peñón Negro en esta estación no se logro el acceso debido a la inseguridad de la zona.

Estación N° 2: Angosturita, aguas arriba, sector donde se observa asentamiento poblacional por invasión de terreno. En esta estación se realizaron 3 calicatas.

Estación N° 3: Sector las Campiñas, punto intermedio del río donde hay descarga de aguas servidas, basura, desechos sólidos. En esta estación se realizaron 3 calicatas.

#### **4.5 Descripción de las unidades geológicas**

Se hizo el reconocimiento visual del área de estudio para describir las características geológicas y ubicar en el río San Rafael (Ciudad Bolívar) las estaciones donde se realizaron las calicatas. Para la descripción de la geología del área de estudio, se ubicaron y reconocieron las respectivas estaciones de muestreo en campo (sedimentos y levantamiento de información). Se recolectaron en total 6 muestras de sedimentos procedentes de la cuenca del río San Rafael.

A todas estas muestras se les realizaron estudios, análisis ensayos de laboratorio. Con la ayuda de estos de estos datos se logró delimitar y reconocer las unidades geológicas.

#### **4.6 Interpretación de la geomorfología del área de estudio**

Los rasgos geomorfológicos presentes en la cuenca del río San Rafael fueron descritos de acuerdo al tipo de relieve y a las unidades geológicas presentes en el área, para el desarrollo de este objetivo, al igual que para el anterior, se realizó una revisión bibliográfica y cartográfica de estudios realizados con anterioridad en las zona, además de un reconocimiento detallado del área. El relieve observado expresa las características propias de un valle con topografía accidentada, se determinó que geomorfológicamente, el proceso de evolución del relieve en el área está íntimamente controlado por tres factores: la litología, la estructura de las rocas y los sedimentos.

Cabe destacar que en relación a la geomorfología, se basó más que todo en determinar las diferentes formas de relieve presentes en el área.

#### **4.7 Descripción de los aspectos morfodinámicos que actúan en el proceso erosivo**

El método empleado consiste en la descripción en campo por estación de los aspectos más resaltantes que aceleran los procesos erosivos e incentivan la generación de movimientos morfodinámicos tales como: Derrumbe, movimiento de tierra y formaciones de cárcavas. Uno de los factores contribuyentes acelerar el proceso de formación de cárcavas y la inestabilidad en los taludes observados, son las aguas de arroyadas, aguas urbanas, desechos sólidos, falta de sistemas de alcantarillado y la deforestación.

#### **4.8 Determinación de las características geotécnicas de los suelos**

Para la determinación de estas características primeramente se elaboraron en campo las calicatas donde se tomaron muestras por estaciones, para clasificar y conocer el comportamiento geotécnico de un suelo, de tal manera que permita conocer cualquier posibilidad de realizar sobre el algún tipo de obra civil o conocer las propiedades físicas del suelo tomando en cuenta esta información para dar alguna recomendación del posible uso del mismo presente en la zona de estudio.

##### **4.8.1 Elaboración de calicatas y toma de muestras para los ensayos de laboratorio**

Una vez seleccionadas las estaciones se realizaron (3) calicatas por cada una de las estaciones, las calicatas tomadas son las que se nombra a continuación con sus respectivas coordenadas UTM: (Tablas 4.1 y 4.2).

1. Estación N°1- Barrio Peñón Negro.

A la cual no se tuvo acceso por motivos de inseguridad.

2. . Estación N°2- Angosturita. (Figura 4.2).
3. Estación N°3- Las Campiñas. (Figura 4.3).

Tabla 4.1 Coordenadas UTM - Estación Angosturita.

N° CALICATA	ESTE	NORTE	ALTURA
1	440706	893783	51
2	440701	893762	56
3	440706	893723	57

Tabla 4.2 Coordenadas UTM - Estación las Campiña.

N° CALICATA	ESTE	NORTE	ALTURA
1	439456	896336	35
2	439522	896261	39
3	439602	896209	35



Figura 4.2 Calicata realizada en la estación Angosturita.



Figura 4.3 Calicata realizada en la estación Las Campiñas.

#### **4.8.2. Ensayos realizados en campo y laboratorio**

##### 4.8.2.1 Ensayo realizado en campo

- **Densidad In situ:** Se define como el peso de una sustancia o cualquier cuerpo por unidad de volumen y se expresa en unidades de masa sobre volumen, también se conoce la densidad de un cuerpo como el peso unitario. (Bowles J.E, 1981).

Instrumentos utilizados en campo: a) Cilindro metálico hueco, b) Bolsas ziploc, c) Martillo, d) Espátula.

Procedimiento:

1. Se calcula el volumen del cilindro midiendo con el vernier la altura y su diámetro interno y luego pesarlo. (Ecuación 4.1).

$$A = \pi * r^2 * h \quad (4.1)$$

Donde:

r = Radio interno del cilindro.

h = Altura del cilindro.

2. Preparar la zona donde se desea tomar la muestra.

3. Se coloca el cilindro en la superficie previamente nivelada y sobre este el martillo. Se deja caer por su propio peso dando al cilindro tanto golpes como sean necesarios para que el cilindro quede totalmente enterrado.

4. Luego con la ayuda de una espátula o pico, se desentierra el cilindro, tratando de no perturbar la muestra.

5. Con una espátula se enraza la muestra en el cilindro de manera que el volumen de ésta corresponda al volumen del cilindro.

6. Inmediatamente se agrega el material de suelo en una bolsa plásticas previamente identificadas para que no pierda humedad.

7. Luego en el laboratorio, se pesó la muestra húmeda en la bolsa y obtenido el volumen del cilindro, se procede a calcular la densidad húmeda.

8. Se procede a pesar las taras, luego se extrae una porción de muestra húmeda y se agregan en las taras, se pesan y se meten al horno y otras en la plancha, al día siguiente se sacan las taras se dejan enfriar y se pesan.

9. Luego se aplican las fórmulas correspondientes para el cálculo de la densidad húmeda in situ y la seca.

Contenido de humedad: se expresa como el porcentaje que relaciona el peso del agua, en la masa de suelo y el peso de los sólidos en la misma masa. (Bowles J.E, 1981). (Ecuación 4.2).

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (4.2)$$

Donde:

Ww: Peso del agua

Ws: Peso del suelo

Instrumentos utilizados en campo: a) Balanza con sensibilidad de 0, 01 gr; b) Horno de temperatura constante de  $105 \pm 5$  °C; c) Bolsas Ziploc; d) Taras.

Procedimiento:

1. Se toma una muestra significativa de la cantidad total de muestra tomada en campo y se lleva a laboratorio en bolsas plásticas debidamente selladas.

2. Se toman unas taras en el laboratorio y se pesan en la balanza para obtener el “W tara”.

3. Se colocan en las taras, aproximadamente 10 gr de muestra húmeda, para cada calicata se tomaran entre 2 a 4 taras, se pesan en la balanza para obtener “W tara + Suelo húmedo”.

4. Se ponen a secar las muestras en el horno por un periodo entre 18 a 24 horas.

5. Luego de estar secas las muestras, se procede a calcular “W tara + Suelo seco”.

Se calcula contenido de humedad de cada una de las muestras a través de la ecuación (4.5).

#### 4.8.2.2 Ensayos realizados en laboratorio

- Análisis granulométrico - Método mecánico: este método consiste básicamente en separar y clasificar las partículas que componen al suelo, clasificándolo por tamaños, expresando cuantitativamente la cantidad de la muestra retenida en cada tamiz.

Procedimiento: El análisis se realizó de la siguiente manera:

- 1) Se secan las muestras de suelo colocándolas al aire libre.
- 2) Posteriormente se disgrega la muestra de suelo utilizando mortero de porcelana y un mazo de goma, luego se pesan 500 g. de muestra.

- 3) Luego se pesan los tamices (4, 10, 20, 40, 60, 120, 200 y el pan), individualmente.
- 4) Se colocan los tamices en orden descendente de arriba hacia abajo, para luego verter la muestra de suelo.
- 5) Se coloca todo el juego de tamices en el aparato ROTAP que se encarga de mover toda la muestra durante aproximadamente 10 minutos.
- 6) Después se pesan los tamices para determinar el porcentaje de suelo retenido en cada tamiz.
- 7) Se calcula el porcentaje acumulado y el porcentaje que pasa.
- 8) Por último se elabora la curva de granulométrica.

• Método del hidrómetro: el hidrómetro es un método utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0,075 mm) hasta alrededor de 0,001 mm.

Materiales utilizados: los materiales utilizados fueron: a) Hidrómetro (modelo ASTM 152-H), b) 2 Cilindro graduado de capacidad de 1000 (apreciación 10 ml), c) Termómetro (apreciación 1° C), d) Agente dispersante Hexametáfosfato de sodio (Na<sub>6</sub>P<sub>6</sub>O<sub>33</sub>), e) Agitador eléctrico con vaso, f) Agua destilada.

Procedimiento:

1. Se prepara una muestra de suelo, esta depende del pasante del tamiz 200 (0.075 mm).  $\geq 12\%$ .
2. Luego de hacer el tamizado y obtener los resultados, se agarra lo que quedo en el pan y se pesan 50 grs del pasante del tamiz 200 (0.075mm).
3. Posteriormente se disuelve 4 % de agente dispersante Hexametafosfato de sodio ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) a 125 ml de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), para luego dejarlo reposar durante 18 horas.
4. Colocar la mezcla de suelo, agua y dispersante en el vaso de la licuadora y dejarlo batir por un periodo de 1 minuto aproximadamente, para luego agregarlo en un cilindro graduado y completándolo con agua desmineralizada hasta los 1000 ml, para llamarlo cilindro de sedimentación.
5. Luego, en otro cilindro se le agrega agua desmineralizada hasta completar 1000 ml, para llamarlo cilindro de control.
6. Después de tener las muestras ya preparadas se agarra el cilindro de sedimentación y se le coloca la palma de la mano o un tapón de caucho, para hacerles movimientos de derecha a izquierda suavemente, por un tiempo de 5 minutos aproximados.
7. Luego se colocan en un sitio que no le pegue los rayos del sol ni que hallan muchos cambios de temperaturas ni movimientos del mismo.
8. Posteriormente se toman las lecturas del hidrómetro a los siguientes intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 minutos, las lecturas deben realizarse

en la parte superior del menisco y las lecturas deberán ser corregidas por el factor de corrección por menisco, y sus temperatura consecutivas.

9. Durante las lecturas colocar el hidrómetro dentro del cilindro de sedimentación entre 10 y 15 segundos antes de realizar la lectura. Tan pronto la lectura es realizada remover el hidrómetro y colocarlo en otro cilindro de control lleno con agua destilada, teniendo el cuidado de hacer girar el hidrómetro para liberar a este de las partículas de suelo que podrían haberse adherido al hidrómetro.

10. Después de cada lectura determinar la temperatura de la suspensión insertando un termómetro.

11. Verificar la calibración del hidrómetro (correcciones por menisco, temperatura y agente dispersante, además, relación lectura del hidrómetro y profundidad efectiva).

- Análisis de límites líquido y plástico de Atterberg: el cálculo de los límites líquido y plástico de un suelo se realizan de manera tal de usar estos valores para conocer la clasificación de los suelos por el sistema unificado.

Instrumentos utilizados: los instrumentos utilizados para este ensayo fueron los siguientes: a) Aproximadamente 200 gr. de material pasante por el Tamiz n° 40 (0.425 mm) y bandeja. b) Aparato de límite líquido eléctrico con herramientas para hacer la ranura de tipo Casagrande; c) Recipientes para determinar el contenido de humedad (Cápsulas); d) Vidrio esmerilado; e) Envase para agregar agua controlada; f) Espátula; g) Horno eléctrico con temperatura constante 105 – 110 °C; h) Envase de porcelana; i) Balanza con sensibilidad de 0,01 gr.

## 1. Límite líquido

### Procedimiento:

1. Se preparó una muestra de suelo con un peso aproximado de 200 gramos, pasante por el tamiz No 40, previamente secadas al horno a una temperatura constante de 110 o C, durante un tiempo de aproximadamente 24 horas; posteriormente se vierte en una cazuela de porcelana, se añade cierta cantidad de agua y se mezcla uniformemente, hasta obtener la pastosa y de un color uniforme.

2. Calibrar el aparato Casagrande a una altura exactamente de 1 centímetro.

3. Colocar una pequeña cantidad del suelo preparado en la cazuela de bronce y con una espátula emparejar la superficie de la pasta que ésta quede paralela a la base de caucho.

4. Con un ranurador para suelos cohesivos, cortar la muestra por el centro de una forma recta y clara que separe completamente la masa de suelo en dos partes.

5. Se procede al conteo para determinar los números de golpes, en cuyos rangos deben tomarse 3 puntos por debajo de 25 y 3 puntos por encima de 25 golpes, y colocarla en una tara cuyo peso se determinó con anterioridad. Esta muestra debe tomarse en donde se cerró la ranura, y tomar en cuenta que cada punto se tiene que repetir como mínimo (02) dos veces cada punto.

6. Repetir los cuatro últimos pasos para tomar el siguiente punto menor a 25 golpes y los otros dos puntos mayores a 25 golpes. Pesar las 4 muestras de

humedad obtenida en los diferentes ensayos, y colocarlas al horno por un periodo de tiempo de 24 horas aproximadamente a una temperatura de 110 o C.

7. Determinar el contenido de humedad, peso del suelo húmedo, peso del suelo seco respectivamente. Por último se procede a la elaboración de la gráfica y cálculo del límite líquido.

## 2. Límite plástico

Procedimiento:

1. Se toman de 20 a 30 grs aproximadamente de suelo del ensayo anterior y se dividen en varias porciones.

2. Luego se procede a enrollar el suelo con la mano extendida sobre una superficie lisa, de una forma vaivén con la palma de la mano, hasta que el cilindro alcance 3 mm de diámetro aproximadamente, hasta que agrieten y resquebraje en pequeños pedazos.

3. Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindros que permitan llenar dos taras previamente pesadas y cuyo peso de los cilindros sea de 10g., aproximadamente.

4. Se colocan las taras en un horno eléctrico para que se seque el suelo. Posteriormente se sacan las taras del horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente.

5. Se pesan las taras con el suelo seco y se determina el peso del suelo húmedo y seco respectivamente, para obtener el contenido de humedad y así tener el valor de límite plástico.

•Gravedad específica: la gravedad específica esta definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados. Se representa la gravedad específica por Gs.

Equipos utilizados: Los equipos utilizados fueron los siguientes: a) Picnómetro de 500 ml o de 250 ml, b) Agua desmineralizada, c) Alcohol isopropilico, d) Termómetro, e) Servilleta, f) estufa o reverbero, g) Horno, h) Bandeja de aluminio, i) Hielo, j) Balanza electrónica de capacidad 1200grs y sensibilidad 0.1 grs, k) Pipeta de capacidad 10 ml.

Procedimiento para el cálculo de gravedad específica:

a) Calibración del Picnómetro:

Se limpió y seco el Picnómetro de la siguiente manera:

1. Para la calibración del picnómetro, se limpio con detergente líquido luego se enjuagó con agua desmineralizada, para luego limpiarlo con alcohol para eliminar todas las impurezas, se lleno con agua desmineralizada hasta el aforo del cuello del picnómetro.

2. Se coloca el picnómetro en baño de María para eliminar las burbujas de aire. Se dejó en estas condiciones durante un espacio de 40min. – 45 min.

3. Lo retiramos del baño de María y se deja reposando por espacio de entre 15 y 30 minutos y luego le tomamos lecturas de peso y temperatura.

4. Luego en un recipiente con agua y hielo lo introducimos para disminuir la temperatura y se van tomando los valores de las variaciones del peso en función de la temperatura cada vez que esta disminuía de 4°C a 5°C.

5. Utilizando el papel absorbente, ajustar el nivel de agua en el picnómetro hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de graduación.

- Cálculo de la gravedad específica

1. Pesamos un picnómetro vacío, el cual debe estar limpio y seco al cual se le agrega una cantidad de agua desmineralizada, luego se la agrega una cantidad de suelo, aproximadamente 50 gramos, el cual debe pasar por el tamiz 40, y debe estar seco al aire.

2. Luego se saca todo el aire de la mezcla de agua y suelo, lo cual se hace colocando al baño de maría el picnómetro con el suelo y luego colocándolo en una bomba de vacío repitiendo este ciclo por varias horas, hasta que se determine que el aire del matraz ha salido completamente.

3. Luego se enrasa la cantidad de agua que hace falta, para llegar a la línea de aforo, y se saca el aire nuevamente, si es necesario. El proceso de sacar el aire debe durar de 6 a 8 horas para suelos plásticos, y de 4 a 6 horas para suelos de baja plasticidad.

4. Luego de tener el picnómetro con la cantidad de agua especificada, se procede a pesar el picnómetro el cual contiene agua + suelo, al mismo tiempo que se le toma la temperatura al agua que está dentro del picnómetro.

5. Luego se vacía todo el material de suelo + agua en una bandeja, se coloca al horno, mínimo por 24 horas para asegurarnos de que la muestra este totalmente seca, para obtener el peso del suelo seco se resta el peso de la bandeja con suelo menos el peso de la bandeja.

6. Después se procedió a realizar la grafica peso picnómetro + H<sub>2</sub>O vs temperatura.

*Nota:* los ensayos de hidrómetro, de límites líquido y plástico de Atterberg, de gravedad especifica; no fueron realizados debido al tipo de suelo que se obtuvo a través de clasificación unificada de los suelos (ASTM) y el sistema de clasificación AASHTO.

- Ensayo de compactación

Equipos utilizados: el equipo utilizado fue el siguiente: a) Balanza eléctrica de 35 Kg. (sensibilidad 5 gr.); b) Molde de compactación de 4" y 6" de diámetro con base y collar; c) Martillo de 24,5 N \* 0, 305 m. de caída; d) Regla de acero para nivelar los extremos de las muestras compactadas; e) Probeta graduada, 12 a 18 taras para el contenido de humedad; f) Bandejas mezcladoras grandes; g) Balde de plástico; h) Espátula para sacar las muestras de suelo.

Procedimiento:

1. Se toma cierta cantidad de suelo, previamente secado al aire y pulverizado suficientemente para que pase a través del tamiz N° 4 (4.75 mm).

2. Luego se le calcula la humedad inicial, se procede a escoger la humedad deseada y desde allí se procede a agregar las cantidades de aguas necesarias para cada punto.
3. Luego se toman la característica de peso, diámetro y altura del molde de compactación, sin base ni collar.
4. En una bandeja se le agrega el suelo ya tamizado y el agua ya calculada, posteriormente se arma el equipo, se le agrega una pequeña cantidad de suelo al molde, para luego proceder a compactar el suelo a una razón de 25 y 56 golpes por capa por cada cilindro.
5. Luego se le agrega la segunda capa y tercera capa, hasta que la última quede por encima de la junta del collar, para enrasarla posteriormente.
6. Seguidamente se procede a pesar el molde más suelo compactado, para luego sacarle de los extremos una pequeña cantidad de suelo para su contenido de humedad.
7. Luego estos procedimientos se repiten hasta que el peso del molde más el suelo disminuyan.
8. Luego se procede a colocar las capsulas en el horno durante 24 horas aproximadamente, para obtener el peso seco y luego calcular el % de humedad.
9. Posteriormente se calcula el peso húmedo y unitario seco para luego realiza la gráfica de  $\gamma_{seco}$  contra contenido de humedad.

### **4.8.3 Clasificación de los suelos**

Para la clasificación se seleccionó el sistema de clasificación unificada de los suelos (ASTM) y el sistema de clasificación AASHTO. Para aplicar estos sistemas de clasificación, se utilizaron los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos, cumpliendo con los requisitos exigidos por cada sistema de clasificación, obteniendo de esta manera el tipo de suelo según su clasificación con base a las tablas de clasificación de cada sistema.

### **4.9 Determinación de las características hidrográficas de la cuenca en estudio**

Las características hidrográficas de la cuenca se obtuvieron conociendo los valores del área de la cuenca, factor forma y la longitud del cauce principal, estas son conocidas a través de datos que se obtuvieron de estudios realizados anteriormente a este río por parte de especialistas en el área de hidrología y geomorfología así como también realizando los cálculos a través de mapas de la zona suministrados por la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G, 1981).

Los valores de caudal del río y tipo de flujo del río son determinados realizando aforos en las distintas estaciones tomadas en cuenta para este estudio y tomando en cuenta una serie de datos de valor conocido se logra estimar el tipo de flujo laminar y turbulento que discurre por este río.

Los sitios donde se tomaron los aforos y las muestras del cauce del río fueron en las estaciones Angosturita y las campiñas con el cual se realizó el cálculo del caudal del río a través del método de aforo de flotadores en cada una de las estaciones el procedimiento aplicado fue el siguiente: a) Se seleccionó un tramo recto del río, de sección uniforme y de pendiente constante; b) Se midió ese tramo, con una cinta métrica, la profundidad del cauce y el ancho; c) Luego se lanzó al agua una pelotica

de anime del inicio de ese tramo, y se tomo el tiempo que tarda ese pedacito de anime en llegar al final del tramo. Este procedimiento se aplico 6 veces, realizándose posteriormente un promedio de ese tiempo; d) Para la determinación del caudal se aplicó la siguiente ecuación. (Ecuación 4.3)

$$Q = \frac{\text{Profundidad x distancia x ancho}}{\text{tiempo}} \quad (4.3)$$

Donde:

Q= Caudal.

Para la recolección de la muestra en el cauce del rio utilizada para realizarle los análisis mineralógicos y morfoscópico se tomaron un aproximado de 12Kg de muestra los cuales fueron luego secados para sus posteriores análisis.

#### **4.9.1 Análisis morfoscópico de las muestras tomadas en el cauce**

Estos análisis fueron realizados en la Universidad de Oriente en la Escuela de Ciencias de la Tierra, en el laboratorio de sedimentología, el método empleado para realizar dichos análisis fue la carta de comparación de esfericidad y redondez, la cual consistió en tomar una porción de muestra pasante por el tamiz N° 40 para la evaluación cuantitativa la cual se basa en un conteo visual promedio, bajo un microscopio estereoscópico y así determinar la forma de las partículas tomando un promedio de 200 partículas.

#### 4.10 Determinación del tipo de flujo del río San Rafael

El cálculo del caudal y el tipo de flujo se realizó mediante los aforos efectuados en el río con los cuales se conocerían los valores de profundidad, distancia recorrida y velocidad del flujo, a través de estos se puede ir a la ecuación del número de Froude y número de Reynolds, que permiten determinar el tipo de flujo que discurre por el río a la altura a la cual se realizaron estos aforos. (Ecuación 4.4). (Tabla 4.3).

Número de Froude:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times h}} \quad (4.4)$$

Donde:

F= Número de Froude.

V= Velocidad de Flujo.

g= Gravedad.

h= Profundidad.

Tabla 4.3 Clasificación del flujo por el número de Froude.

Número de Froude	Tipo de Flujo
F>1	Súper crítico
F<1	Subcrítico
F= 1	crítico

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{U \times L}{\nu} \quad (4.4)$$

Donde:

Re= Numero de Reynolds. (Tabla 4.4).

U= Velocidad del Flujo.

L= Largo del Sistema de Flujo.

V= Viscosidad del agua.

Tabla 4.4 Clasificación del Flujo según su número de Reynolds.

Numero de Reynolds	Tipo de Flujo
$Re < 500$	Flujo Laminar
$500 < Re < 2000$	Flujo de transición
$Re > 2000$	Flujo Turbulento

#### 4.11 Implementación de un plan de desarrollo urbano local

El siguiente Plan de Ordenación del Territorio del estado Bolívar tiene como objetivo general definir y promover una localización de la población, la producción y la infraestructura física del estado Bolívar que armonice criterios de crecimiento económico, desarrollo social, seguridad, defensa y conservación del ambiente; y que

mantenga el equilibrio entre las fuerzas sociales que poseen los espacios y recursos del estado.

Para realizar la propuesta de un plan que permitiera evitar el acelerado crecimiento de las cárcavas en la parte alta a media de la cuenca del río San Rafael se llevo a cabo una visita de campo la cual nos permitiera observar la problemática que se presenta y que afecta o puede afectar a muchas familias con sus viviendas cercanas a las cárcavas. En la visita realizada se tomaron fotos para tener evidencia de los sitios afectados para así realizar una propuesta que permita adecuar las áreas más afectadas y evitar con esto que las cárcavas sigan creando mas problemas a la población.

Para que se lleve a cabo con el cumplimiento de dicho plan se debe realizar una visita a las autoridades competentes para proponer que se efectué el mismo y evitar que las zonas más críticas del área estudiada sigan siendo afectadas por los problemas allí presentes.

#### **4.12 Elaboración de los mapas geológico, geotécnico y de muestreo**

Para la elaboración del mapa geológico se utilizó la herramienta de diseño asistido AUTOCAD 2008, tomando como base el mapa del Municipio Heres, facilitado por el Instituto Autónomo Minas Bolívar (IAMIB). Se delimitó la zona de interés y se le dio la escala apropiada para así trabajar mejor en dicho mapa. Seguidamente se procedió a georreferenciar el mapa con puntos conocidos para luego plasmar la información geológica y cartográfica previamente obtenida a través de la recopilación bibliográfica y de los datos obtenidos en las visitas a campo.

Para el caso del mapa geotécnico, se usó también AUTOCAD 2008. Se tomó como base el mapa geológico mencionado anteriormente, ya georreferenciado y con

la escala correspondiente. Se procedió a plotear los puntos de muestreo, asignándoles las coordenadas UTM respectivas, así como la nomenclatura correspondiente. Finalmente, se añadió la información geotécnica obtenida por los datos recopilados en campo y los resultados obtenidos de las muestras recolectadas.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Diagnostico de la situación actual de la cuenca alta del río San Rafael**

La cuenca alta del río San Rafael presenta taludes inestables ya que están compuestos por sedimentos no consolidados, que se ven afectados por las aguas de escorrentías de las calles próximas a la zona así como también la presencia de otros factores tales como desechos sólidos, aguas servidas las cuales ayudan a la erosión apresurada de los sedimentos.

El relieve observado en la zona se encuentra muy accidentado con taludes con mucha vegetación, lo que contribuye con la aceleración de los procesos erosivos debido a las raíces de las plantas que ocasionan surcos permitiendo que el agua se transporte y de esta manera se van erosionando los sedimentos. En función a lo observado se llego a la conclusión de que dichos taludes se encuentran muy afectados por la erosión a los que han sido sometidos.

Además la presencia de desechos sólidos en el pie de los taludes en la zona de estudio es un factor que también contribuye con la erosión de estos, tanto en la estación angosturita como en la estación las campiñas se pudo observar gran cantidad de desechos sólidos apostados en sus cercanías.

#### **5.2 Descripción de las unidades geológicas del área en estudio**

Se pudo observar que en el área de estudio están presentes dos unidades litológicas descritas a continuación:

La Formación Mesa en la zona de la cuenca del río San Rafael se divide en dos horizontes, una parte superior de color generalmente rojizo, producto de la lixiviación de hierro y comprende una secuencia de arcillas limonitas y arenas bien estratificadas la cual presenta concreciones de hierro, y una parte inferior que esta menos afectada por lixiviación y presenta estrato de limo arcillas y arenas de tonos claros. (González de Juana, 1982).

Los Aluviones Recientes son sedimentos provenientes de la erosión de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir del holoceno hasta el presente, constituyendo las planicies de aluviones y el área de inundación del río San Rafael. Los sedimentos recientes se presentan en toda la cuenca alta del rio rodeando el cauce de este a través de todas las estaciones tomadas en cuenta. Los sedimentos recientes conforman los taludes y todo el terreno presente en la zona de estudio. (Figura 5.1).

Los Aluviones Recientes fueron observados mayormente conformados por arenas limosas y en menor proporción por arenas finas con pocos sedimentos finos, de color amarillo o marrón, provienen de la meteorización de las rocas pertenecientes al Complejo de Imataca.



Figura 5.1 Talud formado por sedimentos recientes presente en la zona de estudio.

### **5.3 Interpretación de la geomorfología presente en la cuenca en estudio**

En cuanto a la geomorfología, el relieve expresa las características propias de un valle con topografía accidentada; se encuentran zonas con pendientes menores y se observan otras de relieve alto con pendientes mayores. La pendiente se va haciendo mayor en la parte alta de la cuenca encontrándose taludes naturales de alturas que varían 5 y 10 mts y con pendientes variables, generalmente superiores a 60% aproximadamente. Existen zonas donde los taludes alcanzan menor altura, con poca pendiente donde el efecto erosivo laminar ha alcanzado menor desarrollo, en el cual la pendiente se mantiene casi constante hasta alcanzar el nivel del río.

Toda la zona de estudio se encuentra cubierta por una capa muy espesa de vegetación herbácea de tamaños no mayores a 1 metro y vegetación arbustiva con

tamaños que van de 2 a 5 metros de altura tales como el Chaparro (*curatera americana*), manteco (*byrsominia crassifolia*), merey (*anarcadium occidental*), alcornoque (*bowdichia virgiloides*) y en proporción menor se encuentra el mango (*mangifera indica*). (Figura 5.2).



Figura 5.2 Vegetación existente en la márgenes del río San Rafael.

#### **5.4 Descripción de los aspectos morfodinámicos que actúan en el proceso erosivo**

En la estación Angosturita se observó, una mayor inestabilidad en los taludes, debido a la concentración de aguas superficiales sobre estos, generando cárcavas, que presentan una amenaza directa para las viviendas que producen el vertimiento, también se observó la falta de sistemas de alcantarillado, situación que contribuye a la Formación de cárcavas, teniendo en cuenta que las calles actúan como colectores de

agua produciendo de esta manera el desarrollo de las familias de cárcavas presentes actualmente. (Figura 5.3).



Figura 5.3 Cárcavas presentes en la estación Angosturita.

En todas las estaciones se observó, la dispersión inadecuada de basura sobre los taludes y esto permite muy fácilmente la infiltración, formando depósitos de agua sub-superficiales y corrientes de aguas en la interfase entre la basura y el suelo, la cual produce escurrimiento del suelo y basura y deslizamiento del suelo debajo de las basuras.

## **5.5 Determinación de las características geotécnicas de la zona**

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente para obtener la clasificación de los suelos de cada una de las estaciones tomadas en cuenta para el estudio geotécnico de la cuenca alta del río San Rafael ,utilizando el sistema de clasificación ASSHTO y el sistema unificado de las normas ASTM.

### **5.5.1 Densidad In Situ**

Los valores obtenidos de densidad “in situ” por el método del cilindro oscilan entre  $1.65 \text{ gr/cm}^3$  y  $1.95 \text{ gr/cm}^3$  estas densidades dieron un poco bajas debido al tipo de suelo que en su mayoría corresponden a arenas finas y arenas medias.

### **5.5.2 Compactación**

De acuerdo a los resultados obtenidos con este ensayo se pudo conocer que las densidades secas máximas se encuentran en el rango entre  $1,725 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.2 \text{ gr/cm}^3$  estos valores se encuentran en el rango de las arenas medias a finas.

El grado de compactación en la estación Angosturita en la C1; es de 94,74%, C2; es de 92,17%, C3; es de 93,79%.

En la estación las Campiñas el grado de compactación en la C4; es de 99,72%, C5; es de 96,49%, C6; es de 84,18%.

## **5.6 Determinación de las características hidrográficas de la cuenca del río San Rafael**

El objetivo en este caso, es la determinación de las características hidrográficas de la cuenca y precisar el caudal máximo de la escorrentía superficial y el tipo de flujo que presenta el río en la cuenca baja.

### **5.6.1 Área de la cuenca**

El área de cuenca del río San Rafael es de 23.587.029 mts<sup>2</sup>, dato obtenido al utilizar la herramienta de digitalización Arc Map, la cual se aproxima al valor del área calculada en estudios anteriores la cual es de 24 Kmts<sup>2</sup>. (Hurtado y Cabrera, 2008).

### **5.6.2 Factor forma (Ff)**

El factor forma se obtuvo al utilizar la ecuación 5.1. Sustituyendo los valores tenemos. (Ecuación 5.1).

$$Ff = \frac{\text{Área de la cuenca}}{\text{Longitud Axial}^2} \quad (5.1)$$

$$Ff = (24 / 8775^2)$$

$$Ff = 0.31$$

En base al resultado obtenido se puede decir, que la cuenca tiene una capacidad para producir crecientes de 0.31.

### 5.6.3 Cálculo del caudal utilizando aforo

Para cada uno de los cálculos del caudal se utilizó la ecuación 5.2

$$Q = \frac{\text{profundidad} \times \text{distancia} \times \text{ancho}}{\text{tiempo}} \quad (5.2)$$

#### 5.6.3.1 Estación Angosturita:

Datos:

Distancia= 3750 cm

Tiempo= 50 seg

Ancho= 450 cm

Profundidad= 8 cm

El caudal se obtuvo al aplicar la ecuación 5.2

$$Q = (8 \times 3750 \times 450) \text{ cm}^3 / 50 \text{ seg}$$

$$Q = 270,00 \text{ Litros/seg.}$$

#### 5.6.3.2 Estación Las Campiñas:

Datos:

Distancia= 2000 cm

Tiempo=42 seg

Ancho= 350 cm

Profundidad= 20 cm

El caudal se obtuvo al aplicar la ecuación 5.2

$$Q = (20 \times 2000 \times 350) \text{ cm}^3 / 42 \text{ seg}$$

$$Q = 333,33 \text{ Litros/seg.}$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de los caudales se pudo confirmar que a medida que se aproxima a la parte media de la cuenca el valor del caudal va amentando, esto se debe al aporte de aguas superficiales, lo mismo ocurre debido al aumento de la velocidad del flujo de agua medida. (Figura 5.4).

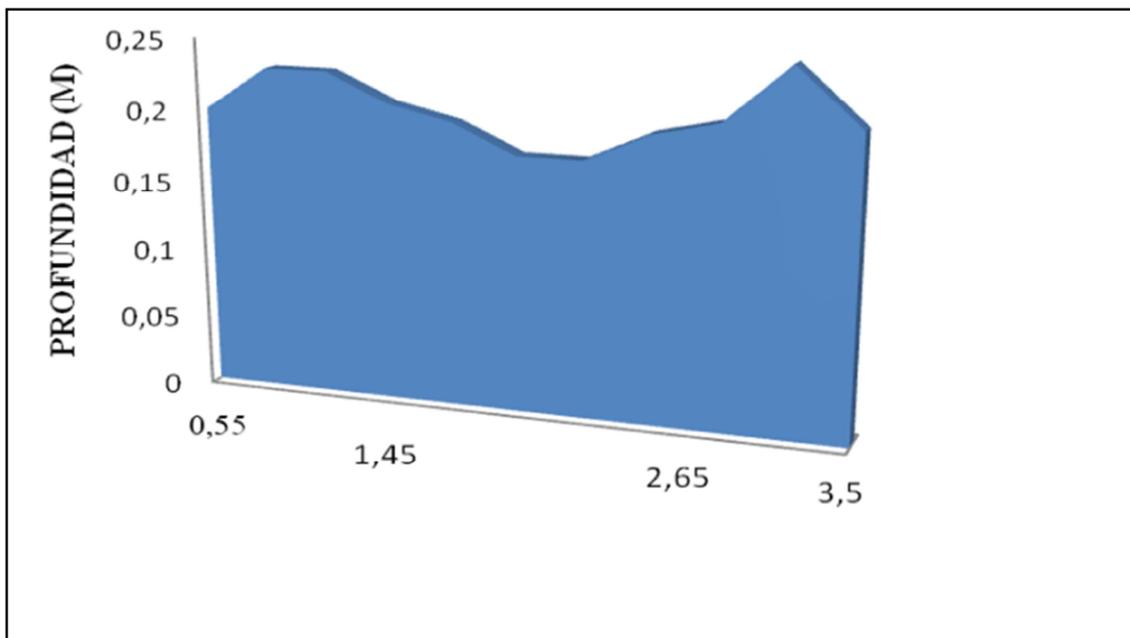


Figura 5.4 Perfil Transversal del río San Rafael aproximadamente 150 mts aguas abajo del puente Las Campiñas. (Hurtado y Cabrera, 2008).

#### 5.6.4 Análisis de las muestras de sedimentos de los aforos

5.6.4.1 Análisis morfoscópico: de acuerdo a los análisis realizados, en las muestras M-1 y M-2 se encontró un mayor porcentajes de partículas sub-angular. (Tablas 5.1, 5.2 y Figura 5.5).

Tabla 5.1 Análisis morfoscópico de muestra M- 1. Estación Angosturita.

Muestra	amiz	Angula		Sub		Sub redondeada	
		ca		ca		ca	%
M-1		6		10		62	31

Continuación Tabla 5.1.

Muestra	amiz	Redond		Bien		total
		ca		ca	%	
M-1		20		7	3,	200

Tabla 5.2 Análisis morfoscópico de muestra M- 2. Estación Las Campiñas.

Muestra	amiz	Angul		Sub		Sub redondeada	
		ca		ca		ca	%
M-2		4		13		49	24,5

Continuación Tabla 5.2.

Muestra	amiz	Redond		Bien		total
		ca		can	%	
M-2		15		2	1	200

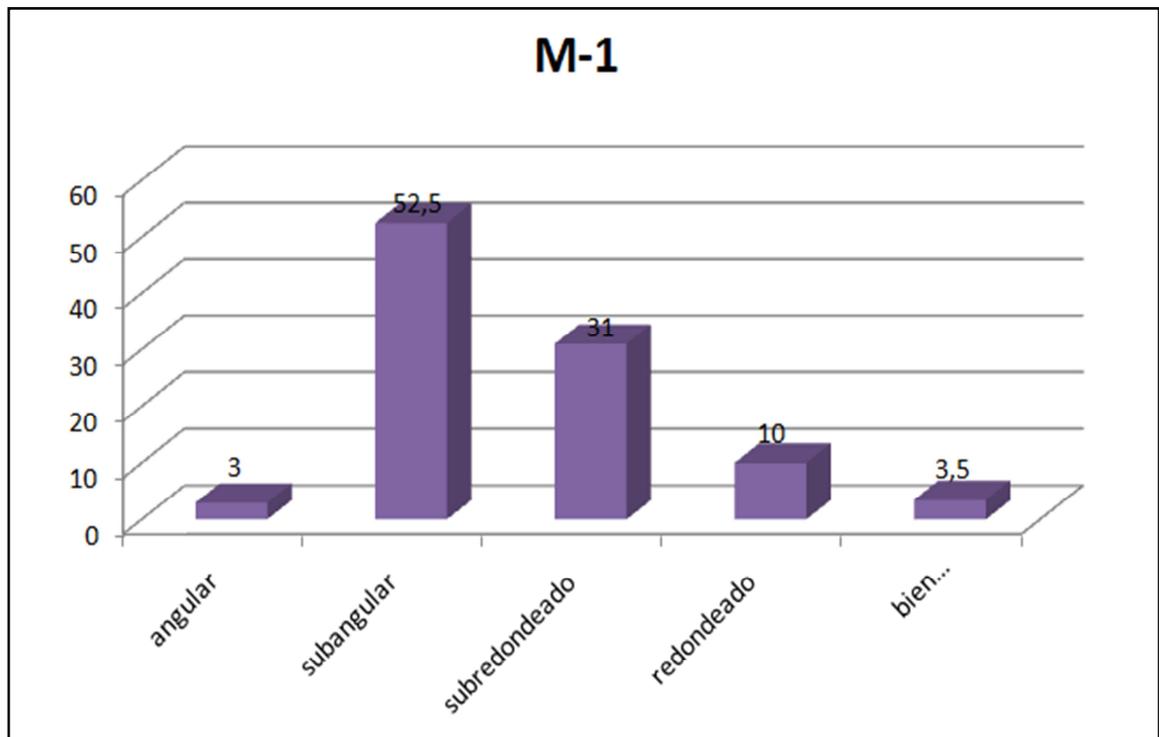


Figura 5.5 Análisis Morfoscópico. Muestra M-1. Estación Angosturita.

En base a los resultados obtenidos de los análisis Morfoscópico se obtuvo un rango de 52.5%- 65% indicando un mayor porcentaje en partículas subangular, tomando en cuenta estos resultados se puede inferir que las partículas no han sufrido mucho transporte.

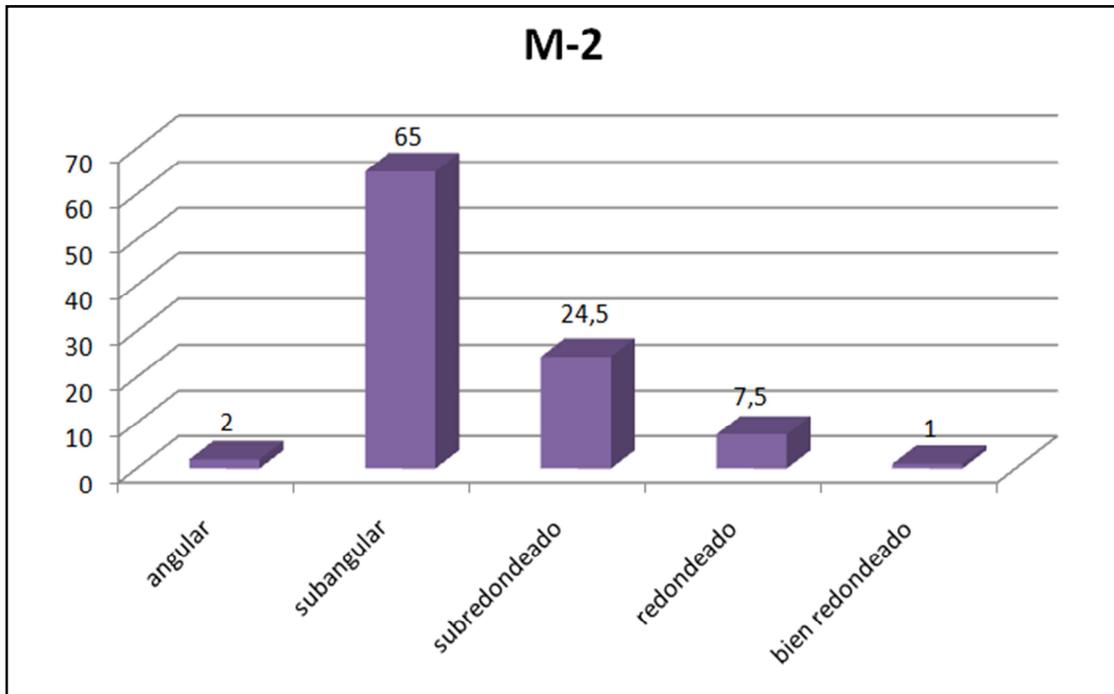


Figura 5.6 Análisis Morfoscópico. Muestra M-2. Estación Las Campiñas.

## 5.7 Determinación del tipo de flujo del río San Rafael

### 5.7.1 Número de Froude

$$\text{---} \quad (5.3)$$

1. Estación Angosturita:

$$F = \frac{0,625}{\sqrt{9,81 \times 0,8}} = 0,2231$$

2. Estación Las campiñas:

$$F = \frac{0,625}{\sqrt{9,81 \times 0,2}} = 0,4462$$

De acuerdo a los valores obtenidos del número de Froude se puede definir que el tipo de flujo del río San Rafael es un flujo subcrítico ya que los valores determinados fueron menores que 1 en ambos casos.

### 5.7.2 Número de Reynolds

$$Re = \frac{U \times L}{\nu} \quad (5.3)$$

1. Estación Angosturita:

$$Re = \frac{0,625 \frac{m}{seg} \times 80m}{0,658 \times 10^{-6} m^2/seg} > 2000$$

2. Estación Las campiñas:

$$Re = \frac{0,625 \frac{m}{seg} \times 20m}{0,658 \times 10^{-6} m^2/seg} > 2000$$

El número de Reynolds obtenido arrojó un tipo de flujo turbulento para ambas zonas donde se realizaron los aforos y que difiere del tipo de flujo obtenido con el número de Froude debido a las existencias de corrientes bruscas en algunos sitios del cauce.

## 5.8 Implementación de un plan de desarrollo

Tomando en cuenta la situación actual en la cuenca del río San Rafael, cabe destacar que se da incumplimiento a los siguientes fundamentos:

Ley del agua artículo 6 y 54. Debido a la situación de pobreza, la mala calidad de los transportes públicos, los hogares de bajos ingresos se ven forzados a asentarse en áreas que son consideradas según el artículo 54 como zonas protectoras y el artículo 6 como bienes de la nación. Por tal motivo el Plan de Ordenación Urbanístico de Ciudad Bolívar (POU), está en la obligación de elaborar planes especiales para los barrios localizados en áreas con riesgo geológico e hidrológico a objeto de cometer acciones para su permanencia o reubicación, se sugiere el siguiente plan de desarrollo:

1. Construir diques, los cuales pueden ser con piedras, troncos y ramas, en forma escalonada dentro de la cárcava, con el objeto de disminuir la velocidad de escurrimiento del agua y retener los sedimentos que transporta.

2. Aislamiento de la cárcava, esto consiste en colocar cercos en todo su perímetro para evitar la entrada del agua de escorrentía, producto del urbanismo y las lluvias, y desviarlas a desagüaderos seguros.

3. Construir sistemas colectores de agua en las coronas de los taludes o en la superficie de las áreas urbanizadas, debido a que los sistemas de alcantarillado no son eficientes en la recolección de las aguas, lluvias y las calles actúan como sistemas alternativos con la consiguiente formación de cárcavas.

4. Evitar la disposición inadecuada de basura sobre los taludes. Las basuras permiten muy fácilmente la infiltración formando depósitos de agua subsuperficial y corrientes de agua en la interface entre la basura y el suelo; se producen escurrimiento

de suelo y basura formando cárcavas las cuales crecen en un proceso combinado de erosión y flujo.

5. Reforestar las zonas más inestables debido a que brindan mayor consistencia al suelo a consecuencia del entrelazamiento de las raíces, contribuyendo de esta manera a la estabilización de las cárcavas.

### **5.9 Elaboración de los mapas geológico, geotécnico y de muestreo**

El mapa geológico describe las unidades geológicas presente en el área de estudio donde en su mayor parte está conformada por los sedimentos de la Formación Mesa y en menor proporción por los aluviones recientes.

El mapa de muestreo representa la ubicación de las calicatas donde fueron tomadas cada una de las muestras a través de las cuales se determinó el tipo de litología y los sedimentos presentes en el área de estudio en cada una de las estaciones.

El mapa geotécnico muestra la composición de las muestras tomadas en el área de estudio clasificadas geotécnicamente por el método de AASHTO y el Sistema Unificado de Suelos dando como resultado suelos de tipo SP que corresponden a arenas mal gradadas para ambas estaciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La cuenca alta del río San Rafael, se encuentra en una zona muy inestable situación que acelera la erosión superficial esto se debe a la naturaleza de los sedimentos no consolidados, donde predominan los suelos del tipo SP; cuya característica principal son arenas mal gradadas las cuales son pocas cohesivas y de alta susceptibilidad a la erosión.

2. El área de estudio se encuentra bastante afectada por los distintos procesos erosivos dentro de los cuales destacan la presencia de desechos sólidos en el borde del río, aguas servidas, aguas de escorrentía, además de la vegetación sobre los taludes los cuales permiten la aceleración del crecimiento de las cárcavas.

3. Las unidades geológicas presentes en el área de estudio fueron la Formación Mesa y Sedimentos Recientes.

4. La Formación Mesa se observa en toda el área de estudio; muestra alternancia de arenas de granos medio a fino de diversos colores.

5. Los sedimentos recientes, se encuentran hacia ambas márgenes del río principalmente.

6. En cuanto a la geomorfología el río expresa las características de un valle con topografía accidentada; con la presencia de taludes expuestos a la erosión, originando la remoción de masas.

7. El área de estudio presenta dos tipos de relieve: sistemas de cárcavas y llanuras aluviales.

8. Los procesos naturales morfodinámicos se han acelerado violentamente, en algunos sectores debido a la concentración de aguas superficiales producto del urbanismo mal planificado.

9. En el área de estudio se identifican dos tipos de cárcavas según su dinámica: las relativamente estables y las activas. Las primeras presentan una cobertura de cascajos ferruginosos y de abundante vegetación natural que ofrece la protección de los suelos animando la acción o impacto de los agentes erosionantes; las activas, carecen de estos elementos protectores, siendo más vulnerables en consecuencia a la acción de los agentes erosivos.

10. Los sedimentos encontrados en el área de estudio, muestran un predominio de arena de grano medio a arena de grano fino, encontrándose estos en el rango de sub-angulosos, con lo que se puede inferir que han tenido poco transporte.

11. Los valores obtenidos de densidad in situ “método del cilindro” están en el rango de  $1,65\text{gr/cm}^3$  y  $1,95\text{ gr/cm}^3$ , estas densidades dieron un poco bajas debido al tipo de suelo que corresponden a arenas de grano medio a grano fino.

12. Los valores de húmeda naturales son muy variados y están en el rango de 5 y 18%, esto se debe a que algunas calicatas fueron hechas más cerca del lecho del río que otras.

13. La cuenca tiene una capacidad de producir crecientes de 0.31, según el valor del factor forma.

14. En cuanto a los resultados obtenidos de los aforos realizados el valor más alto de caudal se obtuvo en las Campiñas con 333,33 lts/seg debido a esto podemos inferir que hay mayor aporte de aguas superficiales en esa estación, en comparación con los aforos realizados en la estación angosturita.

15. El urbanismo no planificado, ocupa áreas que bordean las cárcavas, las cuales de acuerdo con la Ley de Aguas, deben cumplir funciones de protección en las mismas, las descargas de aguas servidas sobre las cárcavas contribuyen a la erosión, así como a la sobresaturación de los suelos propiciando condiciones de desestabilización de los taludes.

### **Recomendaciones**

1. El Ministerio de Ambiente no debe permitir las construcciones de viviendas a lo largo de la cuenca del río San Rafael donde la misma se considera una zona geológica-ambiental de alta sensibilidad y alto riesgo.

2. A la comunidad evitar la colocación inadecuada de basura sobre los taludes.

3. Al Ministerio de Ambiente reforestar las áreas inestables, debido a que la vegetación se multiplica, prospera y mejora a través de los años.

4. Al Ministerio de Ambiente evitar la remoción de la vegetación, ya que al eliminar la protección vegetal (cualquiera que sea esta), se deja el terreno expuesto al impacto de las gotas de lluvia las cuales producen erosión laminar, seguida por formación de surcos, las cuales pueden convertirse en cárcavas. Esta situación se agrava más cuando se remueve la parte superficial del terreno, la cual funciona como una segunda capa de protección natural contra la erosión.

5. La Alcaldía del estado Bolívar, rellenar con un material de mejores condiciones las áreas inestables.
6. La Alcaldía del estado Bolívar, realizar fajinas en los sitios más inestables.
7. La Alcaldía del estado Bolívar, realizar proyectos que garanticen la canalización de aguas servidas.
8. La Alcaldía del estado Bolívar, mantenimiento y limpieza sanitaria al cauce del río San Rafael y sus alrededores para mejorar la velocidad del río.
9. La Alcaldía del estado Bolívar, evitar que las aguas servidas drenen libremente hacia las cárcavas. A tales efectos, se debe dotar de redes de cloacas a las zonas urbanas de la cuenca alta del río San Rafael.
10. La Alcaldía del estado Bolívar, mantenimiento de los alcantarillados existentes, debido a que muchos de ellos se encuentran tapados y toda el agua de escorrentía va directamente a las cárcavas, situación que se observo en angosturita.
11. Aplicar sanciones en la Ley Penal del Ambiente a todas aquellas personas naturales o jurídicas que contribuyan a la degradación y contaminación del río San Rafael.
12. El Ministerio de Ambiente crear foros informativos sobre el impacto ambiental generado por los desperdicios arrojados en nuestros ríos.

13. Exigir a las autoridades competentes que apliquen las leyes pertinentes en cuanto a las distancias mínimas que deben existir para la construcción de edificios y viviendas a fin de mantener el cauce de los ríos y su ecosistema.

14. El Ministerio de Ambiente realizar talleres de educación ambiental para concienciar a los habitantes que arrojan al cauce del río desechos sólidos, aguas servidas, desechos tóxicos para lograr una mejora en la calidad de vida de los habitantes y de las aguas del río San Rafael.

## REFERENCIAS

Balestrini, M. (2001). **¿CÓMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?** BL Consultores Asociados, Servicio Editorial, Caracas, Venezuela, p 248.

Betancourt, Carolina y Guevara Zemida (1998). **ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO CON FINES DE ORDENACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAN RAFAEL.** Ciudad Bolívar estado Bolívar. Universidad de Oriente (UDO), Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Ciudad Bolívar. Pág. 12-20,42-51,56, 57,90.

Bowles, J.E (1981). **MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL.** Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill Latinoamérica S.A. Bogotá, Colombia.

Cabrera Jhoarliss, y Hurtado Orlando (2008). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA DEL RÍO SAN RAFAEL CON FINES DE ORDENAMIENTO CONSERVACIÓN. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.** Universidad de Oriente (UDO), Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo y Geólogo respectivamente. Pág.7-63,97.

Carrasco, A. (1985). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Editorial Limusa, Caracas. Venezuela. Pág.37.

Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A. (1991). **PROYECTO DE INVENTARIO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA.**

Departamento de Geología de la Universidad de Oriente (UDO), Año 2001. **“GUÍA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO”**. Universidad de Oriente-Núcleo Bolívar. Ciudad Bolívar- Estado Bolívar. Eulacio, Luís y Rivero, Jesús. (1988). **ESTUDIO INTEGRAL, PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BUENA VISTA.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo Bolívar, Venezuela. p. 86.

González de Juana (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Caracas. FONINVES.

Gutiérrez, Eliene y Pérez Karelis (2001). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, Y CALIDAD DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS SAN RAFAEL, BUENA VISTA Y SANTA BÁRBARA.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar al título de Geólogo. Pág. 19, 20, 30.

Juárez, Badillo E y Rico, R.A. (1974). **“MECÁNICA DE SUELOS”**. Tercera Edición. Tomos I y II. Editorial Limusa, S.A. México.

Lambe, William (1993). **MECÁNICA DE SUELOS.** Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. pp. 47-48.

**LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE.** Gaceta oficial N° 5.8333 Extraordinario del 22 de Diciembre de 2006.

**LEY ORGÁNICA PARA LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.** Gaceta oficial N° 3.238 Extraordinario de fecha 11 de agosto de 1983.

Mendoza, Vicente (2005). **“GEOLOGIA DE VENEZUELA”**. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. Tomo I. Paginas 47- 62.

Santiago, Jesús (2008). **“ESTUDIO DE LAS CARCAVAS PRESENTES EN CIUDAD BOLIVAR”**. Ciudad Bolívar- Estado Bolívar. Universidad de Oriente (UDO), Escuela de Ciencias de la Tierra.

Santiago, J.E. (2003). **ESCORRENTÍA Y EROSIÓN DEL SUELO**. 18 de junio de 2009, [<http://www.monografias.com/trabajos14/erosion/erosion.shtml>].

**LEY PENAL DEL AMBIENTE.** Gaceta oficial N° 4.358 de fecha 3 de enero de 1992.

Martínez, Ferla y Pérez Eneida (2007). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL DEL RÍO SAN RAFAEL, EN ÉPOCAS DE SEQUÍA Y LLUVIA. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar por el título de geólogo. Pág.19-21,55-57, 77,78.

Olearte Lissy, Ruíz José y Gonzales Donis (2000). **HIDROLOGÍA URBANA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN RAFAEL. CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.** Universidad de Oriente (UDO), Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Ciudad Bolívar. Pág. 41-44, 46,53-58,72. <http://www.Google Earth.com.co>, 2005.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLOGICA DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO SAN RAFAEL CON FINES DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO Y MEJORAS. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR- ESTADO BOLÍVAR.
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>MACABRIL G. MARIA E.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>17.137.841</b>
	<b>e-mail</b>	<b>macabrilmaria_1713@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>SERRANO B. AURA M.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>16.914.379</b>
	<b>e-mail</b>	<b>aurase@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>Caracterización</b>
<b>Geológica</b>
<b>Geotécnica</b>
<b>Hidrológica</b>
<b>Río</b>

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

## Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
<b>Departamento de Geología</b>	<b>Geología</b>
<b>Departamento de Geotecnia</b>	<b>Ingeniería Geológica</b>

## Resumen (abstract):

El río San Rafael está ubicado al Noroeste de Ciudad Bolívar Municipio Autónomo Heres del Estado Bolívar, con coordenadas U.T.M., demarcadas por 891.700,00-900.000,00 Este y 438.850,00-442.000,00 Norte, su cuenca se extiende en dirección Sur-Norte hasta desembocar en el río Orinoco. Este estudio consiste en caracterizar geológica, geotécnica e hidrológicamente la cuenca alta a media del río San Rafael, con fines de ordenamiento urbanístico. Para lograr este objetivo, se realizó un recorrido por estación en el área de estudio a fin de visualizar las características geológicas, donde se reconocieron dos unidades geológicas: Formación Mesa y aluviones recientes y los aspectos más resaltantes que aceleran los procesos erosivos que incentivan la generación de movimientos morfodinámicos e identificar el uso actual del suelo. Se realizaron calicatas donde se tomaron muestras de sedimentos, para aplicarle los ensayos respectivos y así poder determinar sus características geotécnicas e identificar el tipo de suelo en cada una de las estaciones. La granulometría característica del sector Angosturita comprende arenas medias con pocas partículas de grava, los suelos son de tipo Sp formado por materiales no consolidados y esto lo hace susceptible a la erosión. La granulometría característica del sector Angosturita comprende arenas de grano medio a fino con 87,42% para C1, arenas de grano medio a fino con 85,08% para C2, arenas finas con 77,44% para C3; los suelos son de tipo SP. La granulometría característica del sector Las campiñas comprende arenas de granos fino con 88,06% para C4, arenas de grano medio a fino con 94,22% para C5, y arenas de grano medio a fino con 88,29% para C6; los suelos son de tipo SP. El grado de compactación en la estación Angosturita para la calicata C1; es de 94,74%, C2; es de 92,17%, C3; es de 93,79% y en la estación las Campiñas el grado de compactación para la calicata C4; es de 99,72%, C5; es de 96,49%, C6; es de 84,18%. El urbanismo no planificado, ocupa áreas que bordean las cárcavas, las cuales de acuerdo con la ley de aguas deben cumplir funciones de protección en las mismas para reubicar a las familias cuyas viviendas se encuentran en las zonas de alto riesgo a lo largo de la cuenca, las descargas de aguas servidas sobre las cárcavas contribuyen a la erosión así como también a la sobresaturación de los suelos propiciando condiciones de desestabilización de los taludes.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Jorge Abud</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>4.984.842</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
<b>José S. González</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>13.015.360</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
<b>Jacques Edlibi</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>12.189.882</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2010	JULIO	28

Lenguaje: SPA

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis.Caracterizacion Geologica,Geotecnica.e Hidrologica de la Cuenca Alta a Media del Rio San San Rafael.doc	Application/msword.

Alcance:

Espacial: Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar (Opcional)

Temporal: 10 AÑOS (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Geólogo, Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Departamento de Geología, Departamento de Geotecnia

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar

---

---

---

Si como producto de convenios, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el Título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

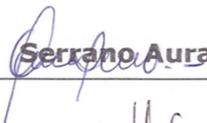
### Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado**  
**“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la**  
**Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros**  
**finés con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,**  
**quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

  
Macabril María

AUTOR 1

  
Serrano Aura

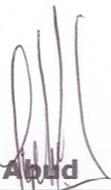
AUTOR 2

  
Jorge Abud

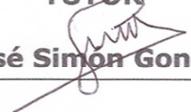
TUTOR

  
Jorge Abud

TUTOR

  
Jorge Abud

TUTOR

  
José Simón González

JURADO 1

  
Jacques Edlibi

JURADO 2

  
POR LA SUBCOMISION DE TESIS: