

<i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i>		Versión 00 – Abril/2014
		INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS
		Página 1 de 28

CONSULTORÍA PARA ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA (TOLEDO, NORTE DE S/DER.), POR REQUERIMIENTO DEL TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DE NORTE DE S/DER.

“Análisis de las precipitaciones como posible agente detonador en fenómenos de remoción en masa en San Bernardo de Bata”

HYMAC INGENIERÍA S.A.S.

Bogotá D.C., abril de 2014

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 2 de 28</p>

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. OBJETIVOS	4
1.2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	5
1.2.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	6
1.3. METODOLOGÍA.....	7
1.3.1. METODOLOGÍA PARA PROYECCION DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS.....	7
1.3.2. METODOLOGÍA PARA EL ÍNDICE DE EROSIONABILIDAD.....	8
1.3.3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES (ICP)	8
1.3.4. METODOLOGÍA PARA LA PROYECCION DE LLUVIA CRÍTICA	9
1.4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE PRECIPITACIÓN PARA EL CORREGIMEINTO DE SAN BERNADO DE BATA.....	10
1.4.1. ANALISIS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.....	10
1.4.2. ANALISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	12
1.4.3. ANALISIS DE LA LLUVIA CRÍTICA (<i>RELACIÓN LLUVIA DESLIZAMIENTO</i>) 14	
1.4.4. LLUVIAS EROSINABLES PARA EL SECTOR DE ESTUDIO.....	16
1.5. MORFOLOGIA Y CAUDALES DE LA CUENCA MARGUA.	21
1.5.1. <i>Morfología</i>	21
1.5.2. <i>Caudales de la Cuenca Margua</i>	22
1.6. COEFICIENTES DE ESCORRENTIA.....	23
1.7. CONCLUSIONES.....	26
1.8. BIBLIOGRAFIA.....	28
1.9. ANEXOS	28

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 3 de 28</p>

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. 1. Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata	11
Figura N° 1. 2. Tr para las precipitaciones Máx. en 24 Hr para San Bernardo de Bata	13
Figura N° 1. 3. Comportamiento Historio de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 hrs para San Bernardo de Bata	14
Figura N° 1. 4. Índices de Fournier - IF (1992 -2012)	17
Figura N° 1. 5. Índices de Fournier IF - (1992 -2012)	18
Figura N° 1. 6. Índices ICP - (1992 -2012) para San Bernardo de Bata.	20
Figura N° 1. 7. Caudales Proyectados para el Río Margua.....	23
Figura N° 1. 8. Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1. Estaciones Hidrometeorológicas utilizadas	6
Tabla 1. 2. Valores históricos máximos de Precipitación media anual	11
Tabla 1. 3. Valores históricos máximos de Precipitación media anual	12
Tabla 1. 4. Valores de Lluvia critica	16
Tabla 1. 5. Clasificación del índice de Fournier (IF)	16
Tabla 1. 6. Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)	18
Tabla 1. 7. Clasificación del ICP	19
Tabla 1. 8. Proyección de Caudales	22
Tabla 1. 9. Coeficientes de escorrentía “C”	25

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 4 de 28</p>

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se deriva del consultoría para estudio de riesgo por remoción en masa en San Bernardo de Bata (Toledo, Norte de S/der.), por requerimiento del tribunal administrativo de Norte de S/der. Donde se presenta el casco Urbano de San Bernardo de Bata con el objeto de realizar una caracterización desde el punto de vista hidrológico a escala 1: 2.000, con las variables de precipitación media mensual y precipitación máxima en 24 horas, con una posible relación en la incidencia del fenómeno de remoción en masa para esta zona.

1.1.OBJETIVOS

- ✓ Realizar los estudios de variables hidrológicas de la cuenca Margua.
- ✓ Determinar la lluvia crítica y su correspondiente periodo de retorno como posible agente detonante de fenómenos de remoción en masa.
- ✓ Determinar los caudales de creciente para diferentes periodos de retorno
- ✓ Elaborar los planos temáticos que representen la distribución espacial de las diferentes precipitaciones analizadas.

ALCANCE

El alcance del estudio hidrológico comprende el estudio de las variables hidrológicas para la cuenca Margua, donde se localiza el Municipio de San Bernardo de Bata, con el fin de caracterizar fisiográfica y morfométricamente la red de drenaje natural y posteriormente encontrar una posible relación con el Fenómeno de Remoción en Masa.

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 5 de 28</p>

1.2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Con el objeto de definir y proponer las actividades iniciales, para ejecutar el estudio hidrológico realizado, se llevó a cabo una la revisión minuciosa de documentos secundarios y de fuente propia. La actividad de la recopilación y análisis de la información existente básica se orientó particularmente en los aspectos de cartografía, información secundaria y análisis de las variables precipitación de los anuarios Hidrometeorológicos con series mayores de 16 años de las estaciones gobernadas por el IDEAM.

En lo que concierne a documentos e información secundaria se tienen los siguientes documentos:

- E.O.T. Toledo. Esquema de ordenamiento Territorial, 2000
- Concepto Técnico Sobre movimientos en masa que afectan al corregimiento de San Bernardo de Bata, Municipio de Toledo – Norte de Santander. INGEONIMAS, 2002.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible parques nacionales naturales de Colombia dirección territorial andes nororientales actualizado marzo 2013

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 6 de 28</p>

1.2.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Las estaciones utilizadas para el presente proyecto se relacionan en la Tabla 1.1, donde se utilizaron series continuas completas de 16 años. Se hace necesario mencionar que en el corregimiento de San Bernardo de Bata, no existe un cubrimiento con estaciones Hidrometeorológicas que permitan estudiar al detalle las variables climatológicas.

Tabla 1. 1. Estaciones Hidrometeorológicas utilizadas

Estación	Coordenadas		Elevación (msnm)	Código	Tipo	Entidad Operadora
	Norte	Este				
San Bernardo de Bata	7° 13' 36"	72° 26' 31"	1045	37020020	PM	IDEAM
Peña de los Micos	7° 11' 49.10"	72° 25' 29.20"	870	37027010	LG	IDEAM

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 7 de 28</p>

1.3. METODOLOGÍA

Para la realización del estudio hidrológico en el corregimiento de San Bernardo de Bata contempló los siguientes ítems:

- Se realizó el análisis de la información hidrometeorológica recopilada para la zona del proyecto, con el fin de determinar las variables involucradas dentro del estudio.
- Proyección de lluvia crítica y precipitación máxima en 24 horas, asociadas a diferentes periodos de retorno.
- Se realizó un análisis del índice de erosionabilidad de las lluvias, mediante la precipitación media mensual.
- Digitalización de planos con Isolíneas de variables proyectadas y analizadas.

1.3.1. METODOLOGÍA PARA PROYECCION DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS.

En esta sección se describen las metodologías utilizadas para el desarrollo del estudio hidrológico, la primera de ellas consiste en la proyección de precipitación máxima en 24 horas a partir de los registros de las estaciones pluviográficas y pluviométricas, aplicando un análisis estadístico a las series con diferentes distribuciones de probabilidad. Con el objeto de conocer el comportamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas y la lluvia crítica, las cuales se denominan como: lluvia acumulada en un periodo máximo de 24 horas y la lluvia crítica se define como la lluvia diaria acumulada que puede producir un deslizamiento.

Se analizaron las estaciones Hidrometeorológicas relacionadas en la Tabla 1.1 y fueron sometidas a una valoración estadística calculando media aritmética, desviación típica y coeficiente de asimetría. Posteriormente, los datos históricos de esta variable hidrológica aleatoria se ajustan a distribuciones probabilísticas de valores máximos conocidos y se calculan los valores de esta variable para diferentes periodos de retorno; las distribuciones probabilísticas usadas fueron la distribución de Gumbel, Normal, Log Normal y Log – Pearson Tipo III, las cuales se muestran en el Anexo A.

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 8 de 28</p>

1.3.2. METODOLOGÍA PARA EL ÍNDICE DE EROSIONABILIDAD

El análisis del índice de erosionabilidad o índice modificado de Fournier (IMF), se realizó mediante el uso de las precipitaciones mensuales totales de cada mes y la precipitación media anual, con el ánimo de relacionar las precipitaciones totales mensuales y su posible relación con la alteración del suelo, mediante la siguiente expresión.

$$IMF = \sum \left(\frac{p^2}{P} \right)$$

Donde:

- ✓ p : precipitación total (mm) del mes (Enero hasta Diciembre)
- ✓ P : precipitación total (mm) media anual

1.3.3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES (ICP)

El ICP se refiere a cómo se comportan las precipitaciones, en su cantidad anual, variación estacional y duración de la estación lluviosa en un año cualquiera. Es decir, está referido a si las precipitaciones de la época lluviosa, se encuentran concentradas sobre un periodo corto o más largo dentro del año analizado, para su obtención se dio uso a la ecuación propuesta por Oliver, 1980.

$$ICP_j = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{ij}^2}{P_j^2}$$

Donde:

- ✓ ICP_j : Índice de concentración de las precipitaciones para el año (%)
- ✓ P_{ij} : Precipitación del mes i en el año j (mm)
- ✓ P_j : Precipitación Anual del Año j (mm)

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		Versión 00 – Abril/2014
		INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS
		Página 9 de 28

1.3.4. METODOLOGÍA PARA LA PROYECCION DE LLUVIA CRÍTICA

Para la obtención de la lluvia critica asociada directamente con los fenómenos de remoción en masa se utilizó el documento “Development of a Methodology For Detection of Trigger – Landslide Rains” IDEAM, Mayorga 2003.

Mayorga (2003), propuso cuatro ecuaciones para hallar los umbrales de lluvia detonante con relación a los deslizamientos en Colombia, luego de acudir al método estadístico conocido como método de agrupación, regionalizó el territorio colombiano nacional en 4 grupos que comparten o difieren valores de lluvia acumulada, lluvia anual, duración y altitud. Para la obtención de la lluvia crítica se usaron las siguientes ecuaciones:

$$Ll_{crítica} = 51.42 + 0.4035 * Llanual$$

$$D_{crítica} = 3.2829 * Ll_{crítica}^{0.157}$$

$$Lleven = -0.3550 * Ll_{crí} + 525.6627$$

Donde:

- ✓ Llanual: Precipitación media mensual (mm)
- ✓ Dcrítica: Duración de la lluvia critica (días)
- ✓ Lleven: umbral de lluvia detonante para un deslizamiento

A continuación se mostraran los resultados de los diferentes ítems que se mencionaron.

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 10 de 28</p>

1.4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE PRECIPITACIÓN PARA EL CORREGIMIENTO DE SAN BERNARDO DE BATA

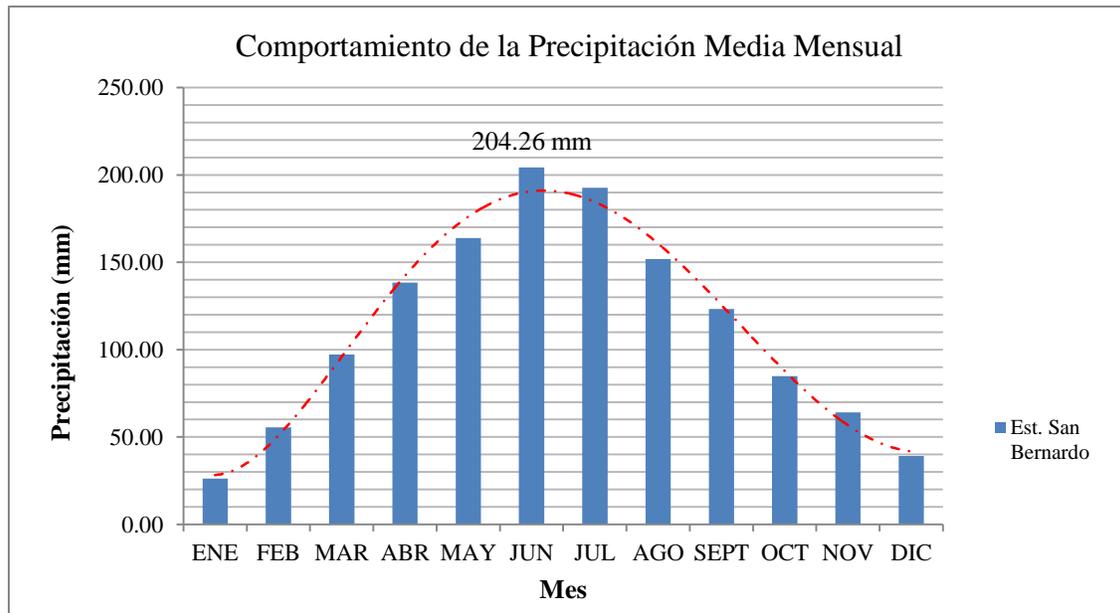
1.4.1. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

Una de las condiciones atmosféricas para una cuenca o sector de interés es la precipitación, ya que el conocimiento de la distribución espacial de las lluvias es fundamental para comprender los regímenes de la precipitación. Para el corregimiento de San Bernardo de Bata se realizó un análisis espacial mediante los registros pluviográficos de las estaciones PM relacionado en la Tabla 1.1, junto con los valores típicos de la precipitación del Municipio de Toledo. En el Anexo B (Isolíneas de precipitación media mensual total) se presente la distribución espacial de las lluvias para el sector de estudio.

Conforme con lo anterior se tiene que para el corregimiento de San Bernardo de Bata la precipitación media anual es de 1300.33 mm obtenido con registro histórico de 20 años. La distribución de la precipitación a través del año es de tipo monomodal, debido a la influencia climática de los Llanos Orientales, causada por los vientos Alisios del sureste.

En la Figura N° 1.1 se muestra el histograma de las precipitaciones multianuales para el sector de San Bernardo de Bata. Donde se aprecia el régimen monomodal, destacándose el mes de Junio y Julio como los meses más lluviosos del año, con una precipitación media anual máxima de 204.26 mm.

Figura N° 1. 1. Histograma de precipitaciones para San Bernardo de Bata



Dentro de la línea de tiempo de análisis para las precipitaciones medias anuales sobresalen los años; 1996, 2006, 2007 y el años 2011, donde las lluvias medias anuales registraron valores históricos máximos. En la Tabla 1.2, se presentan los registros.

Tabla 1. 2. Valores históricos máximos de Precipitación media anual

Año	Mes	Precipitación Media Anual (mm)
1996	Junio	332
2006	Junio	254
2007	Junio	284.2
2011	Mayo	225.3
2011	Junio	220.1

1.4.2. ANALISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Con el ánimo de relacionar la precipitación como un posible agente responsable del fenómeno de remoción en masa, se considera la influencia de las lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos con las precipitaciones máximas en 24 horas y los meses del año que poseen mayor frecuencia. Para ello se considera la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, aplicando la distribución de valores extremos de; Gumbel, Normal, Log Normal y Log Pearson III, usando series históricas con más de 16 años de registro.

A continuación, se muestra en la Tabla 1.3 los valores de periodos de retorno para las lluvias máximas en 24 horas, las cuales tienen mayor importancia para la predicción y relación con los fenómenos de remoción en masa. En el Anexo C se muestran las tablas de distribución para los valores extremos de la estación utilizando (San Bernardo de Bata)

Tabla 1. 3. Valores históricos máximos de Precipitación media anual

Estación San Bernardo de Bata (1992 - 2012)					
Distribución	Tr (Años)				
	5	10	25	50	100
*GUMBEL	73.2795	89.4	109.7	124.7	139.7
NORMAL	71.5039	81.5	92.14	99.02	105.2
LOG-NORMAL	65.0293	75.1	87.6	96.74	105.8
LOG-PEARSON III	61.7665	76.1	99.34	121.1	147.4
* Seleccionada					

En este orden de ideas y considerando lo señalado por Hauser (1985) respecto a la interdependencia entre la generación de flujos y precipitaciones intensas, se tiene que 60 mm en 24 horas es un valor de precipitación intensa. En consecuencia se observa que la frecuencia en que tarda en manifestarse una precipitación igual o superior a 60 mm en 24 Hrs, para la zona de San Bernardo de Bata es de aproximadamente de 2.7 años, con una probabilidad de ocurrencia de 37%.

En la Figura N° 1.2, se presenta los Tr con relación a la lluvia crítica, junto con la Figura N° 1.3 que presenta los eventos máximos históricos de las precipitaciones máximas en 24 horas, donde se observa que en el mes de agosto de 1996 se presentó el evento máximo en los últimos 20 años con una precipitación máxima de 140 mm en 24 hr, lo cual obedece al Tr de 100 años.

Figura N° 1. 2. Tr para las precipitaciones Máx. en 24 Hr para San Bernardo de Bata

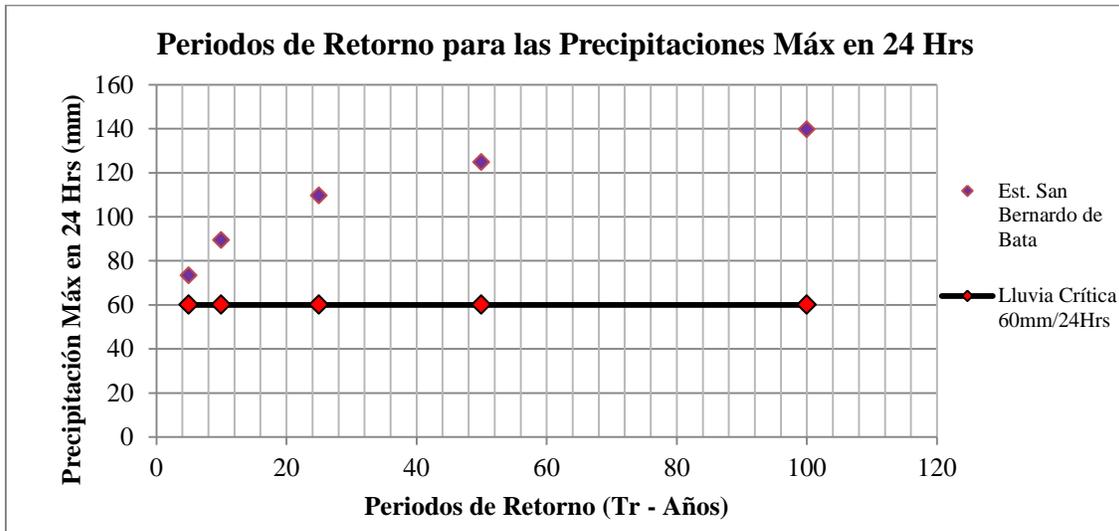
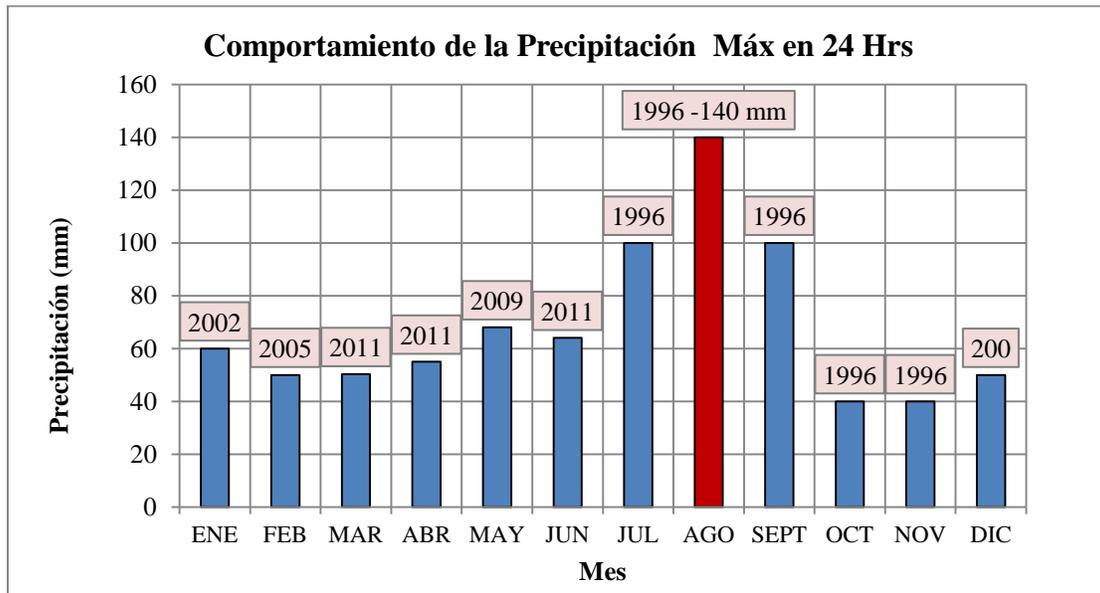


Figura N° 1. 3. Comportamiento Historio de los Eventos máximos de las precipitaciones Máx 24 hrs para San Bernardo de Bata



1.4.3. ANALISIS DE LA LLUVIA CRÍTICA (RELACIÓN LLUVIA DESLIZAMIENTO)

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los procesos de remoción en masa, debido a que la mayoría de estos fenómenos ocurren después de largos períodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede infiltrarse a través de ella. El primero de estos dos procesos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde la cobertura vegetal de insuficiente y con altos grados de erosión; el segundo, produce susceptibilidad al deslizamiento, especialmente en taludes con presencia de surcos y/o cárcavas que ayudan a una fácil infiltración del agua en el terreno. En consecuencia se mostraran algunos efectos que puede producir la presencia del agua en una masa de suelo determinada:

- ✓ Incrementa la presión de poros y por consiguiente disminuye los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 15 de 28</p>

- ✓ Origina presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.
- ✓ Produce fuerzas hidro-dinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie de un talud o ladera.
- ✓ Reduce la resistencia del material (ablandamiento).
- ✓ Acelera la meteorización.
- ✓ Produce erosión interna.
- ✓ Incrementa el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad de un talud o una ladera es agravado por la ocurrencia de las lluvias durante varios días consecutivos, o con pocos días de diferencia. Esto es debido a que el suelo no ha logrado drenar el agua infiltrada e inmediatamente ocurre la siguiente lluvia, produciendo acumulación progresiva de agua hasta alcanzar umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o de toda la masa del suelo

Para el corregimiento de San Bernardo de Bata se realizó un análisis estadístico global no detallado en cuanto a la relación Lluvia – Deslizamiento, debido a la falta de una base de datos con inventario o seguimiento detallado de los fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio. Con base en lo anterior, se decidió utilizar las ecuaciones descritas en el numeral 1.3.4 (*Mayorga, 2003*) para determinar la relación Lluvia – Deslizamiento. Se hace necesario mencionar que en la actualidad existen varias metodologías que permiten determinar la relación lluvia – deslizamiento, entre las cuales se tienen autores como; Vásquez (2008) el cual presenta algunos umbrales de intensidad-duración que se han estudiado en las dos últimas décadas, Cuadros y Siza (2003) en Manizales, Guzzetti et al. (2005) para el programa europeo RISK AWARE, Giannecchini (2005) en Toscana (Italia) y Hong et al. (2006) sobre la misión NASA – TRMM. Sin embargo para el caso del presente estudio se adoptaron las ecuaciones anteriormente mencionadas. En la Tabla 1.4 se presentan el resultado de la lluvia crítica para San Bernardo de Bata, donde el mes que tiene mayor probabilidad de presentarse es el mes de Junio, según los registros históricos de los últimos 20 años.

Tabla 1. 4. Valores de Lluvia critica

Sector	Constante de Lluvia	Constante de Duración	Lluvia Anual (mm)	Lluvia Crítica (mm)	Duración (días)
San Bernardo de Bata	0.4035	3.2829	1300.33	576.10	8.91

1.4.4. LLUVIAS EROSINABLES PARA EL SECTOR DE ESTUDIO

Con el ánimo de relacionar las Precipitaciones Totales Mensuales, con la frecuencia de erosividad que pueden tener estas precipitaciones, se determinaron los índices de agresividad del clima y la concentración de las precipitaciones de la siguiente manera.

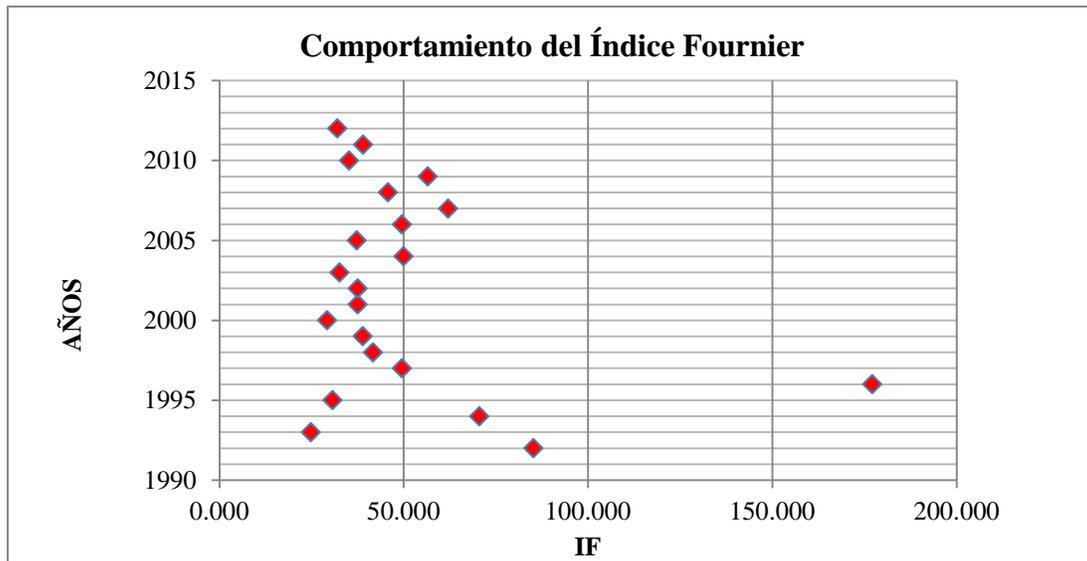
1.4.4.1. Cálculo del índice de Fournier (IF)

Fournier (1960), establece el IF como un indicador de agresividad climática, el cual permite describir el efecto del proceso erosivo de las precipitaciones, mediante una relación de la precipitación máxima anual con el promedio anual de los años analizados. En la Tabla 1.5 se presentan la clasificación del IF y en la Figura N° 1.4 se presentan los índices de Fournier para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Tabla 1. 5. Clasificación del índice de Fournier (IF)

Clase	IF Adaptado	Descripción de la agresividad
1	15<	Muy Baja
2	16-30	Baja
3	31-50	Moderada
4	51-65	Alta
5	>65	Muy Alta

Figura N° 1. 4. Índices de Fournier - IF (1992 -2012)



Con lo presentado en la Figura N° 1.4, se aprecia que los efectos de erosión producidos por las precipitaciones medias mensuales, presentan una tendencia de agresividad moderada, con un evento asilado en el año 1996 con in IF de 177.186, es decir una agresividad muy alta clase 5.

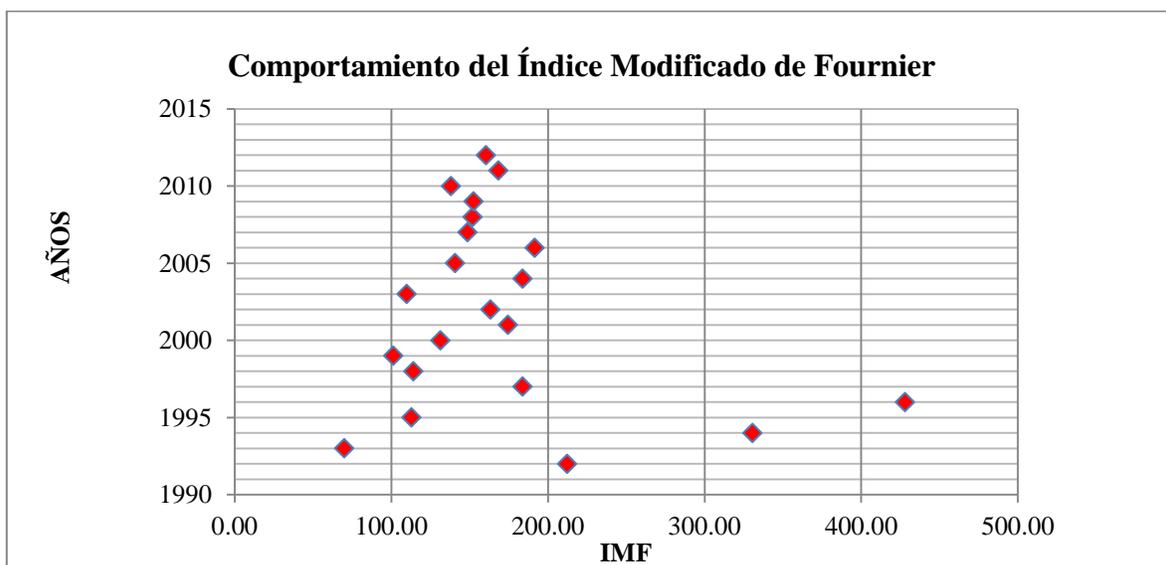
1.4.4.2. Cálculo del Índice Modificado de Fournier (IMF)

Para el cálculo del IMF se adoptó lo propuesto por Arnoldus (1980) el cual propuso una corrección del Índice de Fournier (IF) en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación de una mejor manera. En la Tabla 1.6 se presentan la clasificación del IMF y en la Figura N° 1.5 se presentan los índices de Fournier para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Tabla 1. 6. Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)

Clasificación del índice Modificado de Fournier (IMF)		
0	60	Muy bajo
60	90	Bajo
90	120	Moderado
120	160	Alto

Figura N° 1. 5. Índices de Fournier IF - (1992 -2012)



Conforme con los resultados presentados se aprecia que los efectos de erosión producidos por las precipitaciones medias mensuales, presentan una tendencia de agresividad alta, donde se tiene un promedio del IMF 170.01. No obstante la zona de San Bernardo tiene una denominación de precipitación seca medianamente húmeda (IDEAM, et al, 2007)

1.4.4.3. Cálculo del Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

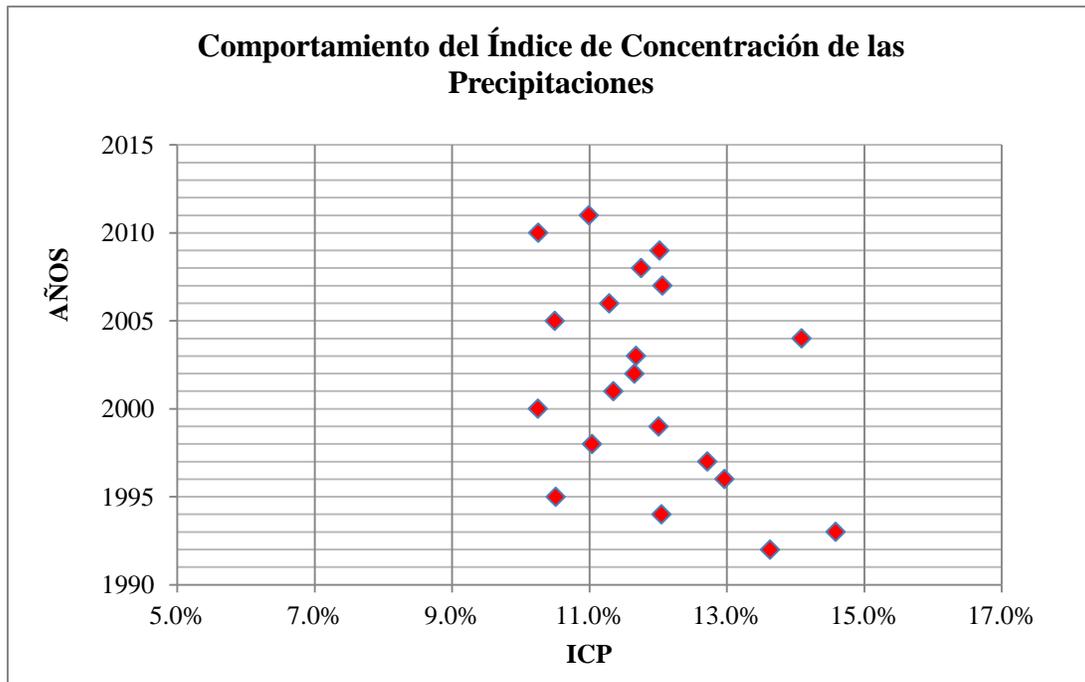
El valor de ICP reviste un gran interés, por la incidencia de la precipitación sobre la erosión del suelo, que genera una dinámica más activa cuanto mayor es la concentración en la temporada de lluvias. El ICP se refiere a cómo se comportan las precipitaciones, en su cantidad anual, variación estacional y duración de la estación lluviosa en un año cualquiera. Es decir, está referido a si las precipitaciones de la época lluviosa, se encuentran concentradas sobre un periodo corto o más largo dentro del año tal como fue propuesto por Oliver (1980). En la Tabla 1.7 se presentan la clasificación del ICP y en la Figura N° 1.6 se presentan el índice de concentración de las precipitaciones para los últimos 20 años en San Bernardo de Bata.

Conforme con lo anterior se tiene un Índice de concentración de precipitaciones modernamente estacional para las precipitaciones que se presentan en San Bernardo de Bata, es decir que la variación de la precipitación es moderadamente similar a lo largo del año, en términos de concentración.

Tabla 1. 7. Clasificación del ICP

<p>Clasificación del índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP)</p>		
8.3	10	Uniforme
10	15	Moderadamente Estacional
15	20	Estacional
15	50	Altamente estacional

Figura N° 1. 6. Índices ICP - (1992 -2012) para San Bernardo de Bata.



<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 21 de 28</p>

1.5. MORFOLOGIA Y CAUDALES DE LA CUENCA MARGUA.

1.5.1. Morfología

La cuenca del Margua tiene su nacimiento en la confluencia de los ríos Chitagá y Valegrá en el municipio de Toledo a 12 Km aproximadamente de San Bernardo de Bata. Esta cuenca hace parte del parque natural Tamá, la cuenca se localiza en la Cordillera Oriental, en el extremo sur Oriental del departamento de Santander.

Los afluentes principales de la cuenca son; los ríos Colorado, Culagá, Chitagá, Saraito y Talco. En este sentido la cuenca hace parte de la gran cuenca del Río Arauca, la cuenca Margua posee un área aproximada de 3142.18 Km² y longitud de cauce principal de 101.41 Km. En la Tabla 1.8, se presentan las características principales de la cuenca en mención.

Tabla 1. 8. Características Morfométricas de la cuenca del río Margua

Características de la cuenca	
Área	3142.18 Km ²
Perímetro	328.93 km
Longitud del cauce principal	101.41 km
Cota Máxima	4000 msnm
Cota Mínima	500 msnm
Pendiente media	3.5%
Orden de drenaje	III
Índice de Gravelius	1.65

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 22 de 28</p>

1.5.2. Caudales de la Cuenca Margua.

Con el objeto de conocer el comportamiento de los caudales máximos presentados en el Río Margua a la altura del casco urbano de San Bernardo de Bata, se obtuvieron los registros de caudal de la estación limnigráfica Peña de los Micos, para ser sometidos a una valoración estadística calculando media aritmética, desviación típica y coeficiente de asimetría. Posteriormente, los datos históricos de esta variable hidrológica aleatoria se ajustaron a distribuciones probabilísticas de valores máximos conocidos y se calculan los valores de esta variable para diferentes periodos de retorno usando las distribuciones probabilísticas de: Gumbel, Normal, Log Normal y Log – Pearson Tipo III (Ver Anexo A)

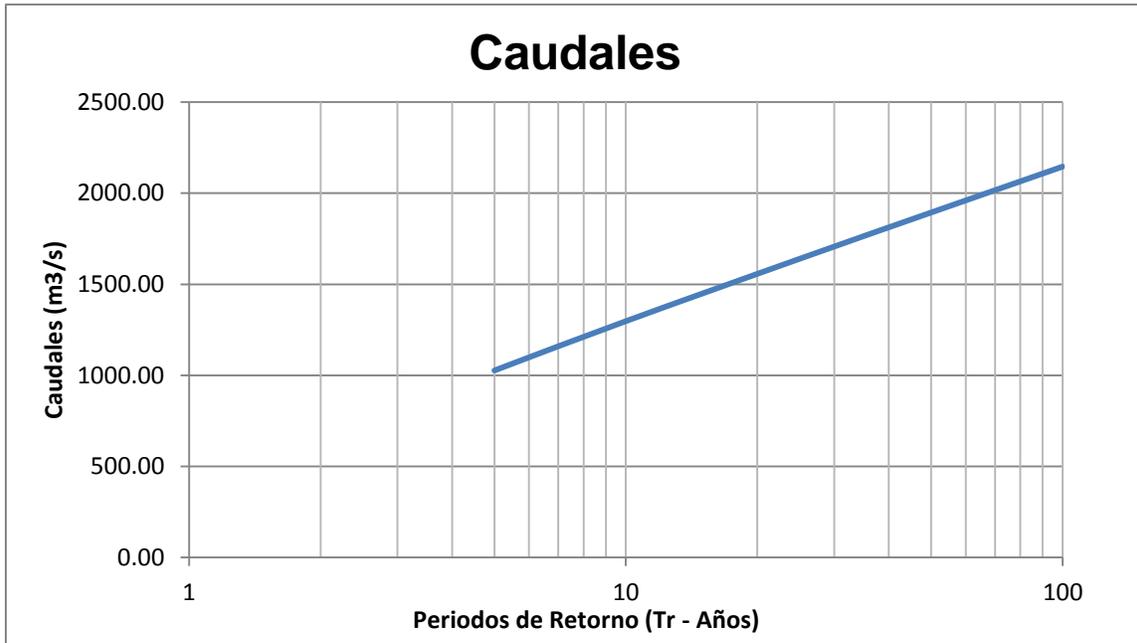
Conforme con lo anterior en la Tabla 1.9, se presentan los diferentes periodos de retorno para los caudales de la cuenca del río Margua a la altura del casco urbano de San Bernardo de Bata.

Tabla 1. 9. Proyección de Caudales

DISTRIBUCIÓN	Tr [Años]				
	5	10	25	50	100
GUMBEL*	1026.48	1297.43	1639.78	1893.75	2145.85
NORMAL	1021.07	1199.50	1389.72	1512.56	1623.04
LOG-NORMAL	974.20	1288.23	1735.21	2103.27	2500.50
LOG-PEARSON III	981.80	1197.22	1436.83	1592.60	1730.78
* Seleccionada					

Para la cuenca del río Margua se obtuvo un caudal máximo histórico de 1826.8 m³/s, presentado en 1974 del mes de mayo. En la Figura N° 1.7, se presenta los caudales para diferentes periodos de retorno.

Figura N° 1. 7. Caudales Proyectados para el Río Margua.



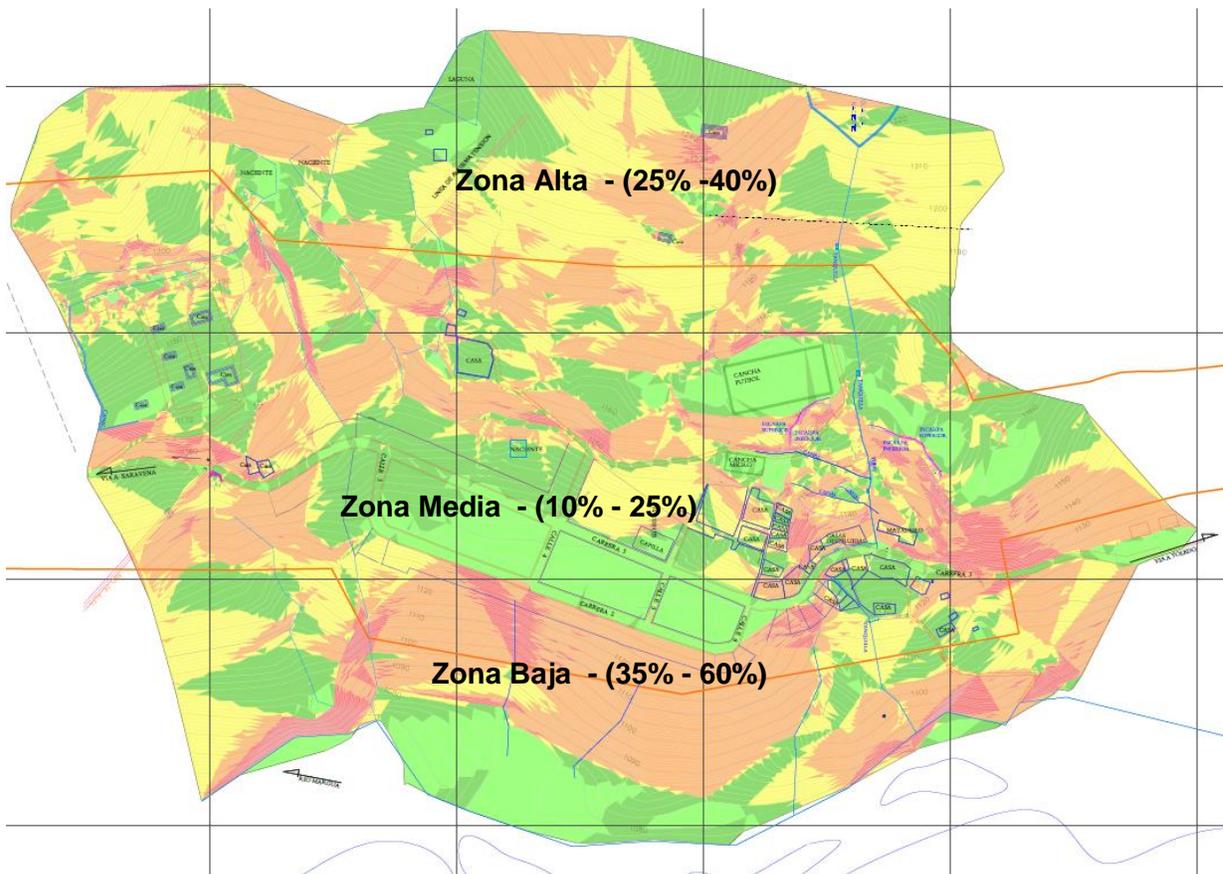
1.6. COEFICIENTES DE ESCORRENTIA

El coeficiente de escorrentía “C”, transforma la lámina de agua en el caudal pico y su valor depende de elementos como; tipo de suelo, cobertura, pendiente del terreno y otros factores. En este sentido para el sector de estudio se obtuvo el coeficiente de escorrentía con base en los resultados de la exploración del subsuelo realizada, donde se encontró un horizonte en los primeros 3.50 metros de exploración un tipo de suelo con material arenoso de color café, que presenta gravas de arenisca y fragmentos de roca con vetas de oxidación de color negro, humedad baja y con una consistencia media.

San Bernardo de Bata presenta en su cobertura terrenos dedicados principalmente a cultivos de pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Igualmente comprende áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas heterogéneas las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. En la parte alta y media del casco urbano de Bata se presenta aproximadamente un 75% de

cobertura de pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados. En consecuencia de la cobertura de San Bernardo de Bata se definieron tres valores de coeficientes de escorrentía en función de la pendiente y la cobertura de suelo. En la Figura N° 1.8, se aprecian las pendientes del sector de estudio, así mismo se definieron para el cálculo de “C”, tres zonas en función de su pendiente.

Figura N° 1. 8. Zonas de Pendientes de San Bernardo de Bata



MAPA DE PENDIENTES			
Numero	Pendiente Minima	Pendiente Maxima	Color
1	0.00%	10.00%	■
2	10.00%	25.00%	■
3	25.00%	35.00%	■
4	35.00%	60.00%	■
5	60.00%	Vertical	■

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 25 de 28</p>

En este orden de ideas en la Tabla 1.10 y Tabla 1.11, se presentan los resultados obtenidos para las Zonas definidas en el sector de estudio.

Tabla 1. 10. Zonas para San Bernardo de Bata

ZONA	Pendiente Promedio	Cobertura	Textura del Suelo
Zona Alta	32.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados	Franco Arenosa
Zona Media	17.5	1.1.2: Tejido Urbano Discontinuo	
Zona Baja	47.5	2.3.1: Pastos limpios con alguna presencia de pastos enmalezados	

Tabla 1. 11. Coeficientes de escorrentía "C"

ZONA	Tr (Años) - Coeficiente de escorrentía "C"				
	2	5	10	25	50
Zona Alta	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49
Zona Media	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52
Zona Baja	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 26 de 28</p>

1.7. CONCLUSIONES

- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró una lluvia crítica de 576.10 mm, para una duración de 8.91 días, la cual puede causar o generar un fenómeno de remoción en masa
- ✓ Como relación Lluvia – Deslizamiento se encontró un umbral de precipitación de 321.15 mm, como una precipitación causante de un deslizamiento de carácter rotacional.
- ✓ San Bernardo de Bata presenta lluvias que son altamente agresivas con el suelo y son potencialmente erosionables, por lo cual se tendrá que relacionar las lluvias y la cobertura suelo para verificar el nivel de erosionabilidad del sector de estudio
- ✓ Se encontró que el mes de Junio y Julio presentan la más alta precipitación durante el año, que sobrepasa 100 mm mensuales.
- ✓ Debido a la deficiencia de instrumentación en la zona de estudio, no se puede realizar un análisis más detallado con la relación de fenómenos de remoción en masa.
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró una tendencia de agresividad alta, donde se tiene un promedio del Índice Modificado de Fournier (IMF) de 170.01
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró un Índice de concentración de precipitaciones modernamente estacional, es decir que la variación de la precipitación es moderadamente similar a lo largo del año, en términos de concentración.
- ✓ Para el sector de San Bernardo de Bata, se encontró un “C” de 0.40 con un Tr de 5 años, para una pendiente de 32.5%, la cual predomina en mayor porcentaje

<i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i>		Versión 00 – Abril/2014
		INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS
		Página 27 de 28

sobre el área de estudio. Esto puede significar que un porcentaje cercano al 60% se puede llegar a infiltrar y un 40% se convertirá en escorrentía superficial.

<p><i>ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN SAN BERNARDO DE BATA</i></p>		<p>Versión 00 – Abril/2014</p>
		<p>INFORME V0 DE ASPECTOS HIDROLÓGICOS</p>
		<p>Página 28 de 28</p>

1.8. BIBLIOGRAFIA

- ✓ Arnold, H.M. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En De Boodt. M. and Gabriels, D. (Eds.). Assessment of Erosion. John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, Uk.
- ✓ Ven Te, Chow, Maidment David, Ways Larry, 1994. Hidrología Aplicada.
- ✓ Schwab, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, T.W.. “Ingeniería de conservación de suelos y aguas”, Ed. Limusa, 570 pp.
- ✓ “Development of a Methodology For Detection of Trigger – Landslide Rains” IDEAM, Mayorga 2003.
- ✓ Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, IDEAM 2010.

1.9. ANEXOS

- ✓ Anexo A: Metodología de distribuciones de Probabilidad
- ✓ Anexo B: Isolíneas de Precipitación Media Anual
- ✓ Anexo C: Valores Extremos de la Estación San Bernardo
- ✓ Anexo D: Valores Extremos de la Estación Peña de los Micos.