APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) A UNA CUENCA DE MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MURCA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

DIPLOMADO SIG Y SENSORES REMOTOS APLICADOS A RECURSOS HÍDRICOS

SERGIO ANDRÉS LAVAO PASTRANA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2014

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) A UNA CUENCA DE MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MURCA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Sergio Andrés Lavao Pastrana[1], Jorge Luis Corredor Rivera[2]

Resumen — En este estudio se propone una la aplicación de la teoría de la Curva Número en la cuenca del río Murca, para la obtención de la oferta hídrica en el río Murca la cual es una subcuenca del río Negro. Para el desarrollo del estudio se utilizará de manera integrada los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten trabajar con datos como lo son el tipo de suelo, precipitación y cobertura vegetal que se den en una misma localización geográfica.

Palabras Clave: CN, SIG, Precipitación, Caudal, Sensores Remotos.

Abstract — This project aim an application of numeric curve on Murca river Basin, for getting an hydric offer of Murca´s River which is a sub basin of Río Negro. To develop this project will be necessary use integrated Geography Information System (GIS), all of this allows working with data as; soil types, precipitation and vegetation cover that could turn up in a same geographical location.

Key words: CN,SIG, precipitation, flow , remote sensor.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ponen a disposición un modo de administración y visualización de los recursos naturales y de bases de datos en centros urbanos, de los cuales se pueden analizar y evaluar las amenazas a las que se ven ciertas áreas influencias por los recursos naturales, esto con el fin de evaluar los casos de riesgo a los que podría llegar a ser afectado el sector urbano o rural mediante SIG.

El método del número de curva (CN)[3] (Ven Te, 1984) fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad.

La metodología del número de la curva (CN), es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. La representación gráfica de la profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe), permitió obtener una familia de curvas que fueron estandarizadas a partir de un número adimensional de curva CN, que varía de 1 a 100, según sea el grado del escurrimiento directo. Así un número de la curva CN = 100, indica que toda la lluvia escurre y un CN = 1, indica que toda la lluvia se infiltra.

II. METODOLOGÍA

El presente estudio se basó en la identificación de de las coberturas terrestres para la cuenca del río Murca, mediante la utilización de sensores remotos específicamente mediante la utilización de LANSADT 5 y 8.

Las Imágenes Landsat se componen de siete bandas diferentes, cada una representa una porción diferente del espectro electromagnético. (Biodiversity Informatics & Geospatial Innovation Facilities, 2008)

Una vez identificada la cobertura de suelos se procedió a la aplicación de la teoría del Número de Curva mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica.

A. CURVA NÚMERO

Para el cálculo de la precipitación efectiva, un procedimiento utilizado, es el que se basa en el método propuesto por el Soil Conservation Service – SCS; para la formulación del método

[1] Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada

[2] Profesor Asociado Univerdidad Militar Nueva Granada

[3] Chow, Ven Te., "Handbook of Applied Hydrology", McGraw Hill Book Company, 1984.

del número de curva , la altura de precipitación efectiva o escorrentía directa Pe es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a alguna retención potencial máxima S.

Existe una cierta cantidad de precipitación Ia (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego de eso, la escorrentía potencial es la diferencia entre P e Ia.

La metodología del Número de Curva considera como variables en su determinación:

- La precipitación, representada en este caso por la precipitación para un período de tiempo previamente seleccionado.
- El complejo de suelo - hidrológico que considera la interrelación suelo - cobertura vegetal.
- La condición de humedad antecedente; de acuerdo con estas variables se fija un número de curva (CN) que representa tal interrelación.

Esta metodología fue originalmente propuesta para la evaluación de la precipitación neta que podría generar una tormenta (Monsalve Sáenz, 1995), considerando el volumen de precipitación antecedente en un periodo de 5 a 30 días, con la finalidad de establecer el escurrimiento directo que puede esperarse como respuesta a una precipitación especifica.

Según este procedimiento, la escorrentía directa (Q) o precipitación efectiva, se expresa mediante la ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$ **Ecuación No. 1**

Donde:

Q: Es la escorrentía directa o precipitación efectiva, en pulgadas.
P: Es la precipitación considerada, en pulgadas.
S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial.

Los estudios empíricos realizados por el SCS (Montserrat, Joaquín , & Teodoro, 1995) permitieron relacionar la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia, denominado número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre o y 100.

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$ **Ecuación No. 2**

Donde:

CN: Número de Curva
S: Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial. (pulgadas)

B. PARÁMETROS DEL MODELO

1) Condición de humedad antecedente

Un factor importante a tener en cuenta en estas curvas son las condiciones antecedentes de humedad (Antecedent Moisture Conditions), las cuales se agrupan en tres condiciones básicas

Tabla No. 1 Condiciones antecedentes de humedad básicas empleadas en el método SCS

AMC (I)	Condiciones secas
AMC (II)	Condiciones Normales
AMC (III)	Condiciones Humedas

Los números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales, y se establecen las siguientes relaciones para las otras dos condiciones

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$ **Ecuación No. 3**

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{0.13CN(II)}$$ **Ecuación No. 4**

Tabla No. 2 Rangos[4] para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 dias (pulg)	
	Estacion Inactiva (seca)	Estacion activa (de crecimiento)
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	sobre 1.1	sobre 2.1

[4] Chow, Ven Te., "Handbook of Applied Hydrology", McGraw Hill Book Company, 1984.

Condición I: Suelo seco; No aplicable a crecida de proyecto; Caudales chicos. Los suelos en la cuenca están secos, pero no hasta el punto de marchitamiento, cuando se aran o se cultivan bien. Esta condición no se considera aplicable al cálculo para determinar la avenida de proyecto porque resulta caudales chicos.

Condición II: Suelo medio; Asociado a crecidas anuales o promedios. Los suelos en la cuenca, se encuentran en estado de humedad normal.

Condición III: Suelo húmedo; Crecidas máximas; Caudales grandes. Los suelos en la cuenca se encuentran en estado muy húmedo, esto se presenta cuando ha llovido mucho o poco y han ocurrido bajas temperaturas durante los cinco días anteriores a la tormenta, y el suelo está casi saturado. Los números de curva han sido tabulados por el Servicio de Conservación de Suelos en base al tipo y uso de suelo.

2) Tipo suelo hidrológico

La determinación del tipo de suelo hidrológico se establece en términos de dos variables principales:

- El tipo de suelo mediante el cual se fijan las condiciones de infiltración subsuperficial incidente en la escorrentía superficial en forma directa y por tanto la condición hidrológica del suelo se ajusta a los conceptos de tipo agrológico.

- La cobertura vegetal, según la cual las plantas también ejercen una fuerte influencia en la escorrentía directa no solamente en su interpretación hipotética de un coeficiente de escorrentía sino también en la capacidad de planta para absorber agua en los periodos húmedos.

Esta interacción permite determinar en forma empírica una primera aproximación al valor del CN para las condiciones hidrológicas promedio a nivel local.

En función del tipo de suelo se definen cuatro grupos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento y marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

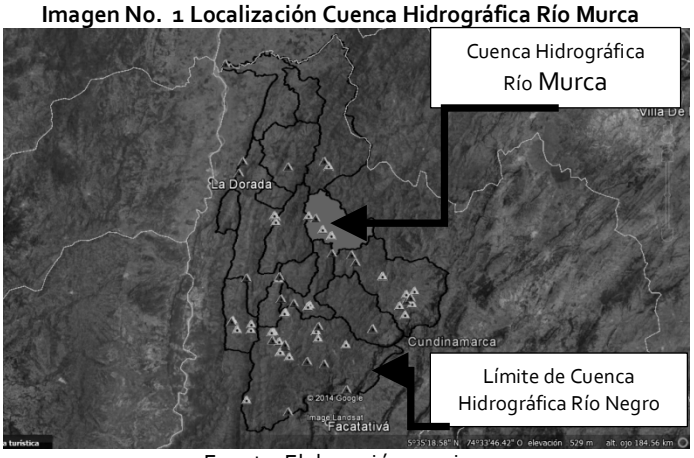
3) Precipitación

Convencionalmente en esta metodología se utiliza el valor de precipitación de corta duración, es decir tormentas, con el objetivo de evaluar crecientes o caudales máximos para el diseño de diferente tipo de obras hidráulicas. En este proyecto su aplicación se hace con valores de precipitación total mensual con la finalidad de obtener el valor de la escorrentía efectiva que permita determinar la oferta hídrica para la cuenca del río Negro, la cual a su vez contiene la cuenca del río Murca, así mismo se realizó el análisis para una precipitación de corta duración, con el objetivo de evaluar crecientes o caudales máximos instantáneos producidos en la cuenca del río Murca para distintos periodos de retorno.

III. CUENCA DEL RÍO MURCA

La cuenca del río Murca, la cual se encuentra en el costado oriental de la hoya hidrográfica del río Negro (verImagen No. 1), es una hoya hidrográfica de alta montaña, por esta razón y ante el fenómeno de la niña ocurrido en los años 2010 y 2011, en los cuales se agudizó el problema de inundaciones y desbordamientos de diferentes ríos en el departamento de Cundinamarca, se hace necesario un estudio hidrológico mediante la aplicación de la teoría del número de curva (CN), con el fin de analizar e identificar los caudales máximos probables para distintos periodos de retorno; esta identificación se realizará mediante la utilización de sistemas de información geográfica con la ayuda de la herramienta HEC Geo-HMS.

Imagen No. 1 Localización Cuenca Hidrográfica Río Murca



Fuente: Elaboración propia.

IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL NUMERO DE CURVA EN LA CUENCA DEL RÍO MURCA PARA LA OBTENCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA A NIVEL MENSUAL

A. GENERACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA TERRESTRE

Los sensores remotos incluyen una serie de técnicas y procesos que permiten obtener una imagen de la superficie terrestre de forma remota, es decir captada por sensores situados en satélites o aviones, y posteriormente tratarla e

interpretarla con el objetivo de obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios, teniendo en cuenta que esta información:

- Es global, abarcando grandes áreas con buena resolución espacial
- Es objetiva, pues se recoge mediante sensores calibrados
- Es periódica, pues se recoge incluso varias veces al día
- Es digital, por tanto, susceptible de tratamiento informático[5]

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta el tipo de energía que utilice el sensor para iluminar los objetos, fuente natural o emisión propia, se definen si son pasivos o activos.

En este caso se analizara el sensor pasivo Landsat, el cual hacia el año 1972, la NASA, empleando como vector portador al cohete Thor-Delta, lanza el primero de una serie de satélites diseñados para proveer una cobertura global y repetitiva de la superficie de la Tierra. Designado inicialmente como el "Earth Resources Technology Satellite-A" ERTS-A, y usando una plataforma tipo Nimbus que fue modificada para transportar los sistemas del sensor y el equipo transmisor de datos, el satélite se colocó en órbita subpolar[6] .

Este satélite ha permitido obtener información que se ha podido emplear en diferentes áreas, uno de ellos es la hidrología, ya que a través de las imágenes de alta resolución arrojadas por este satélite, se puede realizar el estudio de cuencas, análisis del drenajes, determinación de riesgos por inundación entre otros análisis que son fundamentales para comprender los procesos naturales de la tierra.

El uso de las imágenes de alta resolución espacial (30 x 30 metros de tamaño medio de píxel, y baja resolución temporal[7]) obtenidas con el satélite LANDSAT 5 y 7 han sido usadas para determinar el uso del suelo es decir para realizar análisis de cultivos, áreas de bosques y realizar análisis de la productividad y variabilidad de estos cultivos dentro de una área específica. Otro de los análisis que se han podido realizar a partir de estas imágenes, ha sido la determinación del uso de recursos naturales en lo que se ha analizado el estado de represas, deforestación de bosques, definición de áreas inundadas o con riesgo de inundación y realizar el seguimiento a estas zonas. Adicionalmente se pueden realizar estudios de variabilidad determinando áreas a nivel predial y determinar los riesgos, amenazas y vulnerabilidades que se pueden presentar en el área que se está analizando.

Sin embargo desde el lanzamiento de estos satélites se han obtenido información muy importante de la superficie de la tierra, con lo que actualmente se completa una biblioteca de 40 años colección de imágenes, que no solo la información que se acaba de explicar sino una infinidad de aspectos de la superficie de la tierra que permite registrar cuales han sido los principales cambios y recursos que se han ido agotando, así como la determinación de cuencas de ríos con una mayor precisión que con la que se contaba antes, esto debido a la calidad de las imágenes satelitales.

Como se mencionó anteriormente se utilizaron imágenes satelitales para la identificación de coberturas terrestres, es importante indicar, que para la selección de tales imágenes se tuvo en cuenta que en la zona de estudio tuviera un porcentaje de nubes y sombras mínimo, esto con el fin de identificar la totalidad de cobertura vegetal en la cuenca del río Murca.

En la Tabla No. 3 se encuentra en resumen las imágenes satelitales identificadas para el análisis de coberturas terrestres en la cuenca del río Murca.

Tabla No. 3 Imágenes Satelitales Identificadas para la Zona de Estudio

IMAGEN SATELITAL	
NOMBRE	FECHA
LANSADT 5	
LT50080562007254CHM00	11-sep-07
LT50080562001045XXX01	14-feb-01
LT50080562001029XXX01	29-ene-01
LT50080562000155XXX02	03-jun-00
LT50080561998181XXX02	30-jun-98
LT50080561998133AAA02	13-may-98
LT50080561998005CPE00	05-ene-98
LT50080561997322CPE00	18-nov-97
LT50080561996256AAA01	12-sep-96
LT50080561991226AAA03	14-ago-91
LT50080561991162XXX03	11-jun-91
LANSADT 8	
LC80080562014145LGN00	25-may-14
LC80080562014081LGN00	22-mar-14
LC80080562013206LGN00	25-jul-13

Finalmente y debido a la gran cantidad de nubes existentes en las demás imágenes satelitales se escogieron las imágenes presentadas en la Tabla No. 4 e Imagen No. 2.

[5] Tomado de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/web/dependencia/?itpad=0&niv=0&itact=1425&ti=false&dep=33

[6] Tomado de http://www.efn.uncor.edu/otros/foto/s_remotos.htm

[7] Tomado de http http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807175808.pdf

Tabla No. 4 Imágenes Satelitales Seleccionadas Para el Análisis de la Cuenca del Río Murca.

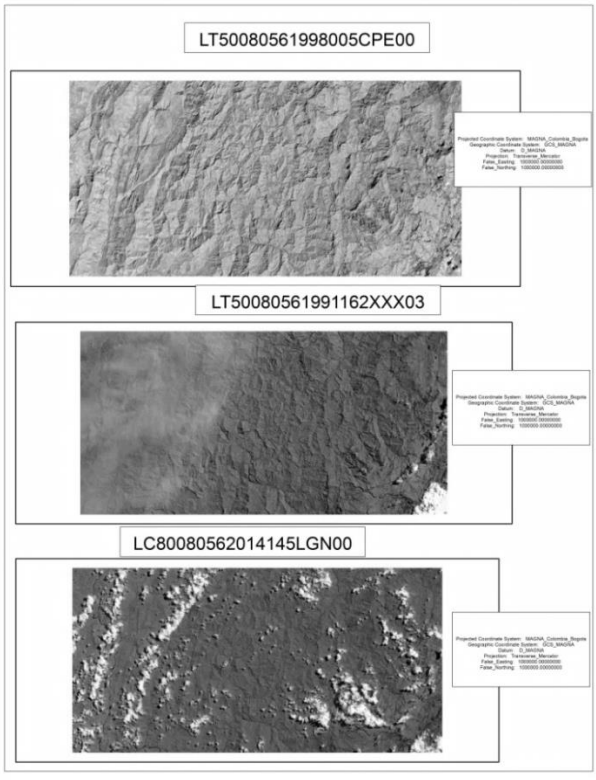
IMAGEN SATELITAL	
NOMBRE	FECHA
LT50080561998005CPE00	05-ene-98
LT50080561991162XXX03	11-jun-91
LC80080562014145LGN00	25-may-14

Se debe tener en cuenta que una imagen Landsat abarca un área aproximada de 32400 Km², por cual fue necesario realizar la identificación de cobertura terrestre en un área de 2450 Km², estás áreas están representadas en la Imagen No. 2.

Para el presente estudio se realizó la clasificación de coberturas terrestres de manera supervisada, esta manera de clasificación es más autodidacta y necesario tener experiencia para la identificación de las clase de cobertura existente en la Imagen.

Este tipo de clasificación como se mencionó anteriormente requiere de un conocimiento previo de la zona y depende de las habilidades del especialista y del esfuerzo en el muestreo, en el proceso de reconocimiento de las coberturas existentes en la zona.

Imagen No. 2 Imágenes Satelitales Seleccionadas Para el Análisis de la Cuenca del Río Murca.



1) Clases de Coberturas Muestreadas

Para el presente estudio se identificaron s5 tipos de cuberturas adicional a esto también se identificó dos tipos de obstrucciones las cuales son las Nubes y las Sombras.

En conclusión los tipos de coberturas clasificados son los siguientes:

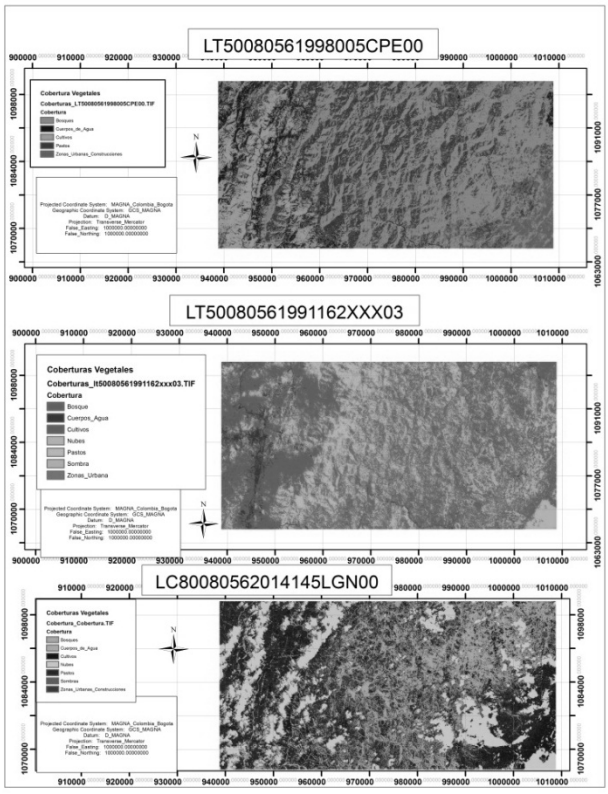
- Bosque
- Cuerpos de agua
- Cultivos
- Pastos
- Zonas urbanas y/o construcciones

Es importante mencionar que para los polígonos de entrenamiento de cada imagen, las áreas de entrenamiento deben fueron homogéneas, estas áreas fueron uniformes son y aisladas a otros tipo de cobertura vegetal.

2) Resultados

Una vez identificados los polígonos de entrenamiento se procedió a la generación de las firmas espectrales y reconocimiento de las coberturas existentes en cada una de las imágenes satelitales escogidas como se presenta en la Imagen No. 3.

Imagen No. 3 Imágenes Espectrales de Imágenes escogidas para el Análisis de Cobertura Terrestre en la Cuenca del Río Murca



Se debe de tener en cuenta que en los casos en que existían nubes o sombras, estas fueron eliminadas mediante la operación de los Raster, lo cual consiste en darle el valor del pixel de alguna imagen en la cual dicho pixel no se encuentre cubierto por una nube o sombra, una vez realizado dicho procedimiento se evaluó el cambio de cobertura vegetal en la cuenca del río Murca (ver Imagen No. 4).

Como se presenta en la Imagen No. 4 y en la Tabla No. 5 la cuenca del río Murca ha sufrido un proceso de deforestación, es importante mencionar que una vez se da inicio a los procesos de deforestación estos traen graves consecuencias en la cuencas hidrográficas, pues dichos procesos inducen a la disminución del nivel freático y de la sedimentación de los cauces.

Finalmente se puede concluir que mediante la aplicación de los sensores remotos es posible la identificación de las coberturas, pues como se presentó en la cuenca del río Murca se ha intensificado la agricultura y la explotación de pastos hasta llegar a un área cubierta en bosques de tan solo 33 % del área total de la Cueca.

Imagen No. 4 Coberturas Terrestres para la Cuenca del Río Murca

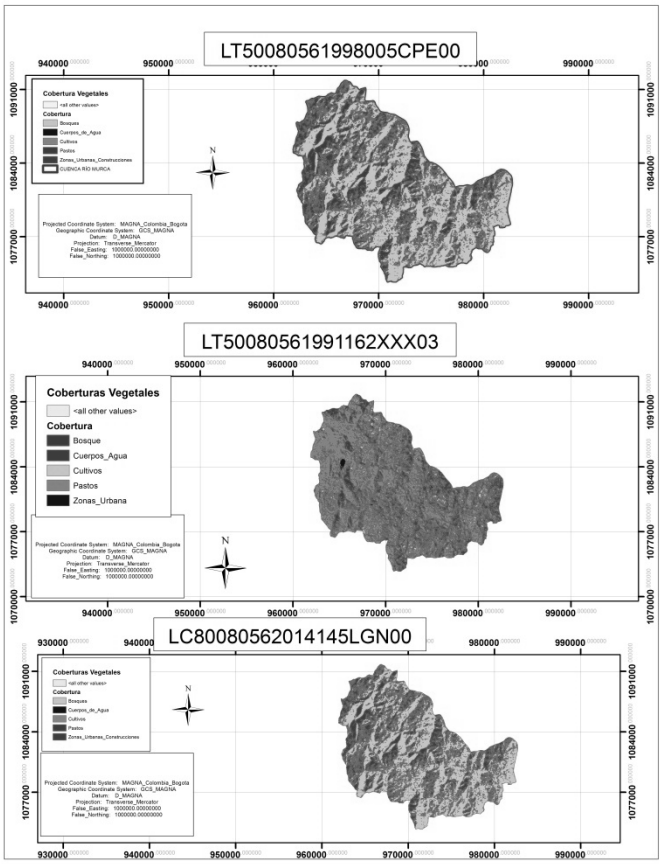


Tabla No. 5 Comparación Coberturas Terrestres De La Hoya Hidrográficas Del Río Murca

COMPARACIÓN COBERTURAS TERRESTRES DE LA HOYA HIDROGRÁFICAS DEL DEL RÍO MURCA

NOMBRE	ÁREA CUENCA (Km)	COBERTURA	AÑO 1991	AÑO 1998	AÑO 2014
CUENCA RÍO MURCA	220.43	BOSQUE (Km)	82.98	118.16	72.50
		CUERPOS DE AGUA (Km)	0.80	0.99	0.92
		CULTIVOS (Km)	16.11	18.63	42.89
		PASTOS (Km)	108.57	68.68	88.90
		ZONAS URBANAS CONSTRUCCIONES (Km)	11.97	13.96	15.22
		TOTAL (ha)	220.43	220.43	220.43

B. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

En el último cuarto del siglo XX y en el siglo XXI, se han venido desarrollando estudios para evaluar los diferentes escenarios del cambio climático a nivel global, regional y local (Poveda, 2004) (Rodríguez, Pabón, Martínez, & Bernal, 2010) (Universidad Nacional, 2010); sin embargo, el estudio de las variaciones en los patrones de las lluvias intensas ha sido relativamente limitado, aunque es importante tener en cuenta que casi siempre se ha afirmado que la ocurrencia de eventos extremos, como las tormentas extremas, será más frecuente y más intensa, y estará asociada al efecto del cambio climático, (Estrada Porrúa, 2001).

1) Recopilación de la Información Existente

Se recopiló la información de precipitación media mensual a nivel anual en las estaciones hidrometeorológicas relacionadas con la zona de proyecto, directamente de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiéntales, IDEAM.

Las características de código, tipo, nombre de la estación, nombre de la subcuenca, años de registro, departamento, nombre de municipio y coordenadas geodésicas de las referidas estaciones se presenta en el Tabla No. 6, mientras su localización se presenta en la Imagen No. 5

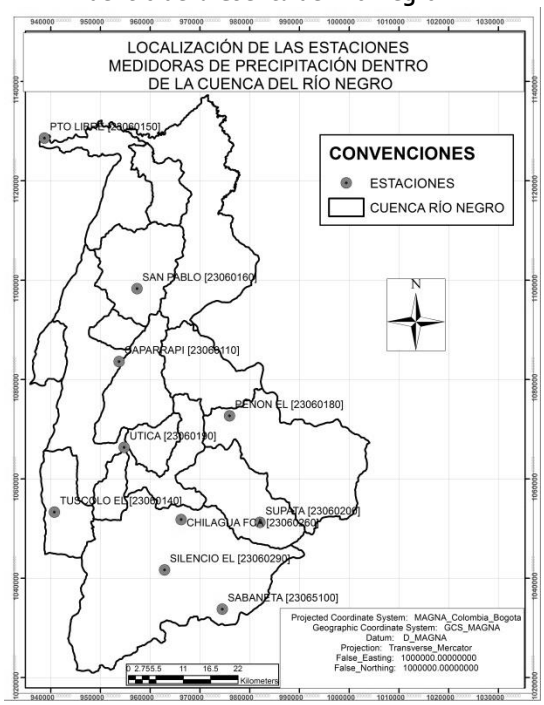
Tabla No. 6 Características de Localización de las Estaciones Medidoras de Precipitación dentro de la Cuenca del Río Negro

CODIGO	TIPO	NOMBRE DE ESTACIÓN	PERIODO DE REGISTRO	NOMBRE SUBCUENCA	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORD GEODESICAS	
							Latitud	Longitud
2120693	CP	VIANI	0 AÑOS	R. MAGDALENA	CUNDINA MARCA	VIANI	4.87	-74.57
2306516	CP	ACOMODO EL	13 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	LA VEGA	5.02	-74.31
2306034	PM	SAN ISIDRO	10 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	VILLETA	5.05	-74.51
2306517	CP	GUADUAS	13 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	GUADUAS	5.06	-74.60
2306308	PM	NEGRETE	5 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	PACHO	5.10	-74.15
2306033	PM	AGUA FRÍA	15 AÑOS	R. TOBIA	CUNDINA MARCA	QUEBRADAN EGRA	5.10	-74.47
2306507	CP	INST. AGRIC. ESC. VOCACIONA	43 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	PACHO	5.16	-74.13
2306519	CP	CAPARRAPÍ	0 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	CAPARRAPÍ	5.34	-74.50
2306039	PM	TIESTOS LOS	5 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	LA PALMA	5.36	-74.41
23065100	CO	SABANETA	29 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	SAN FRANCISCO	4.90	-74.31
23060290	PM	SILENCIO EL	40 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	SASAIMA	4.97	-74.41
23060200	PM	SUPATA	33 AÑOS	SUPATA	CUNDINA MARCA	SUPATA	5.06	-74.24
23060260	PM	CHILAGUA FCA	30 Años	TOBIA	CUNDINA MARCA	NOCAIMA	5.06	-74.38
23060140	PM	TUSCOLO EL	39 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	GUADUAS	5.08	-74.61
23060190	PM	UTICA	36 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	UTICA	5.20	-74.49
23060180	PM	PENON EL	37 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	EL PEON	5.25	-74.29
23060110	PM	CAPARRAPI	50 AÑOS	PATA	CUNDINA MARCA	CAPARRAPI	5.35	-74.49
23060160	PM	SAN PABLO	37 AÑOS	QDA PITA	CUNDINA MARCA	CAPARRAPI	5.49	-74.46
23060150	PM	PTO LIBRE	36 AÑOS	R. NEGRO	CUNDINA MARCA	PUERTO SALGAR	5.76	-74.63

Nota:
PM: Pluviométrica
CP: Climatológica Principal
PG: Pluviográfica
SS: Sinóptica Secundaria
SP: Sinóptica Principal
AM: Automática

Para el presente estudio se escogieron las estaciones medidoras de precipitación del IDEAM, debido a su amplitud en el registro de datos y en la confiabilidad de los mismos.

Imagen No. 5 Localización de las Estaciones Hidrométricas dentro de la Cuenca del Río Negro



2) Climatología

Cualquier región en el planeta tiene un clima determinado y muy regular, año a año, de acuerdo con el sitio en que se encuentre, el clima es regulado por las corrientes de aire, ya sean cálidas o frías, secas o húmedas que se suceden a nivel del planeta por sus movimientos de rotación y especialmente de translación con respecto al sol, pero así mismo en cada sitio pueden presentarse variaciones que modifican sustancialmente el sistema de acuerdo a factores o influencias locales, a este estudio normalmente se lo denomina Macrotiempo, que en el país es manejado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT)., que es la franja a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo (Alisios del sudeste y del nordeste) provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur, estas corrientes al encontrarse en el trópico se estrellan formando una zona de baja presión, originando la formación de grandes masas nubosas y por lo tanto abundantes precipitaciones pluviales. (Ecoforest, 2013)

Todo el sistema intertropical es dinámico, debido a la variación cíclica estacional del sol con respecto a la tierra, por lo cual la posición de los centros báricos cambia paulatinamente; con ellos también varían las propiedades típicas de las masas de aire, arrastradas por las corrientes respectivas.

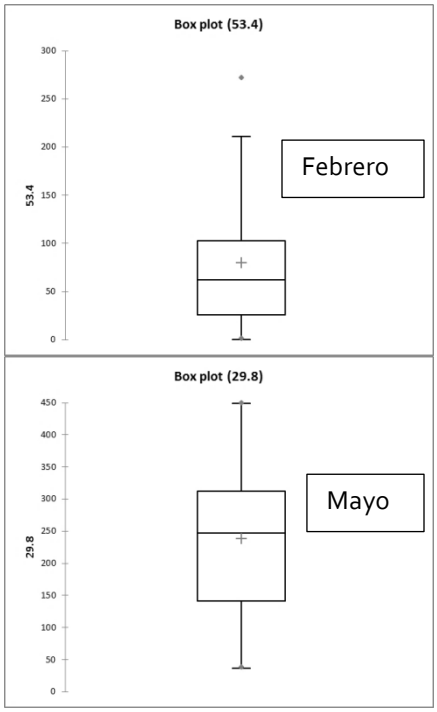
La franja de baja presión que forma la Zona de Convergencia Intertropical no es homogénea ni regular, debido a las condiciones en que se forman las diferentes corrientes de aire, a su humedad y a su temperatura, por lo tanto unos sectores de la franja adquieren velocidades más altas y se proyectan con mayor énfasis, formando una franja irregular.

Para el presente estudio y de acuerdo a las estaciones medidoras de precipitación presentes dentro de la cuenca del Río negro, la cual contiene la cuenca del río Murca se escogió un rango un periodo de registro desde el año 1987 a 2007.

Este periodo de registro es amplio y suficiente para el desarrollo del presente estudio, ya que cuenta con periodos húmedos y secos representados por los fenómenos atmosféricos del Niño y la Niña.

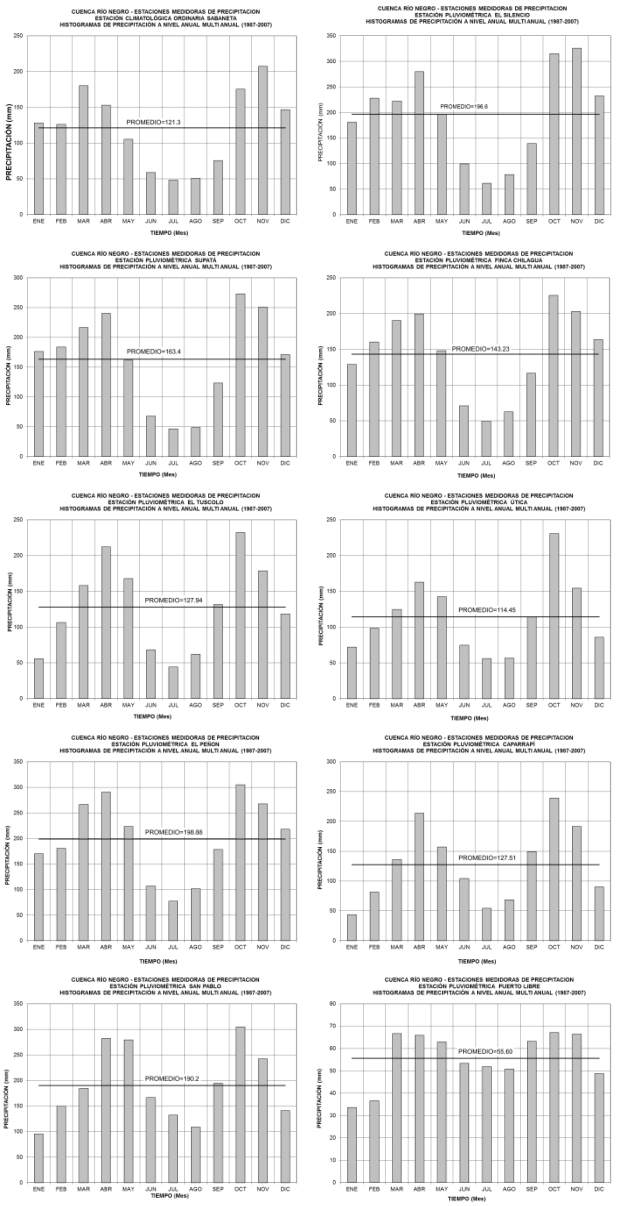
Se debe tener en cuenta que los datos atípicos en la serie de tiempo escogida, fueron analizados mediante diagramas de caja (ver Imagen No. 6), con los cuales se validaron los datos y fueron excluidos los datos atípicos de cada serie de tiempo y estación medidora de precipitación, esta validación se encuentra en el Anexo No. 1

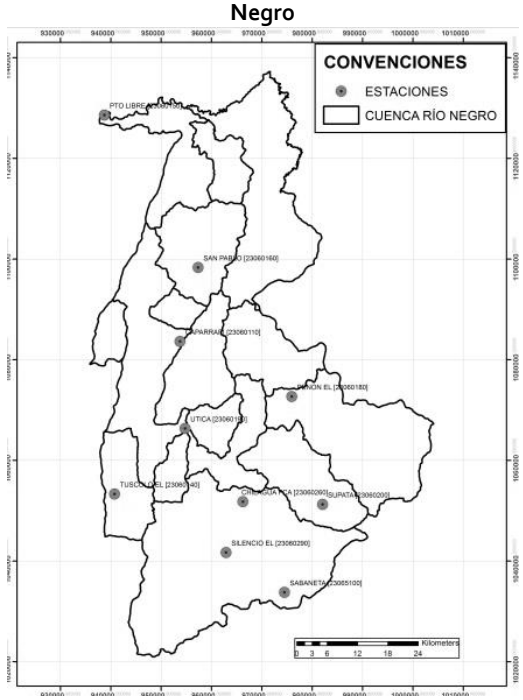
Imagen No. 6 Ejemplos Diagramas de Caja para la Estación Pluviométrica El Silencio



Una vez analizados los datos y la depuración de los mismos se generaron los histogramas de precipitación para todas las estaciones utilizadas en el presente estudio. En la Imagen No. 7 se presenta los histogramas para las estaciones medidoras de precipitación escogidas como representativas en la cuenca del río Negro.

Imagen No. 7 histogramas para las estaciones medidoras de precipitación escogidas como representativas en la cuenca del río Negro





En primera instancia, la definición a nivel mensual y anual multianual del parámetro precipitación total, se ha basado en los datos presentados en el Imagen No. 7 para las estaciones medidoras de precipitación referidas anteriormente.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación climatológica ordinaria Sabaneta es en promedio anual igual a 121 mm y varía entre un mínimo de 48.23 mm para el mes de julio y un máximo de 207.22 mm en el mes de noviembre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la estación El Silencio es en

promedio anual igual a 196.6 mm y varía entre un mínimo de 61.53 mm para el mes de julio y un máximo de 325.83 mm en el mes de noviembre.
El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Supatá es en promedio anual igual a 163.42 mm y varía entre un mínimo de 46.66 mm para el mes de julio y un máximo de 273.15mm en el mes de octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Finca Chilagua es en promedio anual igual a 143.23 mm y varía entre un mínimo de 49.76 mm para el mes de julio y un máximo de 225.39 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación El Tuscolo es en promedio anual igual a 127.94 mm y varía entre un mínimo de 44.20 mm para el mes de Julio y un máximo de 232.13 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Útica es en promedio anual igual a 114.45 mm y varía entre un mínimo de 56.16 mm para el mes de Julio y un máximo de 230.57 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación El Peñón es en promedio anual igual a 198.88 mm y varía entre un mínimo de 77.5 mm para el mes de Julio y un máximo de 305.04 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Caparrapí es en promedio anual igual a 127.51 mm y varía entre un mínimo de 43.64 mm para el mes de Enero y un máximo de 239.08 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y octubre a diciembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Arizona es en promedio anual igual a 65.5 mm y varía entre un mínimo de 35.0 mm para el mes de Julio y un máximo de 104.0 mm en el mes de noviembre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y Septiembre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación San Pablo es en promedio anual igual a 190.16 mm y varía entre un mínimo de 95.09 mm para el mes de Enero y un máximo de 304.73 mm en el mes de octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

- La precipitación media a nivel medio mensual multianual reportada en la Estación Puerto Libre es en promedio anual igual a 55.60 mm y varía entre un mínimo de 33.59 mm para el mes de Enero y un máximo de 67.10 mm en el mes de Octubre.

El régimen de precipitación presenta dos época de valores menores y dos de valores mayores a lo largo del año. En promedio, los periodos de mayores valores se extienden durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, mientras las épocas de menores valores ocurren durante los demás meses del año.

3) Interpolación de la Precipitación

Mediante los datos extraídos de las estaciones medidoras de precipitación a nivel mensual en la cuenca del río Negro como se presenta en la Tabla No. 7.

Tabla No. 7 Precipitación Media Mensual Estaciones Medidoras de Precipitación de La Cuenca Del Río Negro

NOMBRE	ENER	FEBR	MAR	ABRI	MAY	JUNI	JULI	AGO	SEPT	OCT	NOVI	DICIE
SABANETA	128.1	126.1	180.3	153.0	105.2	58.7	48.2	50.9	75.6	175.3	207.2	146.7
SILENCIO EL	180.8	227.9	222.2	279.8	196.8	99.4	61.5	78.5	139.2	315.0	325.8	232.5
SUPATA	176.3	183.7	216.7	240.4	161.9	68.0	46.7	48.8	123.3	273.1	251.0	171.3
CHILAGUA FCA	128.8	160.1	190.2	199.5	148.1	70.9	49.8	62.5	116.7	225.4	203.0	163.8
TUSCOLO EL	55.8	106.3	158.0	212.3	167.9	68.2	44.2	61.9	131.5	232.1	178.7	118.3
UTICA	72.0	98.5	124.8	162.9	142.7	74.9	56.2	56.7	114.2	230.6	154.4	85.7
PENON EL	170.2	180.7	266.4	290.7	223.3	107.0	77.5	101.5	178.5	305.0	267.5	218.1
CAPARRAPI	43.6	81.6	136.1	213.8	157.1	104.5	54.3	68.6	149.4	239.1	191.6	90.3
SAN PABLO	95.1	149.6	184.6	282.4	279.4	166.8	132.4	108.9	194.8	304.7	242.3	140.9
PTO LIBRE	33.6	36.6	66.6	65.9	63.0	53.3	51.9	50.8	63.2	67.1	66.4	48.8

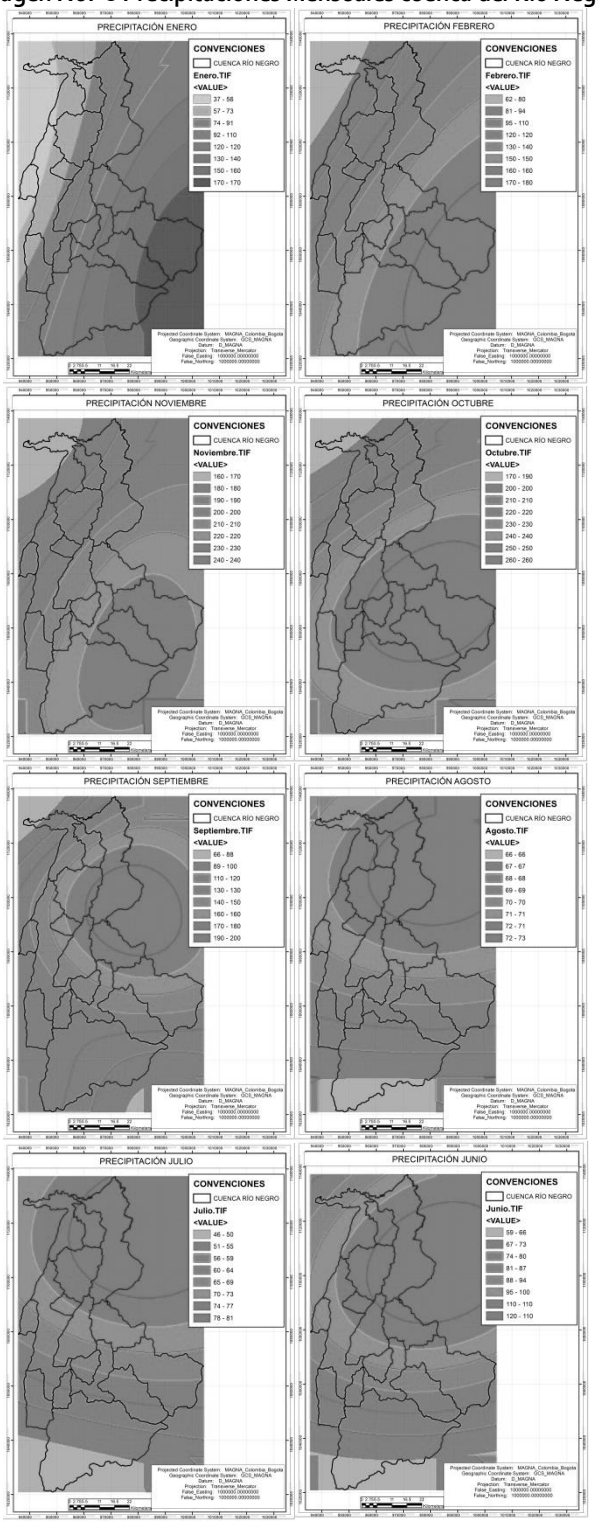
En el presente estudió se utilizó un sistema de información geográfica para la interpolación de la lluvia en la cuenca del río Negro, es importante mencionar que se analizaron los distintos tipos de interpolación espacial para la medición de precipitaciones, los métodos determinísticos más frecuentemente utilizados son el polígono Thiessen (THI) y Ponderación Inversa Distancia (IDW), que se basa en la ubicación de las estaciones de medición y en los valores medidos. De una manera general, el pronóstico del valor regionalizado tiene en cuenta la media ponderada de los valores observados regionalizados. (Ly , Catherine, & De, 2013)

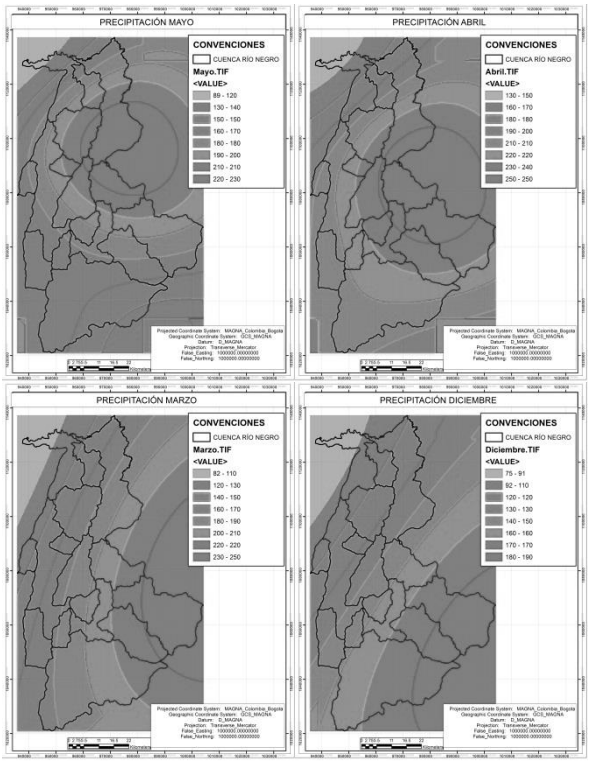
Por otro lado también se analizaron los métodos de interpolación geoestadística entre ellos Kriging, el cual se basa en modelos estadísticos que implican autocorrelación.

Una vez realizado los respectivos cálculos se llegó a la conclusión de que el método más apropiado para la interpolación de la precipitación es el método de Kriging, pues arrojo un porcentaje de error más bajo que los demás métodos de interpolación, alcanzando un valor de 35 %.

Los resultados de la interpolación para cada mes se puede observar en la Imagen No. 8.

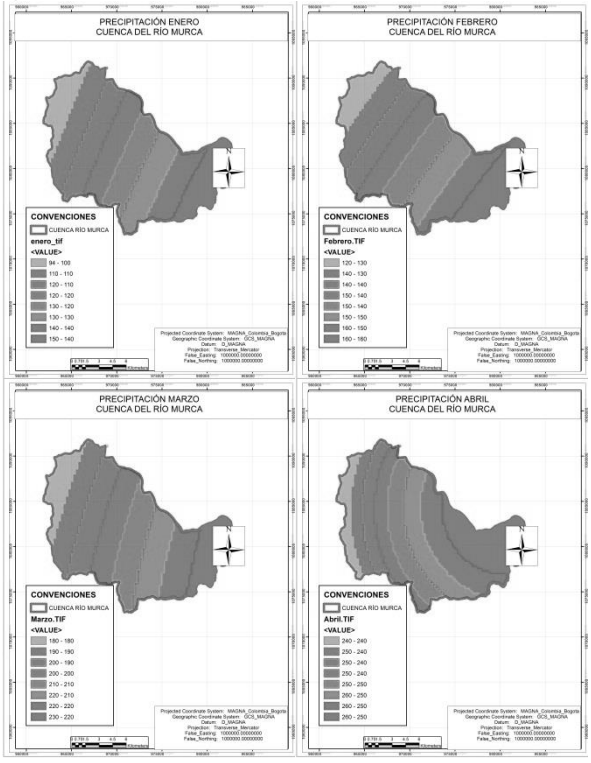
Imagen No. 8 Precipitaciones Mensuales cuenca del Río Negro

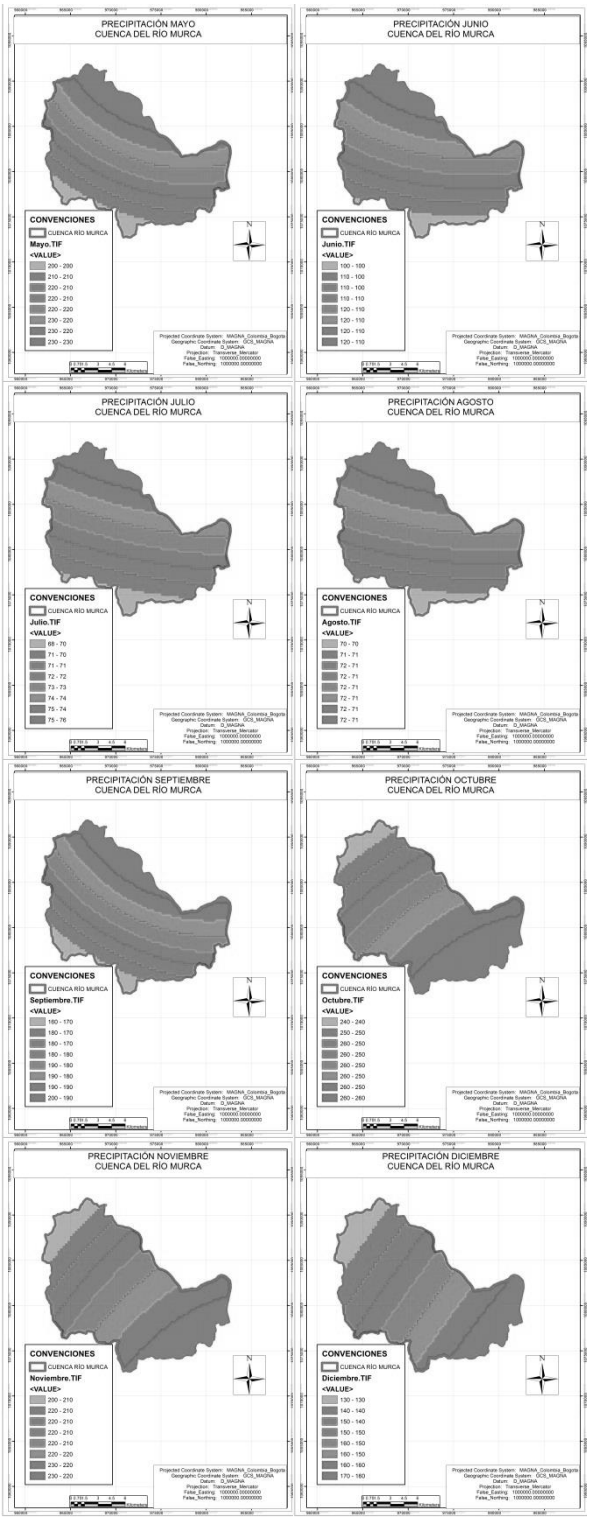




Ahora, mediante el sistema de información geográfica se es extrajo la información de precipitación para el río Murca, lo cual se presenta en la Imagen No. 9.

Imagen No. 9 Precipitaciones Mensuales Cuenca del Río Murca

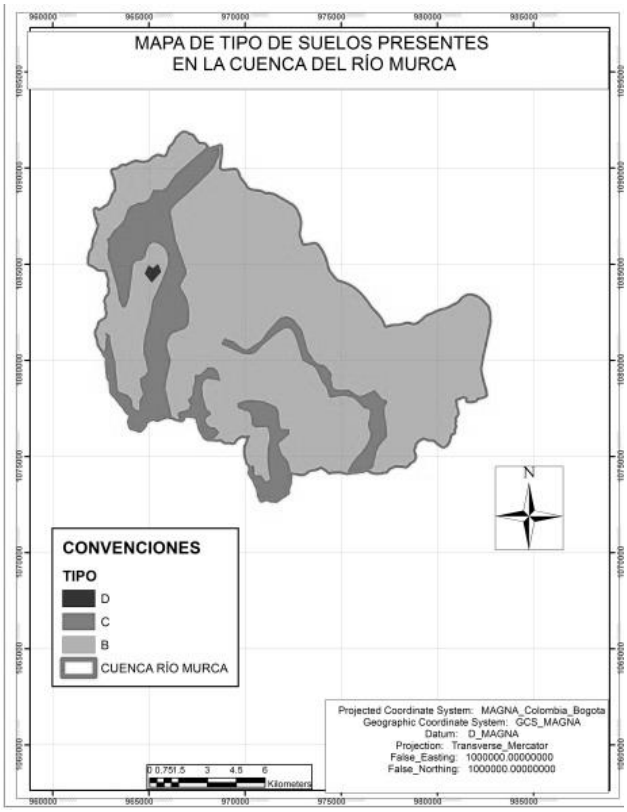




C. MAPA DE TIPO DE SUELOS

Para el presente estudio se trabajó con la información suministrada por la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), a partir de esta información se generó el mapa del tipo de suelos presentes en la cuenca del río Murca y que se presenta en la Imagen No. 10.

Imagen No. 10 Mapa de Tipo de Suelo Presente en la Cuenca del Río Murca



Como se puede evidenciar en la Imagen No. 10, se tiene que para la cuenca del río Murca la mayor parte del área está presente el tipo de suelo B.

D. GENERACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

Las variables presentadas anteriormente (Tipo de Suelo y Cobertura Vegetal), fueron analizadas para la imagen satelital LC80080562014145LGN00, esta imagen fue escogida como representativa, pues es la más próxima a la actualidad y es la que evidencia un mayor proceso de deforestación en la cuenca del río Murca generando mayor escorrentía en el análisis de precipitación efectiva .

Las variables mencionadas anteriormente fueron operadas mediante el sistema de información geográfica, el mapa resultante se reclasificó según el cuadro de Números de curva de escorrentía (CN) para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II, Ia:0.2S) (Ven Te, 1984)

El resultado de esta operación se evidencia en la Imagen No. 11 y en la Tabla No. 8.

Es importante mencionar que el valor de Número de Curva ponderado para la cuenca del río Murca es igual a 78.

Finalmente el valor del Número de curva fue operado mediante el SIG utilizando la Ecuación No. 2, el resultado de esta operación se evidencia en Imagen No. 12 lo cual representa el valor de S (Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial).

Imagen No. 11 VALOR DEL NÚMERO DE CURVA PARA LA CUENCA DEL RÍO MURCA – IMAGEN SATELITAL LC80080562014145LGN00

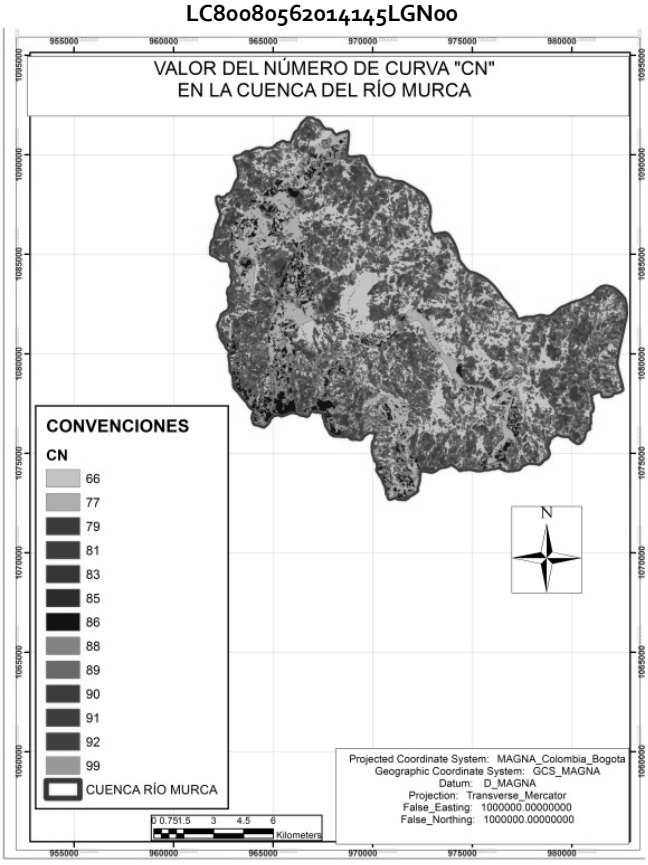
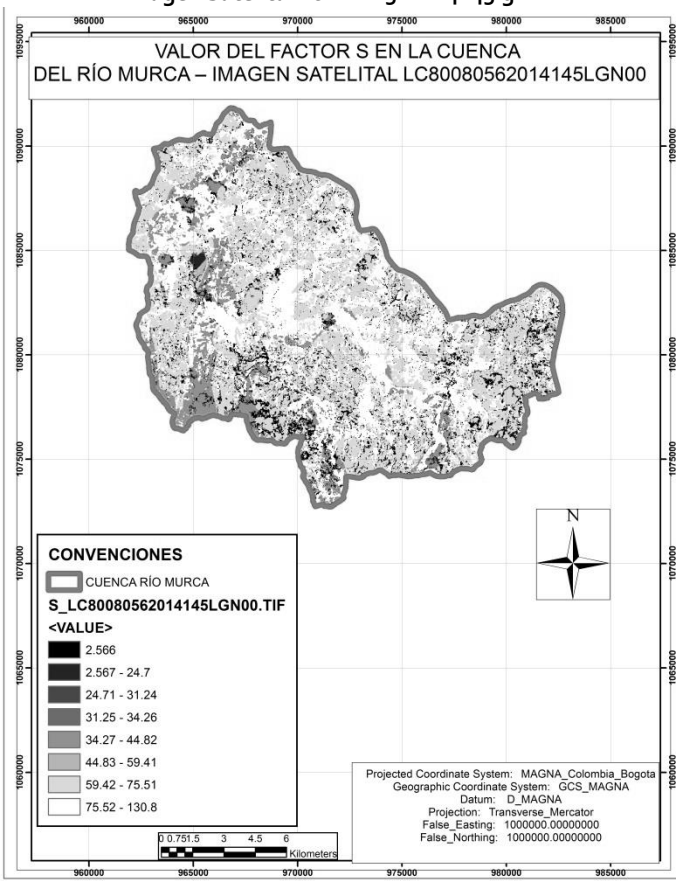


Tabla No. 8 Valor del Número de Curva para la Cuenca del Río Murca – Imagen Satelital LC80080562014145LGN00

CN	ÁREA (m²)	PORCENTAJE
66	66032564.50	29.96%
77	21462030.84	9.74%
79	62680724.24	28.44%
81	25748431.60	11.68%
83	2526.02	0.00%
85	2292868.01	1.04%
86	15192930.51	6.89%
88	5112907.19	2.32%
89	25349.75	0.01%
90	596500.17	0.27%
91	29326.07	0.01%
92	329601.04	0.15%
99	20922738.88	9.49%

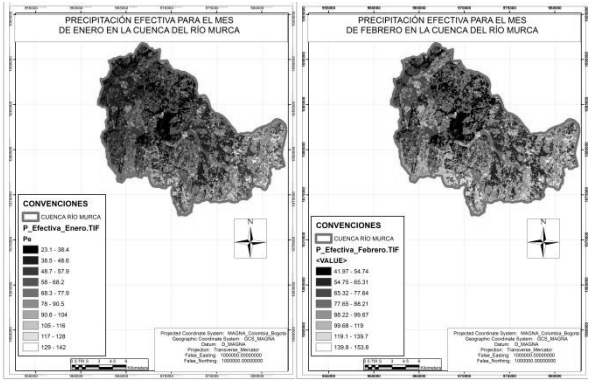
Imagen No. 12 Valor del Factor S En La Cuenca del Río Murca – Imagen Satelital Lc80080562014145lgn00

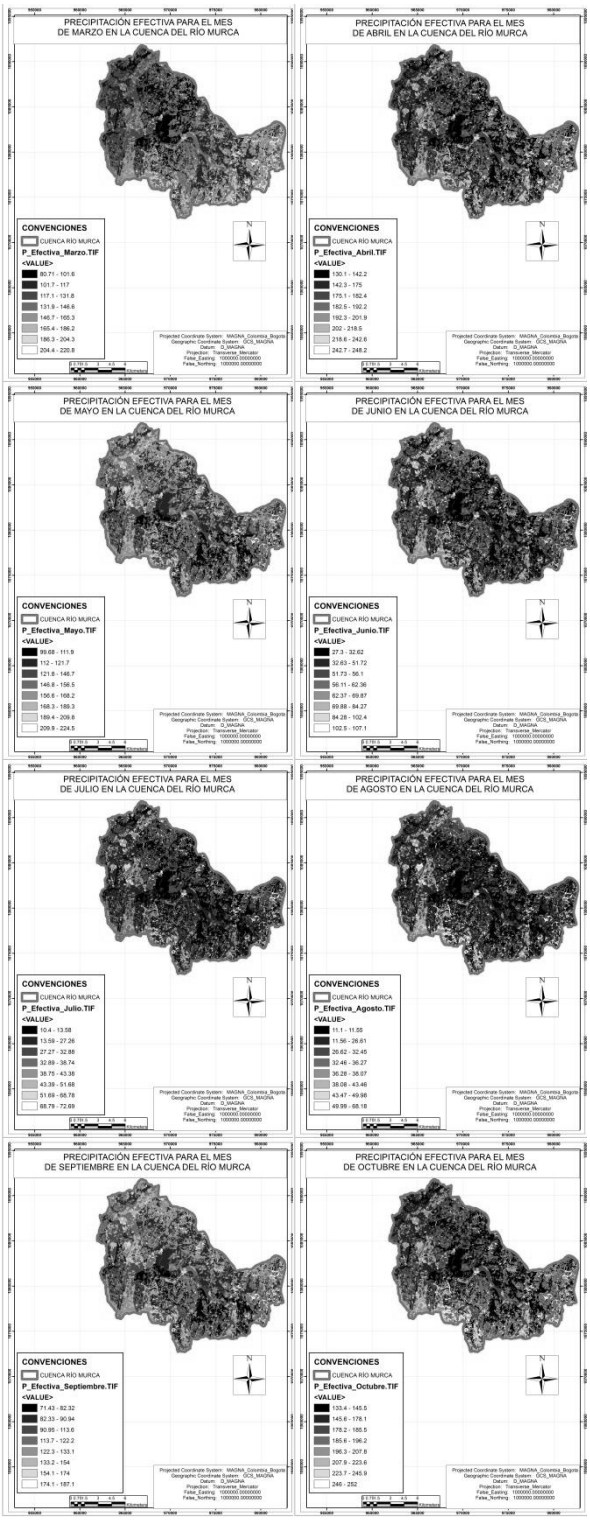


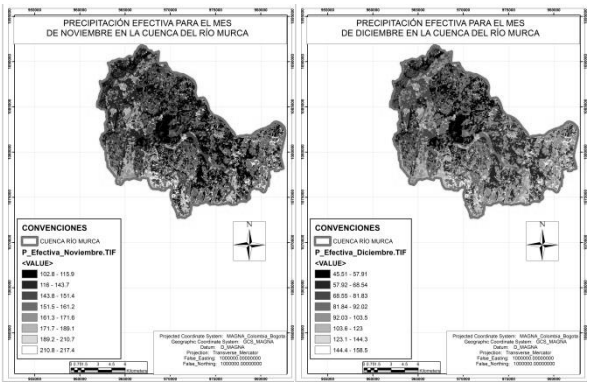
E. PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Una vez obtenido el Raster del Numero de Curva y el de S se procedió al cálculo del precipitación efectiva a nivel mensual mediante la aplicación de la Ecuación No. 1, los resultados se presentan en la Imagen No. 13.

Imagen No. 13 Precipitaciones Efectivas a nivel Mensual Cuenca del Río Murca







F. OFERTA HÍDRICA PARA LA CUENCA DEL RÍO MURCA

Para el Presente estudio se calcularon las ofertas hídricas para la cuenca hidrográfica del río Murca, este análisis se realizó mediante el sistema de información geográfica, convirtiendo los milímetros de precipitación efectiva a unidades de caudal, este resultado se presenta en la Tabla No. 9.

Tabla No. 9 Oferta Hídrica para la Cuenca del Río Murca

MES	CAUDAL (m3/s)
Enero	5.44
Febrero	6.92
Marzo	11.25
Abril	14.78
Mayo	12.36
Junio	4.45
Julio	2.35
Agosto	2.28
Septiembre	9.6
Octubre	15.12
Noviembre	12.3
Diciembre	7.24

V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL NUMERO DE CURVA EN LA CUENCA DEL RÍO MURCA PARA LA OBTENCIÓN DE CRECIENTES O CAUDALES MÁXIMOS

El análisis de caudales se realizó teniendo en cuenta los registros históricos de la estación pluviométrica El Peñon por ser la estación más representativa y cercana la cuenca del río Murca, además los registros históricos de precipitación máxima en 24 h de la estación mencionada anteriormente resultan conveniente y representativos para ser tenidos en cuenta en el presentes estudio.

A. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Los datos históricos de precipitación máxima anual en 24 horas de la estación pluviométrica El Peñón se presentan en la Tabla No. 10, de acuerdo con (Vargas & Díaz - Granados, sin fecha), y a falta de datos históricos de lluvias para pluviógrafos en el área de proyecto, se calcularon las curvas intensidad - duración - frecuencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$I = a\left(\left(T^{b}\right)/\left(t^{c}\right)\right) \text{ x } M^{d} \quad \textbf{Ecuación No. 5}$$

En donde:

I: Intensidad de precipitación, mm/h.
T: Periodo de retorno, años.
t: Duración de la lluvia, horas.
M: Promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas, mm.

Tabla No. 10 Estación Pluviométrica El Peñón Precipitación Máxima Anual Histórica En 24 Horas

CUADRO No. 4
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA EL PEÑON
PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS

AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)
1987	62.3
1988	79.0
1989	63.0
1990	97.0
1991	78.0
1992	73.0
1993	80.0
1994	96.0
1995	85.0
1996	69.0
1997	70.0
1998	77.0
1999	85.0
2000	85.0
2001	68.0
2002	105.0
2003	130.0
2004	100.0
2005	109.0
2006	123.0
2007	81.0
Número de Datos	21
Media	86.44
Desviación Típica	18.70
Coeficiente de Asimetría	0.90

La zona de proyecto se encuentra en la Región 1 definida por (Vargas & Díaz - Granados, sin fecha) cuyos parámetros a, b, c y d son iguales respectivamente a 0.94, 0.18, 0.66 y 0.83.

De esta manera, la ecuación anterior queda:

$$I = 0.94((T^{0.18})/(t^{0.66})) \text{ x } M^{0.83}$$

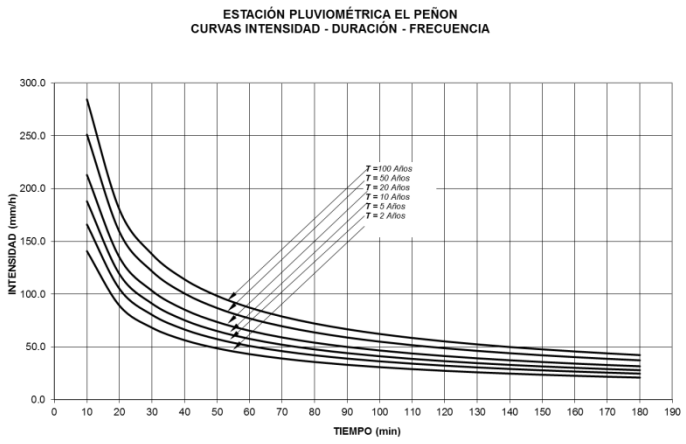
Adicionalmente, teniendo en consideración los datos históricos a nivel promedio anual multianual de la precipitación en 24 h en la estación previamente mencionada, se ha calculado un valor promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas igual a 86.44 mm.

Con estos valores se han calculado las curvas intensidad - duración - frecuencia, las cuales se presentan en la Tabla No. 11y en la Imagen No. 12.

Tabla No. 11 Estación Pluviométrica El Peñón Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia (valores en mm/h)

TIEMPO (min)	PERÍODO DE RETORNO (Años) 2	5	10	20	50	100
10	140.7	166.0	188.0	213.0	251.2	284.6
20	89.1	105.0	119.0	134.8	159.0	180.1
30	68.2	80.4	91.1	103.2	121.6	137.8
40	56.4	66.5	75.3	85.3	100.6	114.0
50	48.6	57.4	65.0	73.6	86.8	98.4
60	43.1	50.9	57.6	65.3	77.0	87.2
70	39.0	45.9	52.1	59.0	69.5	78.8
80	35.7	42.1	47.7	54.0	63.7	72.1
90	33.0	38.9	44.1	50.0	58.9	66.7
100	30.8	36.3	41.1	46.6	55.0	62.3
110	28.9	34.1	38.6	43.8	51.6	58.5
120	27.3	32.2	36.5	41.3	48.7	55.2
130	25.9	30.5	34.6	39.2	46.2	52.4
140	24.7	29.1	32.9	37.3	44.0	49.9
150	23.6	27.8	31.5	35.7	42.1	47.6
160	22.6	26.6	30.2	34.2	40.3	45.7
170	21.7	25.6	29.0	32.8	38.7	43.9
180	20.9	24.6	27.9	31.6	37.3	42.2

Imagen No. 14 Estación Pluviométrica El Peñon Curvas Intensidad - Duración -Frecuencia



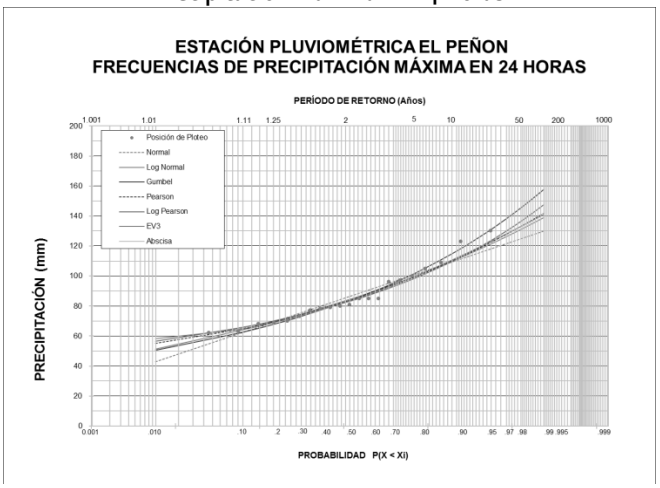
B. PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS

Los datos históricos de precipitación máxima anual en 24 horas de la estación pluviométrica El Peñón, presentados en el Tabla No. 10, se ajustaron a las distribuciones probabilísticas Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log – Pearson Tipo III, Log – Normal y EV3, a través de métodos estadísticos convencionales (Ven Te, 1984), y los resultados de esta variable hidrológica, relacionada a diferentes períodos de retorno, se presentan en la Tabla No. 12 y en la Imagen No. 1Imagen No. 13

Tabla No. 12 Estación Pluviométrica El Peñon FrecuenciadDe Precipitación Máxima Anual en 24 Hrs

PERÍODO DE RETORNO Años	DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA NORMAL (mm)	GUMBEL (mm)	PEARSON (mm)	LOG- PEAR (mm)	LOG-NOR (mm)	EV3 (mm)
2	86.4	83.7	83.7	83.2	84.5	83.4
2.5	91.2	89.0	88.4	87.7	89.2	88.3
3.33	96.2	95.3	93.8	93.0	94.5	94.0
5	102.2	103.5	100.8	100.0	101.1	101.3
10	110.4	116.6	111.4	111.2	111.1	112.1
20	117.2	129.2	121.1	122.1	120.1	121.7
50	124.9	145.5	133.2	136.5	131.1	133.1
100	130.0	157.7	141.9	147.6	139.0	141.0
chi 2	5.68	1.57	2.37	2.31	2.95	2.02

Imagen No. 15 Estación Pluviométrica El Peñón Frecuencias de Precipitación Máxima En 24 Horas



Adicionalmente, para cada distribución probabilísticas se aplicó la prueba de Chi – cuadrado, encontrándose que para los datos de las estación pluviométrica el Peñon, las distribuciones Gumbel es la mejor se ajusta a la serie de tiempo seleccionada, Para los estudios estadísticos, se siguió la metodología de Chow.

C. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

Como se mencionó previamente, la hoya hidrográfica del río Murca se utilizó la metodología del hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, a los cuales se les aplicó la lluvia efectiva de diseño.

Los lineamientos básicos de las teorías de este hidrograma unitario de escorrentía superficial se explican pormenorizadamente en las referencias bibliográficas (Ven Te, 1984) y (Monsalve Sáenz, 1995). Tanto estos hidrogramas como los de creciente de escorrentía superficial para diferentes periodos de retorno fueron calculados con base en el programa de computador HEC- Geo HMS.

En el Cuadro 8 se presentan las características geométricas más importantes de estas cuencas hidrográficas, como son: área de drenaje, longitud del cauce principal y pendiente total del cauce. Los cálculos de estos parámetros se han basado en los cálculos realizados mediante el sistema de información geográfica HEC- Geo HMS

Tabla No. 13 Características Hoyas Hidrográficas Del Río Murca

NOMBRE	ÁREA CUENCA (km^2)	LONGITUD DEL CAUCE (m)	PENDIENTE DEL CAUCE S (m/m)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SCS (minutos)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN KIRPICH (minutos)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN TEMEZ (minutos)
Río Murca	220.43	26403	0.03000	692.33	190.72	170.63

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN GIANDOTTI (minutos)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN VT CHOW (minutos)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN CUERPO DE INGENIEROS (minutos)	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SELECCIONADO (minutos)	t_{lag} (minutos)	CN	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL	FACTOR DE LLUVIA ESPACIAL
263.79	408.79	393.66	328.73	197.24	78	0.342	0.671

1) Hietogramas de los Aguaceros Puntuales

Con base en las curvas intensidad – duración – frecuencia presentadas en el Cuadro 5, para la estación pluvimétrica El Peñón, se calcularon las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 min y periodos de retorno entre 2 y 100 años, las cuales se presentan en la Tabla No. 14.

Tabla No. 14 Curvas de Masas de Aguaceros Puntuales Área De Influencia Estación Pluviométrica El Peñón

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)					
	2	5	10	20	50	100
0	0	0	0	0	0	0
10	23.5	27.7	31.3	35.5	41.9	47.4
20	29.7	35.0	39.7	44.9	53.0	60.0
30	34.1	40.2	45.5	51.6	60.8	68.9
40	37.6	44.3	50.2	56.9	67.1	76.0
50	40.5	47.8	54.2	61.4	72.4	82.0
60	43.1	50.9	57.6	65.3	77.0	87.2
70	45.5	53.6	60.7	68.8	81.1	91.9
80	47.6	56.1	63.5	72.0	84.9	96.2
90	49.5	58.4	66.1	74.9	88.4	100.1
100	51.3	60.5	68.6	77.7	91.6	103.8
110	53.0	62.5	70.8	80.2	94.6	107.2
120	54.6	64.4	72.9	82.6	97.4	110.4
130	56.1	66.2	75.0	84.9	100.1	113.4
140	57.5	67.8	76.9	87.1	102.7	116.3
150	58.9	69.5	78.7	89.1	105.1	119.1
160	60.2	71.0	80.4	91.1	107.5	121.7
170	61.5	72.5	82.1	93.0	109.7	124.3
180	62.7	73.9	83.7	94.8	111.9	126.7

Posteriormente, con base en estas curvas de masas se calcularon los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos, los cuales se presentan en el Tabla No. 15.

Tabla No. 15 Incrementos de Lluvias Puntuales de Los Hietogramas de Precipitación Área De Influencia Estación Pluviométrica El Peñón

INTERVALO DE TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)					
	2	5	10	20	50	100
0-10	23.5	27.7	31.3	35.5	41.9	47.4
10-20	6.2	7.4	8.3	9.4	11.1	12.6
20-30	4.4	5.2	5.9	6.6	7.8	8.9
30-40	3.5	4.1	4.7	5.3	6.3	7.1
40-50	3.0	3.5	4.0	4.5	5.3	6.0
50-60	2.6	3.1	3.5	3.9	4.6	5.2
60-70	2.3	2.7	3.1	3.5	4.1	4.7
70-80	2.1	2.5	2.8	3.2	3.8	4.3
80-90	1.9	2.3	2.6	2.9	3.5	3.9
90-100	1.8	2.1	2.4	2.7	3.2	3.7
100-110	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.4
110-120	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8	3.2
120-130	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0
130-140	1.4	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9
140-150	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8
150-160	1.3	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6
160-170	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5
170-180	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.4
TOTAL	62.7	73.9	83.7	94.8	111.9	126.7

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, mediante el método del Bloque Alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente fueron arreglados de la siguiente manera: el valor más bajo se colocó en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se colocó en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubicó en segundo lugar, el cuarto valor se localizó en el penúltimo lugar, y así sucesivamente. El resultado de estos cálculos se presenta en la Tabla No. 16, y corresponde con los hietogramas de lluvia puntual de los aguaceros de diseño.

Tabla No. 16 Incrementos Arreglados de Lluvias Puntuales De Los Hietogramas de Precipitación Área de Influencia Estación Pluviométrica El Peñón

INTERVALO DE TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)					
	2	5	10	20	50	100
0-10	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.4
10-20	1.3	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6
20-30	1.4	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9
30-40	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8	3.2
40-50	1.8	2.1	2.4	2.7	3.2	3.7
50-60	2.1	2.5	2.8	3.2	3.8	4.3
60-70	2.6	3.1	3.5	3.9	4.6	5.2
70-80	3.5	4.1	4.7	5.3	6.3	7.1
80-90	6.2	7.4	8.3	9.4	11.1	12.6
90-100	23.5	27.7	31.3	35.5	41.9	47.4
100-110	4.4	5.2	5.9	6.6	7.8	8.9
110-120	3.0	3.5	4.0	4.5	5.3	6.0
120-130	2.3	2.7	3.1	3.5	4.1	4.7
130-140	1.9	2.3	2.6	2.9	3.5	3.9
140-150	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.4
150-160	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0
160-170	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8
170-180	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5
TOTAL	62.7	73.9	83.7	94.8	111.9	126.7

2) Hietogramas de los Aguaceros Espaciales

Los hietogramas de lluvia puntual fueron transformados a hietogramas de lluvia espacial, para tener en cuenta el hecho

de la espacialidad de la hoya, y de que la precipitación promedio en un aguacero en una hoya es menor a medida que aumenta su área de drenaje.

El coeficiente de reducción de la lluvia por el tamaño del área de drenaje se ha calculado, como ya fue mencionado anteriormente, y con el fin de tener un valor más seguro y conservador en relación con este coeficiente, se adoptó un valor igual al valor promedio resultante entre el calculado por medio de la ecuación de Fhrüling ya anotada en este informe y la unidad. Sus valores para cada hoya hidrográfica se presentan en la Tabla No. 13.

En la Tabla No. 17, se presentan los hietogramas de lluvia espacial para las hoyas hidrográficas consideradas como mayores para estos análisis.

Tabla No. 17 Incrementos Arreglados de Lluvia Espacial de Los Hietogramas de Precipitación Área De Influencia Estación Pluviométrica El Peñón

INTERVALO DE TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)					
	2	5	10	20	50	100
0-10	0.81	0.95	1.08	1.22	1.44	1.64
10-20	0.88	1.03	1.17	1.33	1.57	1.77
20-30	0.96	1.13	1.28	1.45	1.71	1.94
30-40	1.07	1.26	1.43	1.62	1.91	2.16
40-50	1.21	1.43	1.62	1.83	2.16	2.45
50-60	1.42	1.67	1.89	2.14	2.53	2.86
60-70	1.74	2.05	2.32	2.63	3.11	3.52
70-80	2.35	2.77	3.14	3.56	4.19	4.75
80-90	4.18	4.93	5.59	6.33	7.47	8.46
90-100	15.74	18.56	21.03	23.82	28.09	31.83
100-110	2.94	3.47	3.93	4.46	5.26	5.95
110-120	1.99	2.34	2.66	3.01	3.55	4.02
120-130	1.56	1.84	2.08	2.36	2.78	3.15
130-140	1.30	1.54	1.74	1.97	2.33	2.64
140-150	1.13	1.34	1.52	1.72	2.02	2.29
150-160	1.01	1.19	1.35	1.53	1.80	2.04
160-170	0.92	1.08	1.22	1.39	1.64	1.85
170-180	0.84	0.99	1.12	1.27	1.50	1.70
TOTAL	42.0	49.6	56.2	63.6	75.1	85.0

Finalmente Mediante la aplicación del modelo de computador HEC-GeoHMS (ver Imagen No. 14), y con las características de la lluvia total espacial, de la curva CN, del área de drenaje y del tiempo de desfase para la hoya hidrográfica, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas por la cuenca hidrográfica del río Murca para periodos de retorno entre 2 y 100 años, y los valores se presentan en la

Imagen No. 16 Modelo Hidrológico HEC-GeoHMS

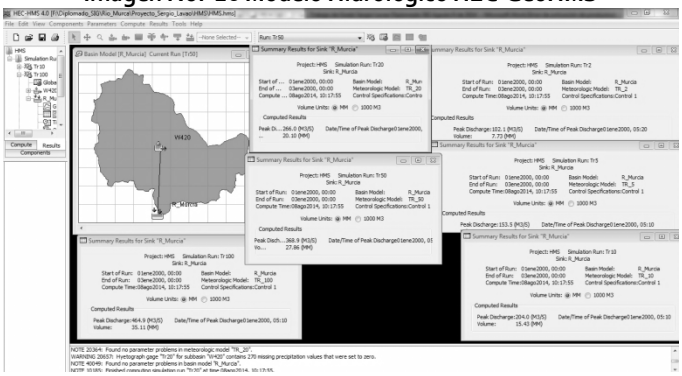


Tabla No. 18 Caudales Máximos Instantáneos Anuales de Las Crecientes Producidas por La Cuenca Hidrográfica del Río Murca Para Periodos De Retorno Entre 2 Y 100 Años

CAUDAL (m^3/s)					
T= 2 AÑOS	T= 5 AÑOS	T= 10 AÑOS	T= 20 AÑOS	T= 50 AÑOS	T=100 AÑOS
102.10	153.50	204.00	266.00	368.90	464.90

VI. CONCLUSIONES

El parámetro hidrológico de del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, CN, está en función de distintas variables relacionadas con las características físicas de la cuenca.

En el presente estudio una de las variables más importantes como lo es la cobertura terrestre fue identificado mediante imágenes Lansadt con la utilización de sistemas de información geográfica, esta metodología es mucho más rápida y económica.

Es importante mencionar que la utilización de sistemas de información geográfica para la identificación del valor del Numero de Curva es un proceso rápido, especialmente si se tiene en cuenta que cada vez y a medida que avanza la tecnología la información es más fácil de adquirir.

Una vez encontrado el valor del Número de Curva se procedió al cálculo de la oferta hídrica a nivel mensual para la cuenca del río Murca mediante la operación de algebra de mapas utilizando un sistema de información geográfica.

En el estudio desarrollado se calcularon los caudales máximos instantáneos generados por la cuenca del río Murca para distintos periodos de retorno mediante la utilización de un sistema de información geográfica y su complemento llamado Hec-GeoHMS.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ly , S., Catherine, C., & De, A. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 392-406.

[2] Biodiversity Informatics, & Geospatial Innovation Facilities. (2008). *Landsat Spectral Band Information.*

[3] Ecoforest. (2013). *Elaboración del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá.* Bogotá.

[4] Estrada Porrúa, M. (2001). Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias. *Revista de Información y Análisis, Núm. 16*.

[5] Monsalve Sáenz, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería.* Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

[6] Montserrat, F., Joaquín , R., & Teodoro, E. (1995). Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería del Agua*, 43-58.

[7] Pabón, J. (2010). *El Cambio Climático en Bogotá Región.* Bogotá, Colombia: Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia.

[8] Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una Síntensis desde la Escala Local inter-Decadal hasta la Escal Diurna. *Academica Colombiana de Ciencias* , 201-222.

[9] Rodríguez, E., Pabón, C., Martínez, C., & Bernal, S. (2010). *Cambio Climático y su Relación con el Uso del Suelo en los Andes Colombianos.* Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo.

[10] Ruiz Murcia, J. F. (2010). *Cambio Climatico en Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa para Colombia Usando Modelos Meteorológicos de Alta Resolución (Panorama 2011-2100).* Bogotá: Nota Técnica del IDEAM.

[11] started, X. m. (2014). *www.xlstat.com.* Recuperado el 20 de JULIO de 2014, de http://www.xlstat.com/uploads/video/getting-started/xlstat-getting-started-manual.pdf

[12] Universidad Nacional. (2010). *Elaboración del escenarios de cambio climático para la segunda mitad del siglo XXI en diferentes regiones del territorio colombiano y de un informe de evaluación del cambio climático en Colombia que incluya entre otros las tendencias actuales y futuras y* . Bogotá: IDEAM.

[13] Vargas, M., & Díaz - Granados. (sin fecha). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia.*

[14] Ven Te, C. (1984). *Handbook of Applied Hydrology.* EEUU: McGraw Hill Book Company.