

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL  
MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE DESCARGAS EN  
CUENCAS MEDIANAS  
CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**NÉSTOR EMILIO CHOQUEHUANCA SOLORZANO**

**LIMA - PERÚ**

**2010**

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece cordialmente a:

Ing. Roger Hidalgo García, Asesor del Proyecto de Investigación por su apoyo, revisiones y aportes.

Ing. José Nicolás de Piérola Canales por su valiosa orientación en el desarrollo de la presente investigación.

Empresa Southern Peru Copper Corporation, por brindar el apoyo y la información requerida para llevar a cabo el presente estudio.

Finalmente, quiero hacer especial mención a mis padres y hermanos sobre todo a mis hermanas Rosario y Cristina, cuyo respaldo y aliento ha sido fundamental durante toda mi actividad universitaria y sin quienes no hubiera sido posible llegar a este momento.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	3
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	5
<b>LISTA DE CUADROS</b>	8
<b>LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS</b>	9
<b>INTRODUCCIÓN</b>	11
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO</b>	14
1.1. <b>CUENCA DEL RÍO TORATA</b>	15
1.1.1. Características Hidrológicas	17
1.1.2. Geomorfología de la cuenca	18
1.1.3. Clasificación Ecológica	23
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	28
2.1. <b>ESCORRENTÍA DE SUPERFICIE</b>	28
2.1.1. Suelo	28
2.1.2. Vegetación	29
2.1.3. Topografía	29
2.2. <b>HIDROGRAMA UNITARIO</b>	30
2.2.1. Cálculo matricial del hidrograma unitario	33
2.2.2. Aplicación del método del hidrograma unitario	34
2.2.3. Hidrogramas unitarios sintéticos	35
2.3. <b>ABSTRACCIONES O RETENCIONES</b>	39
2.3.1. Método del Número de Curva	39
2.3.2. Modelo de Green Ampt	44
2.3.3. Ecuación de Horton	49
2.3.4. Ecuación de Phillip	49
2.4. <b>TORMENTA DE DISEÑO</b>	50
2.4.1. Lluvia	50
2.4.2. Curva Intensidad-Duración	52
2.5. <b>TRANSITO DE AVENIDAS EN CAUCES NATURALES</b>	53
2.5.1. Propagación en Cauces. Método de Muskingum	53
2.5.2. Método de Muskingum-Cunge	56
2.6. <b>MODELAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO</b>	58

2.7.	<b>MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON WMS® y HEC-HMS®</b>	60
2.7.1.	Watershed Modeling System WMS®	61
2.7.2.	Hydrologic modeling system HEC-HMS®	63
	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN</b>	65
3.1.	<b>DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA</b>	65
3.1.1.	Selección del programa de modelamiento hidrológico	65
3.1.2.	Requerimientos de datos y capas de información	66
3.1.3.	Procesamiento de información hidrometeorológica	69
3.1.4.	Modelamiento con el software Watershed Modeling System WMS®	72
3.1.5.	Modelamiento hidrológico con el software HEC-HMS®	83
3.1.6.	Número de Curva mediante hidrogramas observados	87
3.1.7.	Cálculo de tiempo de retardo	90
	<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDROLOGICO</b>	92
4.1.	<b>PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS</b>	92
4.2.	<b>NÚMERO DE CURVA (CN)</b>	93
4.3.	<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACIONES</b>	96
4.3.1.	Alternativas de distribución de precipitación	96
4.3.2.	Alternativas de hidrograma unitario	98
4.4.	<b>TRANSITO DEL HIDROGRAMA</b>	101
4.5.	<b>MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA TORATA</b>	102
4.5.1.	Generación de Hidrogramas	103
4.5.2.	Calibración del Número de Curva	105
4.6.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	108
	<b>CONCLUSIONES</b>	114
	<b>RECOMENDACIONES</b>	116
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	117
	<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

La necesidad de tener conocimiento de la respuesta de una cuenca durante el paso de un evento meteorológico de gran magnitud está directamente relacionada con los proyectos de ingeniería hidráulica. Las pérdidas por abstracciones durante el período de avenidas y la distribución, espacial y temporal, de la precipitación generada sobre la cuenca se refleja en la forma que adopta el hidrograma y la magnitud de los caudales máximos en las secciones de salida de esta, lo que condiciona los diseños de obras hidráulicas.

El objetivo principal de este trabajo es determinar el Número de Curva (CN) ó un rango de éstos, que puedan ser utilizados adecuadamente en cuencas alto andinas de la zona sur del país, con similares características geomorfológicas a la estudiada en esta investigación, y la estimación de caudales de diseño para una cuenca usando como información básica la distribución espacial y temporal de la precipitación estimada sobre la base de la información medida en 05 estaciones pluviométricas-pluviográficas.

Para el desarrollo de la investigación se aplicaron los programas computacionales de modelación de cuencas denominados Watershed Modeling System (WMS®) y el Hydrologic Modeling System (HEC-HMS®), que trabajan en torno al modelo de generación de caudales HEC-1.

La información de entrada para el modelamiento hidrológico con el HEC-HMS® se utilizó los resultados de Número de Curva en condiciones normales de humedad obtenidos previamente por el modelo WMS®, y los datos de estaciones meteorológicas consideradas representativas de la zona en estudio.

La cuenca seleccionada para el estudio corresponde a la del río Torata, definida por las estaciones hidrométricas de Tititjones y Arundaya, cuencas en las que existen estaciones meteorológicas las que disponen de información necesarias para los fines del estudio. Las precipitaciones por eventos, analizadas y corregidas a base de información observada, permitieron establecer un patrón de distribución espacial que se usa con fines de diseño para generar hidrogramas a través de modelos como HEC-1 en la cuenca en estudio.

Los resultados obtenidos para los Números de Curvas en condiciones normales y modificadas en función a la saturación del suelo muestran que la modelación usando una distribución temporal única (asumiendo la curva tipo II del Soil Conservation Service) para todos los eventos tiene mejores resultados en la obtención de los caudales picos que usando la distribución de precipitación de las estaciones existentes, esto se debe a que la distribución generada mediante la información disponible de estaciones pluviográficas no corresponde necesariamente al período de análisis.

El uso del método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de America, SCS (1972), ahora llamada Natural Resources Conservation Service (NRCS), permitía obtener buenos resultados al comparar los caudales picos observados con los simulados mediante el modelo hidrológico del HEC-HMS®.

Como resultado del análisis de los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas se obtuvo un rango de Números de Curvas (CN) en el área de estudio que comparados con los obtenidos mediante la metodología del SCS están dentro de este rango, pero la sensibilidad del Número de Curva en el modelamiento hidrológico para obtener los caudales picos es alto en este rango, teniendo en cuenta que esto es solo el punto de partida básico para aproximar de una mejor forma el comportamiento de crecidas en la zona sur del Perú.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Cuenca del Río Torata.	16
Figura 1.2. Vertedero Arundaya.	19
Figura 1.3. Sub-cuenca Arundaya	19
Figura 1.4. Vertedero Titijones.	20
Figura 1.5. Sub-cuenca Titijones.	21
Figura 1.6 Mapa Geológico del área de estudio.	22
Figura 1.7 Cobertura vegetal típica (3500 m.s.n.m.).	23
Figura 1.8 Cobertura vegetal típica (3800 m.s.n.m.).	24
Figura 1.9 Cobertura vegetal típica (3900 m.s.n.m.)	25
Figura 1.10 Cobertura vegetal típica (4200 m.s.n.m.)	25
Figura 1.11 Zona de bofedales (4400 m.s.n.m.)	26
Figura 1.12 Cobertura vegetal típica (4500 m.s.n.m.)	25
Figura 1.13 Mapa de Cobertura Vegetal del área de estudio	27
Figura 2.1. Principio de proporcionalidad	31
Figura 2.2. Principio de superposición.	32
Figura 2.3. Cálculo matricial del Hidrograma Unitario	33
Figura 2.4. Diferencias entre un hidrograma unitario obtenido del cálculo y otro observado	34
Figura 2.5. a) Hidrograma unitario estándar ( $t_p = 5.5 \text{ tr}$ ); b) Hidrograma Unitario requerido ( $t_p \neq 5.5 \text{ tr}$ )	37
Figura 2.6. a) Hidrograma adimensional del SCS; b) hidrograma unitario triangular	38
Figura 2.7. Variables que intervienen en el método del SCS para abstracciones	40
Figura 2.8. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS	41
Figura 2.9. Variables que intervienen en el modelo de infiltración de Green-Ampt	44
Figura 2.10. Infiltración en una columna de suelo de área unitaria por el método de Green-Ampt	44
Figura 2.11. Relación entre la altura de succión y la saturación efectiva	47
Figura 2.12. Tasa de infiltración e infiltración acumulada para lluvias de intensidad constante	48

Figura 2.13. Evolución de la infiltración en el tiempo, según Horton	49
Figura 2.14. Hietograma de lluvia	50
Figura 2.15. Hietograma de lluvia acumulada	51
Figura 2.16: Curvas I-D-F de la ciudad de Chicago, USA	52
Fig. N° 2.17: Relación entre la intensidad máxima y la duración del intervalo analizado para obtenerla, según los datos de precipitación del Cuadro 2.3.	53
Figura 2.18. Almacenamientos por prisma y por cuña en un tramo de cauce.	53
Figura 2.19. Discretización espacio-tiempo de la onda cinemática	56
Figura 2.20. Diagrama de flujo que presenta el esquema general de uso del modelo	61
Figura 2.21. Modelo Watershed Modeling System (WMS®) Versión 7.0	62
Figura 2.22. Modelo Hydrologic Modeling System (HEC-HMS®) Versión 3.4	63
Figura 3.1. Metodología de Trabajo	65
Figura 3.2. Modelo de Elevación Digital (DEM) y sub-cuencas del río Torata	67
Figura 3.3 Zonas geográficas en el Perú	68
Figura 3.4 Estaciones Hidrometeorológicas y sub-cuencas del Río Torata	69
Figura 3.5. Delimitación de cuencas con el uso del DEM_TORATA	74
Figura 3.6. Visualización de Pesos de Polígonos de Thiessen en el modelo WMS®	77
Figura 3.7. Generación de Pesos de Polígonos de Thiessen en el modelo WMS®	77
Figura 3.8. Polígonos de cobertura vegetal en el modelo WMS®	78
Figura 3.9. Ingreso de propiedades de Cobertura Vegetal en WMS®	79
Figura 3.10. Polígonos de Tipo de Suelo en WMS®	80
Figura 3.11. Ingreso de propiedades del Tipo de Suelo en WMS®	80
Figura 3.12. Archivos de salida del Tipo de Suelo y cobertura vegetal en WMS®	81
Figura 3.13. Generación del Número de Curva de múltiples sub-cuencas en WMS®	81
Figura 3.14. Generación del Número de Curva de dos sub-cuencas en WMS®	82
Figura 3.15 Generación del Número de Curva en WMS®	83
Figura 3.16. Ingreso de precipitación en HEC-HMS®	84
Figura 3.17. Ingreso de distribución de precipitación en HEC-HMS®	85
Figura 3.18. Generación de entrada y corrida en HEC-HMS®	85

Figura 3.19. Modificación del Número de Curva en HEC-HMS®	86
Figura 3.20. Modificación del Número de Curva en HEC-HMS®	86
Figura 3.21. Hidrogramas de estaciones hidrométricas	89
Figura 3.22. Selección del método de tiempo de retardo	91
Figura 4.1. Números de Curvas por evento analizados	94
Figura 4.2. Distribución de precipitación Estación HIDRO N°1	96
Figura 4.3. Distribución de precipitación Estación TRINCHERAS	97
Figura 4.4. Distribución precipitación de Estación APACHETA	97
Figura 4.5. Curva Tipo II de distribución de precipitación del SCS	98
Figura 4.6. Comparación Gráfica de Hidrogramas Adimensionales	99
Figura 4.7. Correlación de Hidrogramas Adimensionales	99
Figura 4.8. Quebradas de mayores aporte al tramo del río Torata	101
Figura 4.9. Tránsito de Hidrogramas Observados	102
Figura 4.10. Simulación de Hidrogramas mediante método del SCS	103
Figura 4.11. Hidrogramas simulados y observados, evento 10 Febrero 2001	104
Figura 4.12. Hidrogramas simulados y observados, evento 25 Febrero 2001	104
Figura 4.13. Hidrogramas simulados y observados, evento 27Febrero 2001	105
Figura 4.14. Modificación del Número de Curva, HEC-HMS®.	105
Figura 4.15. Curva Número observado y simulado, sub-cuenca Titijones	106
Figura 4.16. Curva Número observado y simulado, sub-cuenca Arundaya	106
Figura 4.17 Simulación de hidrograma, Número de Curva Máximo	108
Figura 4.18. Simulación de hidrograma, Número de Curva Mínimo	108
Figura 4.19. Sensibilidad del uso del Número de Curva	109
Figura 4.20. Correlación de caudales pico observado y simulado, Est. Titijones	109
Figura 4.21. Correlación de caudales pico observado y simulado, Est. Arundaya	110
Figura 4.22. Número de Curva calibrado Vs caudales pico (Est. Arundaya)	111
Figura 4.23. Relación del CN y caudal pico (Titijones-Arundaya)	113

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Estaciones Hidrometeorológicas	17
Cuadro 2.1a: Número de Curva CN (AMC II)	43
Cuadro 2.1b. Condiciones de humedad antecedente (AMC)	43
Cuadro 2.2: Parámetros de infiltración de Green-Ampt	47
Cuadro 2.3: Cálculo del volumen e intensidad de lluvia en un sitio determinado	51
Cuadro 3.1 Listado de capas de información necesaria en el modelo WMS®	66
Cuadro 3.2 Data requerida	67
Cuadro 3.3 Propiedades de las capas de información	68
Cuadro 3.4 Tabla de precipitación media de eventos	70
Cuadro 3.5 Relación altitud-Precipitación	70
Cuadro 3.6 Data de precipitación y caudales de cada evento analizado	71
Cuadro 3.7. Caudales horario del evento 12 en las est. Tititjones y Arundaya	72
Cuadro 3.8. Parámetros geomorfológicos de sub-cuencas	74
Cuadro 3.9. Cálculo del Número de curva ponderado en función de las áreas	82
Cuadro 3.10. Cálculo de precipitación media	87
Cuadro 3.11. Cálculo de Volumen de Escorrentía Superficial	88
Cuadro N° 4.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Tititjones	92
Cuadro N° 4.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Arundaya	93
Cuadro N° 4.3. Número de Curva (CN) obtenidos de hidrogramas observados	95
Cuadro N° 4.4. Número de Curva (CN), Metodología del Soil Conservación Service	95
Cuadro N° 4.5. Tiempo de retardo ( $T_{lag}$ )	100
Cuadro N° 4.6. Parámetros de características hidráulicas del cauce	101
Cuadro N° 4.7. Número de Curva Calibrado	107
Cuadro N° 4.8. Rango de Número de Curva Calibrado	108
Cuadro N° 4.9. Número de Curva Calibrado	110
Cuadro N° 4.10. Variación del Número de Curva	111
Cuadro N° 4.11. Resumen numérico del modelamiento hidrológico	112

## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

WMS	Watershed Modeling System (Sistema de Modelamiento de Cuencas)
HEC	Hydrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica)
HMS	Hydrologic Modeling System (Sistema de Modelamiento Hidrológico)
GIS	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
UTM	Universal Transversal de Mercator (sistema de coordenadas)
SCS	Soil Conservation Service (Servicio de Conservación de Suelos)
Shp	Shape file
$C_t$	Coeficiente de la ecuación de Snyder que varía entre 1,35 (pendientes altas) y 1,65 (pendientes bajas).
$C_p$	Coeficiente de la ecuación de Snyder que varía entre 0,56 y 0,69
TIN	Triangular Irregular Network (Red de Triangulación Irregular)
DEM	Digital Elevation Modeling (Modelo de Elevación Digital).
MSL	Max stream length
MSS	Max stream slope
$K_c$	Coeficiente de compacidad
$F_f$	Factor de forma
L	Longitud de la cuenca
P	Perímetro
$P_{m,}$	Precipitación efectiva del bloque m
$U_{n-m+1}$	Caudales por unidad de precipitación efectiva del hidrograma unitario.
AVEL	Mean basin elevation (Elevación media de la cuenca)
CN	Curve Number (Número de curva)
$A_i$	Área de influencia de estaciones pluviométricas i
$P_i$	Precipitación de estación pluviométrica i
$P_e$	Precipitación efectiva
$T_c$	Tiempo de concentración
$T_p$	Tiempo al pico
$T_{lag}$	Tiempo de retraso (método SCS)

---

$t_{pR}$	Diferencia de tiempo entre el centroide del hietograma efectivo y el pico del hidrograma unitario (método de Snyder)
$t_r$	Duración de la lluvia efectiva
$L_c$	Distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto del cauce principal más cercano al centroide del área de la cuenca [km]
D	Lluvia neta
$t_b$	Tiempo base
$q_{pR}$	Caudal punta o pico por unidad de área de la cuenca
$Q_p$	Gasto pico del hidrograma
$Q_n$	Caudal de escorrentía directa en el instante n
$Q_b$	Caudal Base
$\Delta t$	Intervalo de tiempo
$\Delta x$	Intervalos de tramo del cauce, debe introducirse en km
S	Retención potencial máxima
$F_a$	Retención acumulada
$I_a$	Abstracción inicial antes del encharcamiento
I	Intensidad de diseño (mm/hr),
$T_d$	Duración de la lluvia $\approx T_c$ en el método racional
$S_m$	Pendiente media del cauce del río
K	Es una constante de almacenamiento
X	Es un factor que expresa la influencia relativa del caudal de entrada en los niveles de almacenamiento.
Y	Pendiente media de la cuenca

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, existen muchas regiones en el país carentes en forma parcial o total de la información hidrometeorológica necesaria para el estudio de avenidas. Las características técnicas más importantes de un hidrograma son el caudal pico y el tiempo pico en que se alcanza este. El conocimiento de estos parámetros es fundamental para el adecuado diseño de infraestructuras hidráulicas como aliviaderos de presas, estructuras para el control de la erosión, encauzamientos o estructuras de paso en obras viales.

Desafortunadamente, los datos de aforo a partir de los cuales se deducen los parámetros mencionados son escasos. Además, en las escasas ocasiones en que disponemos de aforos, es frecuente que los registros sean demasiado cortos, incompletos e incluso poco fiables, por lo que su empleo suele ser también problemático. Sin embargo, la existencia de registros de precipitación suelen ser mucho más amplia, tanto en número de localizaciones como en la duración de los mismos, por lo que es habitual el empleo de modelos precipitación-escorrentía para generar hidrogramas sintéticos de los eventos registrados, a partir de los cuales se obtienen los parámetros de diseño necesarios.

El uso más frecuente de la simulación hidrológica es la síntesis de hidrogramas a partir de los datos de precipitación y las características de la cuenca de drenaje, ya sea en una escala temporal pequeña (estudio de eventos) o grande (estudio de recursos).

Los modelos hidrológicos para el estudio de eventos en cuencas no aforadas deben tratar tres problemas fundamentales: la distribución de la precipitación sobre la cuenca, la transformación de la precipitación en escorrentía y el movimiento de la misma sobre la superficie de la cuenca, para finalmente obtener el hidrograma del evento estudiado.

El tratamiento de la distribución de la precipitación ofrece multitud de variantes, dependiendo de la cantidad de pluviómetros o pluviógrafos disponibles en la zona de estudio así como de la localización de los mismos. Para el estudio se

consideró en todos los eventos analizados la distribución de precipitación del la tormenta Tipo II del SCS.

Con respecto a la transformación de precipitación en escorrentía, el método del Número de Curva, recogido en el "National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology" (U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service, 1985) ha sido incluido habitualmente en los modelos hidrológicos, sobre todo en los de origen norteamericano. El extenso uso de este método en nuestro país se debe a su simplicidad, a su aplicabilidad en cuencas no aforadas y a su capacidad para experimentar con distintas formas de planeamiento y evaluar el impacto de futuros cambios en los usos del suelo. Por medio de un único parámetro denominado Número de Curva (CN), formulado en función de características físicas y geomorfológicas de la cuenca fácilmente observables en campo y de las condiciones precedentes de humedad, este método permite determinar las pérdidas por abstracciones en la cuenca en estudio y lo cual proporciona la escorrentía generada por una lluvia neta.

El objeto de este estudio está centrado en determinar un rango de valores del Número de Curva en función del método del SCS el cual contribuya en la determinación de los caudales máximos necesarios en el diseño de obras hidráulicas. La modelación hidrológica de las sub-cuencas del río Torata: Arundaya y Titijones, se realizará con el modelo hidrológico HEC-HMS® y el modelo Watershed Modeling System (WMS®). Integrando ambas sub-cuencas a sistemas de información georreferenciada, se simulará el comportamiento hidrológico de cada cuenca para la calibración del Número de curva obtenidos mediante los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas de Arundaya y Titijones mediante la determinación de los caudales picos para cada evento analizado.

A continuación se describen brevemente los cuatro capítulos de esta Tesis, con la intención de ofrecer una perspectiva general del estudio. Después de esta introducción en el Capítulo I, se presenta una descripción de la zona de la cuenca alta del Río Torata, haciendo énfasis en aspectos hidrogeomorfológicos. Además, de la descripción de la información hidrometeorológica existente.

En el Capítulo II se describe los fundamentos teóricos acerca de los procesos hidrológicos de interés en este trabajo: determinación del Número de Curva, tránsito de hidrogramas y método del hidrograma unitario. Finalmente, se aborda la aplicación de software especializados de modelos hidrológicos.

El Capítulo III trata sobre la descripción de metodología desarrollada en el estudio: recopilación, procesamiento de la información hidrometeorológica y el modelamiento hidrológico mediante el uso de algunos programas como el WMS® y HEC-HMS® capaces de simular distintos procesos hidrológicos, también se describe la generación de los Números de Curva a partir de registros obtenidos en estaciones hidrometeorológicas y la información geográfica con la interpretación de capas de uso y tipo del suelo en función al grupo hidrológico mediante herramientas del Sistema de Información Geográfico (GIS).

Con base a los factores que afectan a los procesos hidrológicos y en las leyes físicas que los definen, en el Capítulo IV se analizan y se presentan los resultados obtenidos del proceso de modelamiento hidrológico, el cual finalmente se obtiene los Números de Curva calibrados de la zona de estudio.

## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

La zona sur del Perú presenta escasez del recurso hídrico, una característica que no corresponde a la demanda necesaria para la explotación de los ingentes recursos naturales de la región, constituyéndose en una limitante para su desarrollo socio-económico.

El limitado conocimiento del comportamiento hidrológico de las cuencas altoandinas del sur peruano obliga a la utilización de “suposiciones” (no sustentadas) en el modelamiento hidrológico de cuencas; en tal sentido, se elige la cuenca alta del río Torata como representativa de dichas unidades hidromórficas para el desarrollo de la presente investigación.

Dentro de las investigaciones efectuadas en la Facultad de Ingeniería Civil y otras universidades por medio de tesis o informes relacionados al modelamiento hidrológico de cuencas, o temas similares, podemos mencionar algunos de ellos:

**Ada Liz Arancibia Samaniego**, Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de obras civiles. UNI, 1998-Tesis.

**Maria Magdalena Cárdenas Gaudry**. Modelamiento Hidrológico de la cuenca del Río Huancabamba con fines de operación en épocas de avenidas. UNALM, 1997-Tesis.

**Sigfredo Ernesto Fonseca Salazar**, Modelamiento Hidrológico con el HEC-HMS® y Sistema de información Geográfico. UNALM, 2002-Tesis.

En los proyectos hidráulicos es de uso frecuente el número de curva (CN), como parámetro del estudio hidrológico para la determinación de los flujos, metodología desarrollada por el U.S. Soil Conservation Service que requiere la investigación de su aplicabilidad en el país.

Otro de los fenómenos hidrológicos que requiere una adecuada investigación en la cuenca del río Torata es el tránsito de las avenidas.

En el desarrollo de estudios de hidrología para la determinación de flujos, es una práctica común el adoptar la magnitud del Número de Curva en forma arbitraria o

con una muy elemental caracterización fisiográfica de la cuenca, a partir de valores sugeridos en la bibliografía técnica.

La investigación a realizar a través del modelamiento hidrológico, permitirá evaluar y comprobar la aplicabilidad del Número de Curva adoptado para la cuenca en estudio, y a partir de ella tener como apoyo para aplicaciones en cuencas de características similares.

El modelo calibrado y validado permitirá determinar los hidrogramas de salida de cada sub-cuenca, aún cuando alguno de los puntos de control no registren información hidrométrica por inactividad de la misma durante el periodo de lluvia.

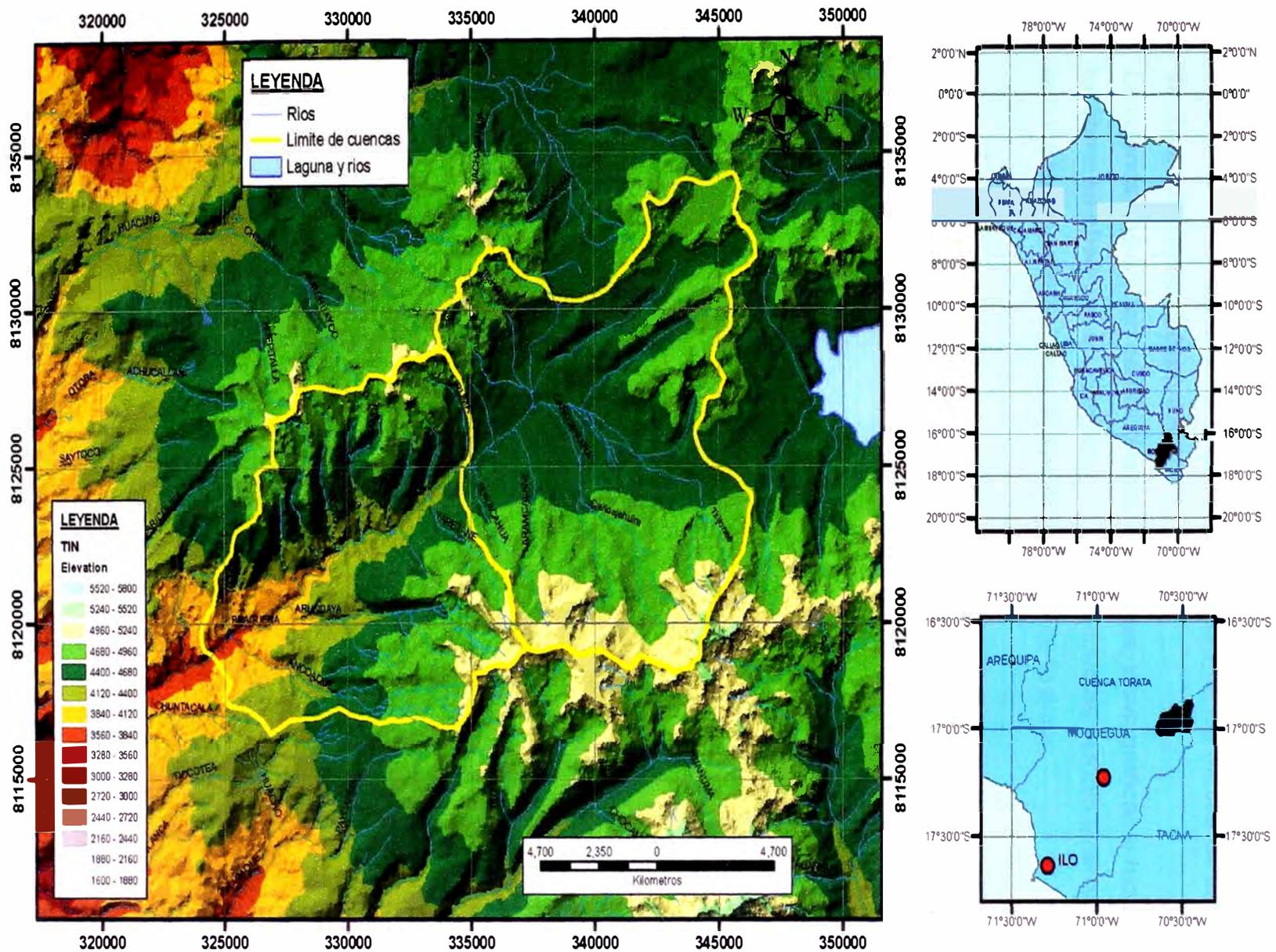
### **1.1 CUENCA DEL RÍO TORATA**

La cuenca del río Torata, se encuentra ubicada en el departamento de Moquegua en la provincia de Mariscal Nieto al Oeste de la Cordillera de los Andes, y geográficamente se encuentra comprendida entre las coordenadas  $17^{\circ} 05'$  y  $16^{\circ} 52'$  de Latitud Sur y los meridianos  $70^{\circ} 48'$  y  $70^{\circ} 26'$  de longitud Oeste con altitud entre los 3700 msnm. y 5200 msnm.

Por su orografía variada y accidentada la cuenca presenta dos sectores bien diferenciados, tanto por gradiente como por cobertura vegetal, los cuales han sido limitados por las sub-cuencas de Titijones y Arundaya.

La cuenca del río Torata limita por el Norte con las cuencas de los ríos Sajena, Chulujay, y Carumas; al Sur con las cuencas de los ríos Charaque y Asana, y al Este con la cuenca de la laguna Suches.

La Figura 1.1 muestra la ubicación geográfica de la cuenca del río Torata, objeto de aplicación de la presente investigación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1 Cuenca del Río Torata.

Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas, caso:

Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

### 1.1.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

El régimen pluviométrico del área de estudio está bien caracterizado por la ocurrencia de lluvias entre Enero y Marzo, y durante los meses de Junio y Julio se observan nevadas esporádicas.

La cuenca cuenta con estaciones pluviométricas, pluviográficas e hidrométricas, tal como se observan en el cuadro 1.1. El área total de estudio alcanza 242 Km<sup>2</sup>, encontrándose dentro de la extensión húmeda de la zona.

Cuadro 1.1. Estaciones Hidrometeorológicas.

Estación	TIPO DE ESTACIÓN	Entidad Operadora	COORDENADAS UTM – ZONA 19		
			Datum WGS' 84		
			Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
Villa Cuajone	Pluviométrica	Southern Peru Copper Corporation	306684.86	8110827.77	2799
Mina Cuajone			316835.89	8115223.00	3529
Viña Blanca			322558.71	8113570.28	3938
Hidro N°1			328608.89	8120593.75	4228
Cerro Trincheras			334432.32	8121123.68	5046
Titijones Apacheta			344261.03	8124530.60	4651
Titijones TW4			338747.10	8125256.48	4553
Suches Lado Cuajone			349149.67	8127797.22	4452
Vertedero Titijones	Hidrométrica		335104.64	8125004.55	4445
Vertedero Arundaya			324322.00	8118961.35	3706

Fuente: Elaboración propia

El río Torata es el colector principal al que contribuyen varias quebradas de fuerte pendiente y longitud de cauce muy corta que conforman la red de drenaje de tipo dendrítico de la cuenca. El río Torata, nace en los deshielos de la cordillera en la zona de Titijones, a 4.500 msnm, de donde desciende por la quebrada del mismo nombre, juntándose con la quebrada Condoriquiña, en donde toma el nombre de río Cuajone, hasta la zona denominada Ichupampa en donde adquiere el nombre de río Torata.

Los pisos climáticos son:

- La región Suni, conformada por las áreas ligeramente altas, situadas entre los 3500 y 4100 m de altitud. Su clima es templado-frío. Es la región donde se ubica la sub-cuenca de Arundaya.
- La región puna o jalca, conformada por las altas mesetas andinas, situadas a más de 4100 m de altitud. Su clima es frío, con precipitaciones sólidas de nieve y granizo. En esta región se encuentra ubicada la sub-cuenca de Titijones.

### 1.1.2 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA

#### a) Sub-cuenca de Arundaya

Esta sub-cuenca se encuentra ubicada por encima de los 3700 m.s.n.m y cuenta con un área de 109.42 Km<sup>2</sup>, se caracteriza por presentar terrenos con relieves ondulados o accidentados, cortado por quebradas poco profundas con pequeñas áreas de comunidades cerca del cauce del río Torata, en la zona de Arundaya, presenta:

- **Quebradas Permanentes:** con aporte de flujo durante todo el año, debido al aporte de los bofedales que se encuentran en las cabeceras de estas pequeñas cuencas y son las de mayor flujo durante el período de lluvias. Entre las principales figuran: Totoral, Arundaya, y Condoriquiña.
- **Quebradas Intermitentes:** Con aporte de flujo en forma esporádica cuando se producen precipitaciones pluviales. Entre las principales y las de mayor aporte figuran: Cruzan, Yaretane e Iruma.

La pendiente del cauce de esta sub-cuenca está en el rango del 5 a 6%.

El río corre de NE a SO entre dos macizos volcánicos. El flanco izquierdo o Sur de la quebrada está constituido de tufos volcánicos de apariencia porosa donde intruye una masa monolítica llamada pórfido Quellaveco, mineralizada con silicatos de cobre y sulfuros de cobre. El flanco derecho o Norte es puramente volcánico, el llamado volcánico Toquepala,

constituído por andesitas porfíricas, cubierto en algunas pequeñas áreas por conglomerados glaciales fuertemente compactados y cuyo espesor aproximado es de 10 a 15m. [12]

La sub-cuenca presenta un punto de control ubicado en su salida, denominada estación hidrométrica Arundaya.

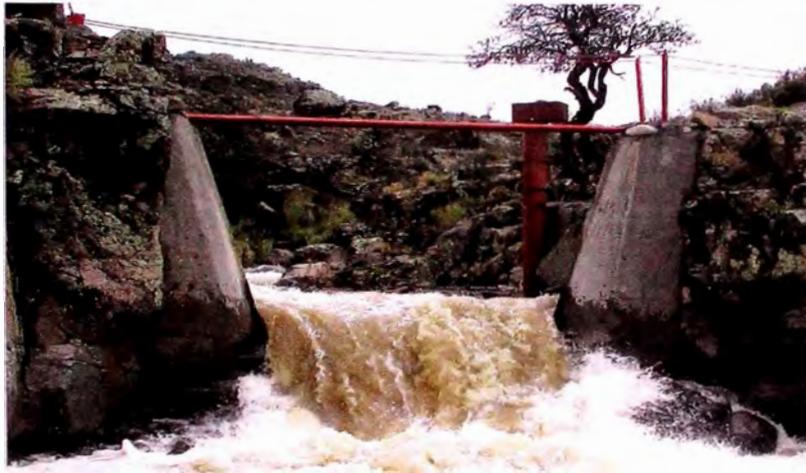
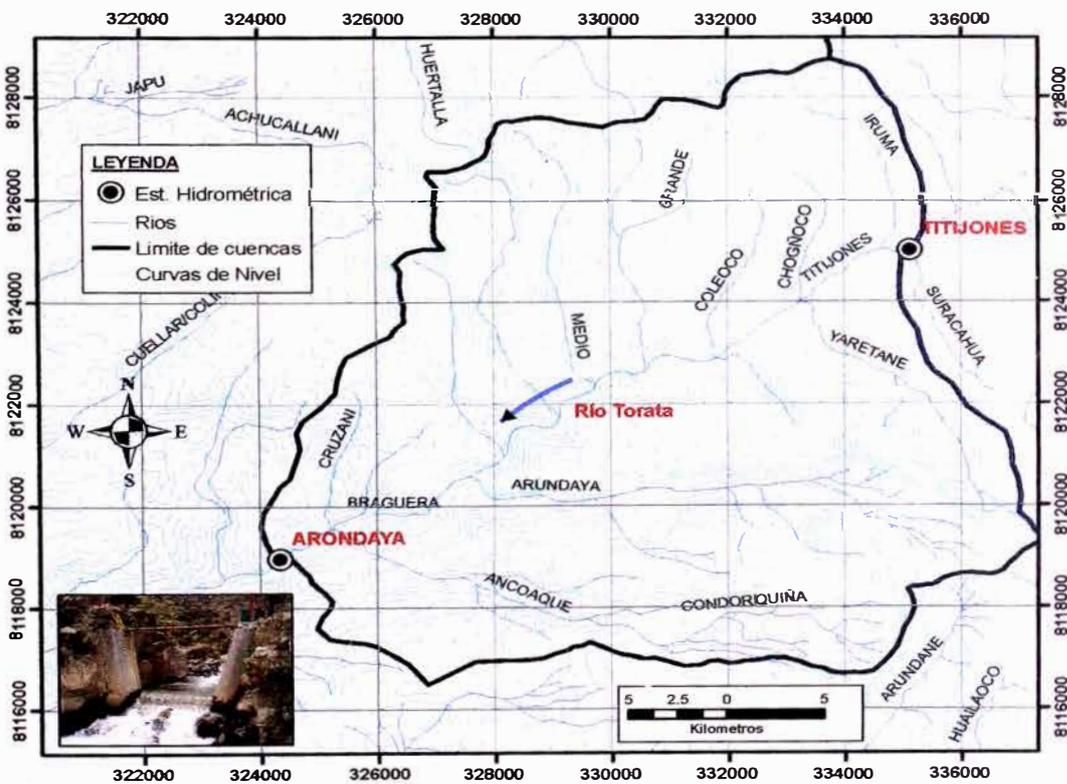


Figura 1.2 Vertedero Arundaya.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 Sub-cuenca Arundaya.

## b) Sub-cuenca de Titijones

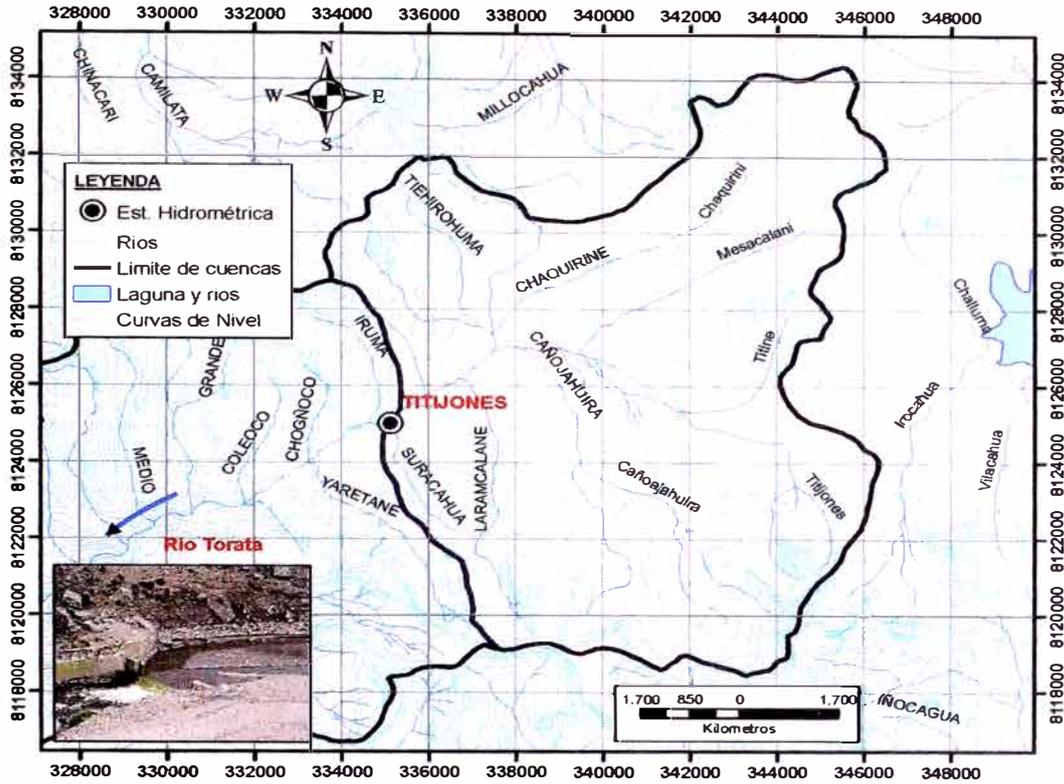
Esta sub-cuenca tiene una cota mínima a los 4100 m.s.n.m. con una superficie de 132.44 Km<sup>2</sup>, donde se observa pendientes suaves cubiertos por pastos naturales y bofedales, limitada por cerros medianos y quebradas poco profundas, generalmente cubierto por nieve a partir de los 4800 msnm. Entre los cerros más elevados podemos mencionar el cerro Trincheras, Arundaya, Timilladera (5000 m.s.n.m.). Esta cuenca presenta quebradas intermitentes que solo se activan durante el período de lluvias y por aporte de bofedales. La pendiente del cauce está en el rango del 2 a 3%.

Su forma topográfica es resultante de la erosión glacial apenas modificada por la erosión fluvial. Esto ha originado una planicie de pendientes más o menos suaves, que termina en laderas bastante empinadas. La cuenca en su zona alta está conformada por roca de origen volcánico perteneciente a la formación del Barroso. Las zonas están cubiertas por morrenas y depósitos fluvio-glaciales formados por gran variedad de arenas, polvo de roca y guijarros de diversos tamaños. La cobertura vegetal está formada por pastos naturales que se muestran agrupados en manojos, como medio de defensa contra las bajas temperaturas [7]

Esta sub-cuenca presenta un punto de control ubicado en su salida denominada estación hidrométrica Titijones.



Figura 1.4 Vertedero Titijones.

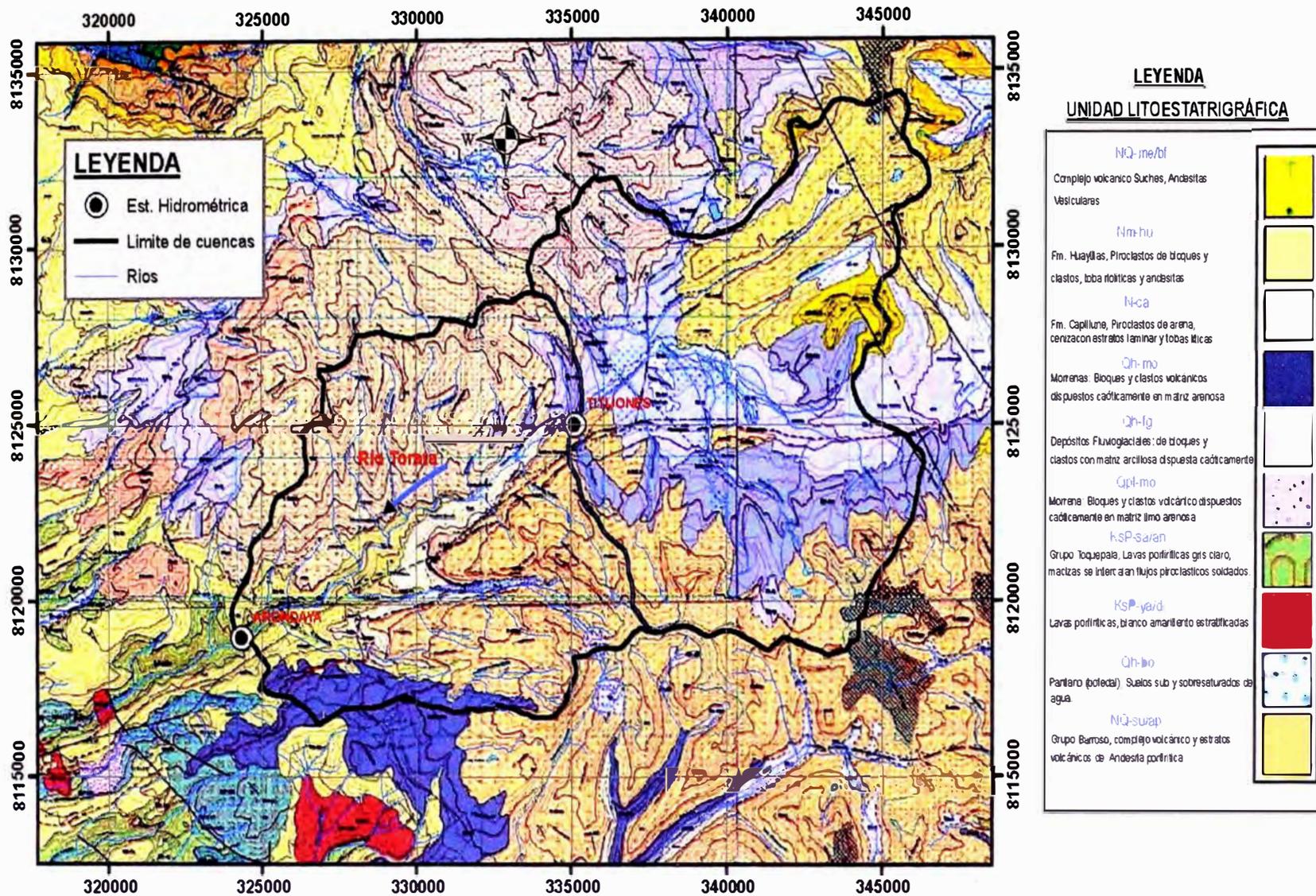


Fuente: Elaboración propia

Figura 1.5 Sub-cuenca Titijones.

El cauce de este tramo corre entre macizos volcánicos y sus correspondientes deposiciones detríticas aluviales y glaciales sin mayor importancia. Las pérdidas de agua se producirán sólo por evaporación más no por filtraciones porque todo el cauce ha alcanzado su correspondiente saturación. (Ref. Bibliográfica N° 12).

Esta información y el plano geológico en escala 1:100,000 (Fuente: INGEMMET) que se muestra en la figura 1.6, es utilizada para definir los tipos de suelos de la zona en estudio en función al grupo hidrológico al que pertenecen.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.6 Mapa Geológico del área de estudio

### 1.1.3 CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA

El estudio ecológico de la cuenca del río Moquegua, realizado por ONERN (1976) indica que existen 3 zonas de vida en la cuenca en estudio, ubicadas en forma escalonada a lo largo de la cuenca.

#### a. Formación Estepa Montano (e-M)

Abarca entre los 3500 a 3900 msnm. El medio ambiente de esta formación se caracteriza por presentar un clima sub-húmedo, con precipitación promedio del orden de 278 mm anuales y temperatura media anual de 0.2 °C, con mucha variación mensual, pues en los meses de Junio y Julio la temperatura desciende bajo cero causando las heladas que son un factor limitante para la agricultura, por lo que la actividad sólo se desarrolla hasta el límite inferior de esta formación; se observa la presencia de extensas áreas con vegetación herbácea (Ichu y festucas) las cuales sirven para el sustento de la ganadería. También existen especies arbustivas leñosas que se aprovechan como combustible (Queñuales).

Topográficamente la formación tiene un paisaje de colinas y cerros de pendiente regular cortadas por quebradas poco profundas. [11]



Figura 1.7 Cobertura vegetal típica (3500 m.s.n.m.)



Figura 1.8 Cobertura vegetal típica (3800 m.s.n.m.)

#### **b. Formación Páramo Húmedo Sub-Alpino (ph-SA)**

Se localiza entre los 3900 a 4500 msnm. y presenta un clima húmedo y frígido, con precipitación anual promedio de 309 mm; la temperatura media anual es 4.1 °C, presentando temperaturas de congelación, razón por la cual esta zona no es propicia para la agricultura; sin embargo existen pastos naturales de baja capacidad de soportabilidad (0.10 U.A/ha/año, U.A: Unidad Animal), debido al alto nivel de sobrepastoreo con ganado ovino y auquénido.

Topográficamente presenta extensas áreas de pendiente suave y relieve ondulado limitadas por quebradas poco profundas y colinas medianas, con extensos sectores rocosos y desnudos y de otro lado áreas con vegetación arbustiva leñosa constituida por Quinares y Queñuares en el límite inferior variando a las especies arbustivas y gramíneas de apreciable valor silvicultural. [11]



Figura 1.9 Cobertura vegetal típica (3900 m.s.n.m.)



Figura 1.10 Cobertura vegetal típica (4200 m.s.n.m.)

### c. Formación Tundra muy Húmeda Alpina (tmh-A)

Ubicada sobre los 4500 msnm cuyo límite superior está alrededor de los 5000 msnm, interrumpida por nevados que se extienden a mayor altura. El clima característico es de tipo per-húmedo muy frío, con precipitación anual de 438 mm y temperatura media anual de 2.5 °C, manteniéndose siempre bajo el nivel de congelamiento durante las noches.

Topográficamente es plana, con laderas y colinas de baja pendiente, y escasa vegetación natural, especies muy resistentes como la almohadilla entremezclada con gramíneas de poco desarrollo que constituyen los pastos aprovechables de esta zona y que se limitan a zonas húmedas (bofedales). Esta zona es también importante por la existencia de

nevados que en cierta forma regulan la hidrología de la cuenca.  
(Referencia Bibliográfica N° 11).



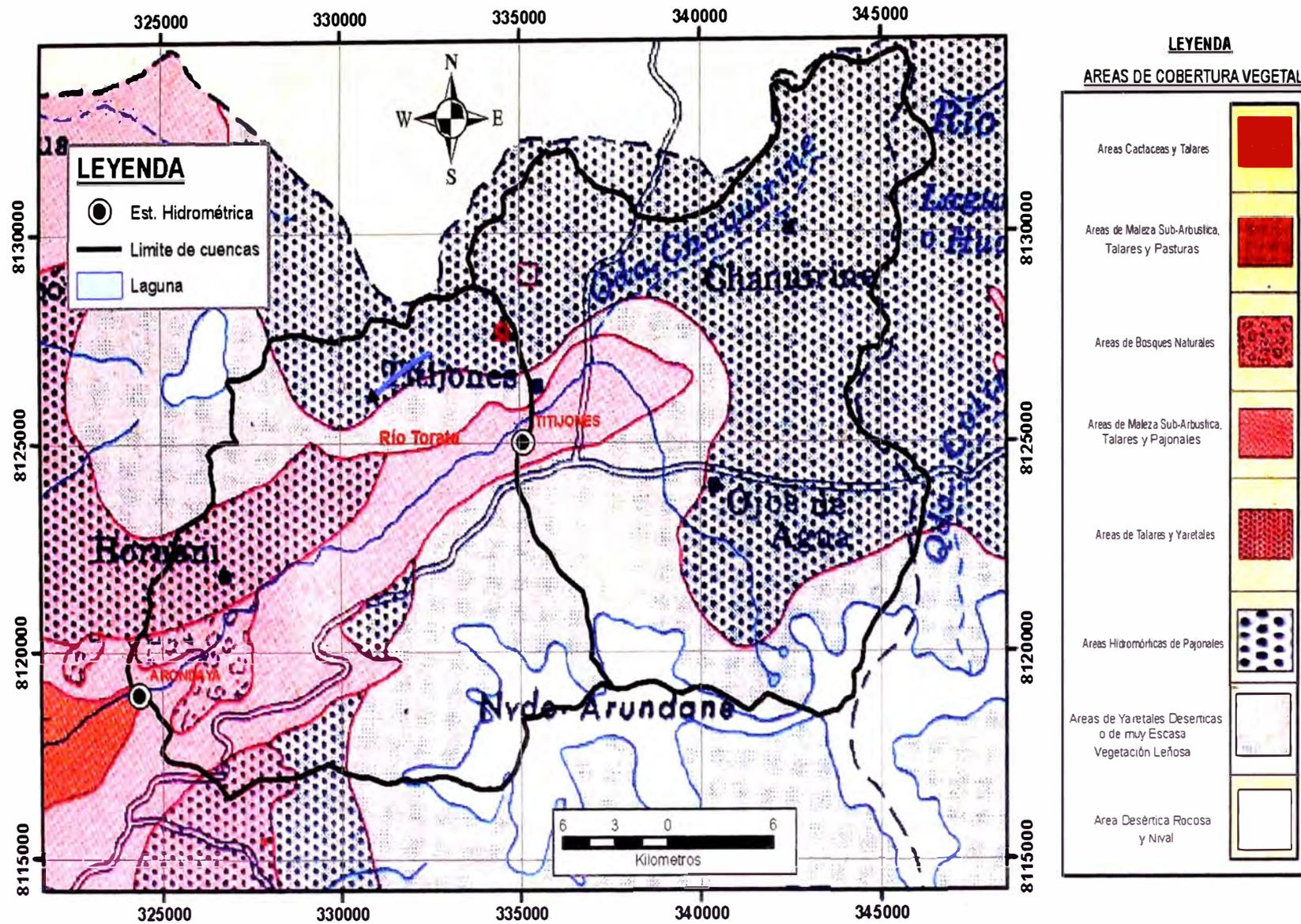
Figura 1.11 Zona de bofedales ( 4400 m.s.n.m.)



Figura 1.12 Cobertura vegetal típica (4500 m.s.n.m.)

Como información para la clasificación del uso de suelo, se utiliza, el estudio ecológico y el plano de cobertura vegetal obtenido del mapa ecológico a escala 1:350,000 (Fuente: ONERN).

El método del número de curva de SCS distingue entre suelos urbanos, pastizales, bosques, agrícolas y áridos, identificando y clasificando dentro de estos el uso de suelo, considerando las condiciones hidrológicas; condición pobre corresponde a menos del 50% de área cubierta, una condición regular corresponde del 50 al 75% del área cubierta, una condición hidrológica buena corresponde a mas del 75% del área cubierta, ver cuadro 2.1 del Capítulo II.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.13 Mapa de Cobertura Vegetal del área de estudio.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La denominación cuenca “pequeña”, “mediana” o “grande” es de muy difícil definición, tomando en consideración únicamente la extensión superficial, es por lo tanto que la clasificación toma en cuenta aspectos del comportamiento atmosférico y de la unidad hidrográfica ante la ocurrencia de los procesos hidrológicos.

En correspondencia con lo anterior descrito, una cuenca “mediana” presenta las siguientes características:

- Variación en la intensidad de precipitación con la duración de la tormenta.
- La precipitación puede ser asumida uniformemente distribuida en el espacio.
- Escorrentía por flujo de superficie y flujo en canales
- El almacenamiento en canales es despreciable.

### 2.1. ESCORRENTIA DE SUPERFICIE

El proceso de escorrentía superficial depende de las características de la superficie, Entre algunos de los elementos que participan de manera directa o indirecta están: los suelos, topografía, cobertura vegetal, cuerpos de agua.

Cualquier cambio en alguno de estos elementos ocasionará efectos en el movimiento del flujo en la superficie, como se describe en los siguientes puntos.

#### 2.1.1. SUELO

Formado por rocas, minerales, material orgánico y otros compuestos químicos, el suelo tiene funciones de gran importancia como proveer del medio para el crecimiento (agua, minerales, soporte) de las plantas, consumo de desechos y restos de plantas muertas, reciclaje de nutrientes, participación en la regulación del flujo de gases invernaderos y absorción de agua.

Dependiendo de determinadas características de los suelos se verán favorecidos los procesos de infiltración o escurrimiento de agua, afectando la calidad y los flujos de agua. La textura de los suelos o tamaños de las partículas influyen en la

velocidad de movimiento del agua, la capacidad de almacenarse y la susceptibilidad del suelo a la erosión y saturación.

Los suelos arenosos permiten la rápida infiltración pero no retienen mucha agua y se erosionan con facilidad. Por otro lado, los suelos de arcilla de fina textura tienen baja velocidad de percolación pero altas capacidades de almacenamientos que los hacen susceptibles a la saturación. Los suelos de textura limosa, tienen una capacidad de infiltración intermedia entre los dos ya mencionados.

### **2.1.2. VEGETACIÓN**

De los factores que afectan el escurrimiento directo y la erosión, la cobertura vegetal es el que tiene mayor influencia. Pequeñas variaciones en ella, con respecto al resto de los factores (clima, suelo, relieve y manejo), ocasionan mayores porcentajes de variación en las tasas de escurrimiento y pérdida de suelo.

Las plantas y sus residuos protegen los suelos interceptando las gotas de agua y disminuyendo la fuerza con la que éstas chocan con el suelo. De este modo, se evita la compactación y formación de costra en los suelos; efectos que disminuyen la infiltración y aumentan los escurrimientos.

El hecho que las gotas se tarden más tiempo en alcanzar el suelo al correr por los troncos y hojas de los árboles evita que el suelo se sature de agua tan rápidamente, por ejemplo en el caso de una fuerte lluvia; mitigando la posibilidad de inundaciones y desbordamientos.

Es por esto que las cuencas hidrográficas forestadas disipan la energía asociada con las lluvias, mientras que las cuencas con suelos desnudos y cobertura de tipo antropogénica tienen menos capacidad para protegerse.

### **2.1.3. TOPOGRAFÍA**

La topografía es un factor muy importante en el proceso de escorrentia superficial debido al comportamiento del flujo a diferentes pendientes, que presenta tanto el cauce natural o la superficie de la cuenca, ya que a mayor

pendiente del cauce natural o de la pendiente media las velocidades del flujo serían mayores, los cuales implican un hidrograma con un caudal pico mucho más pronunciado.

## 2.2. HIDROGRAMA UNITARIO

El método del Hidrograma Unitario tiene en cuenta, además del área y la intensidad de la lluvia, como lo hace el método racional, la forma, pendiente y características fisiográficas de la cuenca de estudio, aunque lo hace de forma implícita.

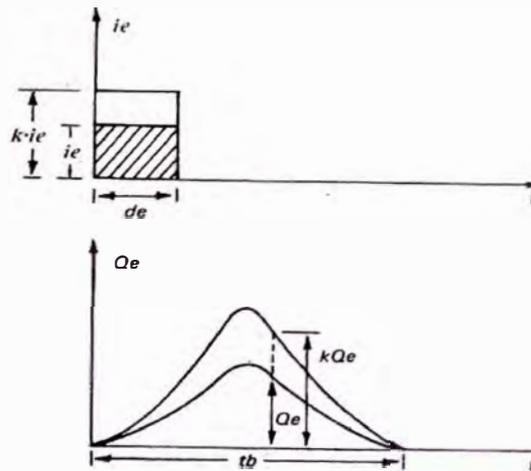
El Hidrograma Unitario es el hidrograma de escorrentía directa causado por una lluvia efectiva unitaria (1cm ó 1mm, por ejemplo), de intensidad constante a lo largo de la duración efectiva y distribuida uniformemente sobre el área de drenaje (Sherman, 1932).

### a. Principio de proporcionalidad

Para una lluvia efectiva de una duración dada, el volumen de lluvia, que es igual al volumen de escorrentía directa, es proporcional a la intensidad de dicha lluvia. Como los hidrogramas de escorrentía directa correspondientes a lluvias efectivas de la misma duración, tienen el mismo tiempo base, se concluye que las ordenadas de dichos hidrogramas serán proporcionales a la intensidad de la lluvia efectiva (Figura 2.1). Es decir [15]:

$$\frac{Pe_1}{Pe_2} = \frac{Qe_1}{Qe_2} = k \quad (2.1)$$

Donde  $Pe$  es el volumen de lluvia efectiva,  $ie$ , la intensidad efectiva y  $Qe$ , el caudal de escorrentía directa.



Fuente: Referencia bibliográfica N°15  
 Figura 2.1. Principio de proporcionalidad.

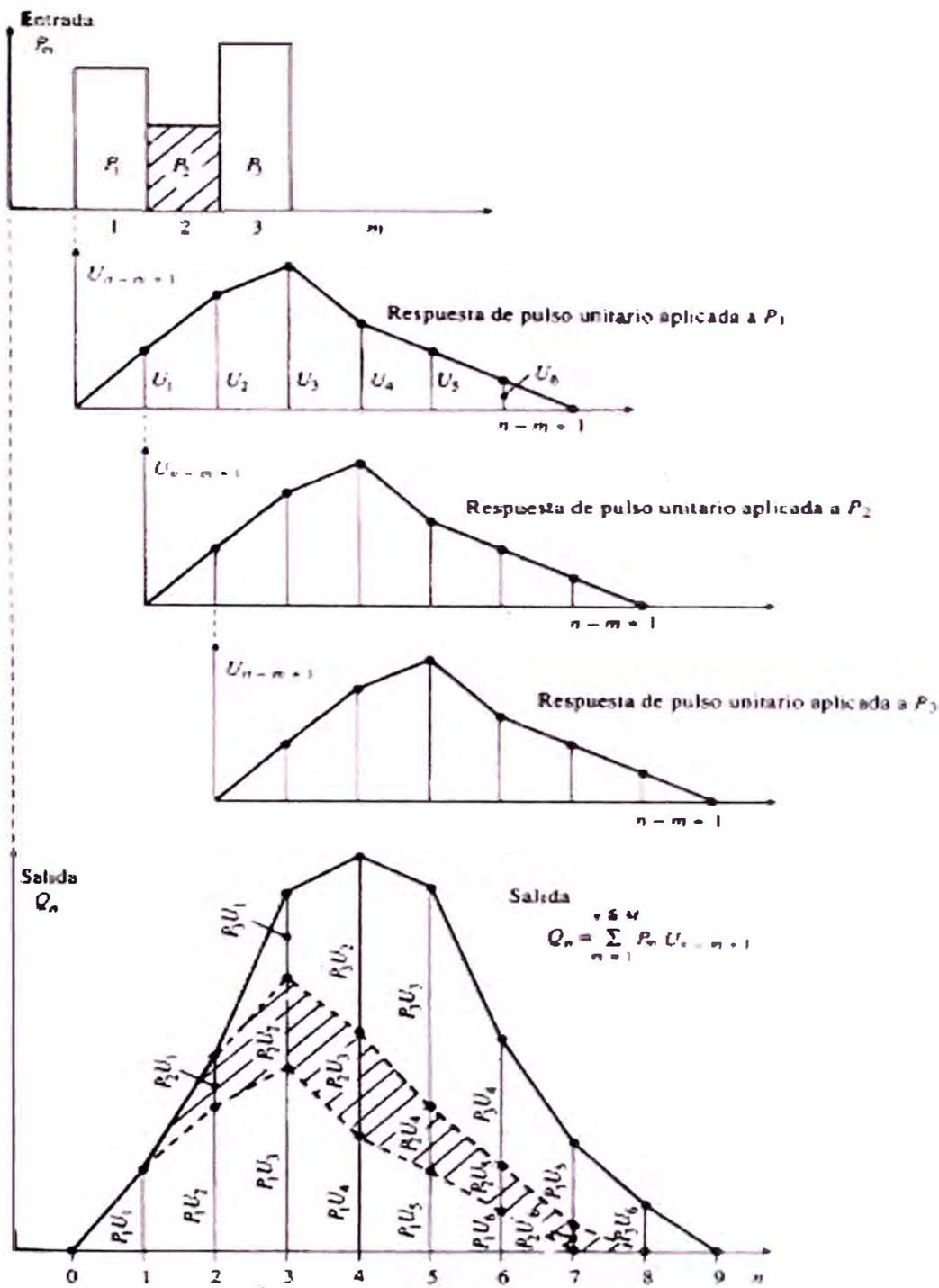
**b. Principio de superposición**

Los caudales de un hidrograma total de escorrentía directa producidos por lluvias efectivas sucesivas pueden ser hallados sumando los caudales de los hidrogramas de escorrentía directa correspondientes a las lluvias efectivas individuales, teniendo en cuenta los tiempos en que ocurren tales lluvias.

La aplicación de los principios de proporcionalidad y superposición llevan a la definición de la llamada ecuación de convolución discreta [15]:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \tag{2.2}$$

donde  $Q_n$  es el caudal de escorrentía directa en el instante  $n$ ,  $P_m$ , la precipitación efectiva del bloque  $m$  y  $U_{n-m+1}$  los caudales por unidad de precipitación efectiva del hidrograma unitario.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.2. Principio de superposición.

### 2.2.1. CÁLCULO MATRICIAL DEL HIDROGRAMA UNITARIO

La ecuación de convolución discreta puede expresarse en forma matricial de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ P_2 & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ P_3 & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ P_M & P_{M-1} & P_{M-2} & \dots & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_M & P_{M-1} & \dots & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & P_M & P_{M-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & P_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_{N-M+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \vdots \\ Q_M \\ Q_{M+1} \\ \vdots \\ Q_{N-1} \\ Q_N \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$[P] \cdot [U] = [Q]$$

Figura 2.3. Cálculo matricial del Hidrograma Unitario.

Dados [P] y [Q], usualmente no existe solución para [U] que satisfaga todas las N ecuaciones. Si se da una solución [U] que da como resultado un [Q] estimado como:

$$[P] \cdot [U] = [\bar{Q}]$$

que satisface todas las ecuaciones. Se busca una solución que minimice el error  $[Q] - [\bar{Q}]$  entre los hidrogramas observado y estimado.

#### Solución por regresión lineal

La solución por regresión lineal consiste en calcular las ordenadas del hidrograma unitario [U], conociendo las ordenadas de la lluvia efectiva [P] y los caudales de escorrentía directa de la cuenca [Q]:

$$[P] \cdot [U] = [Q]$$

$$[N \cdot (N-M+1)] \cdot [(N-M+1) \cdot 1] = (N \cdot 1)$$

$$[P]^T \cdot [P] \cdot [U] = [P]^T \cdot [Q]$$

$$[(N-M+1) \cdot N] \cdot [N \cdot (N-M+1)] \cdot [(N-M+1) \cdot 1] = [(N-M+1) \cdot N] \cdot (N \cdot 1)$$

$$[P^T \cdot P] \cdot [U] = [P^T \cdot Q]$$

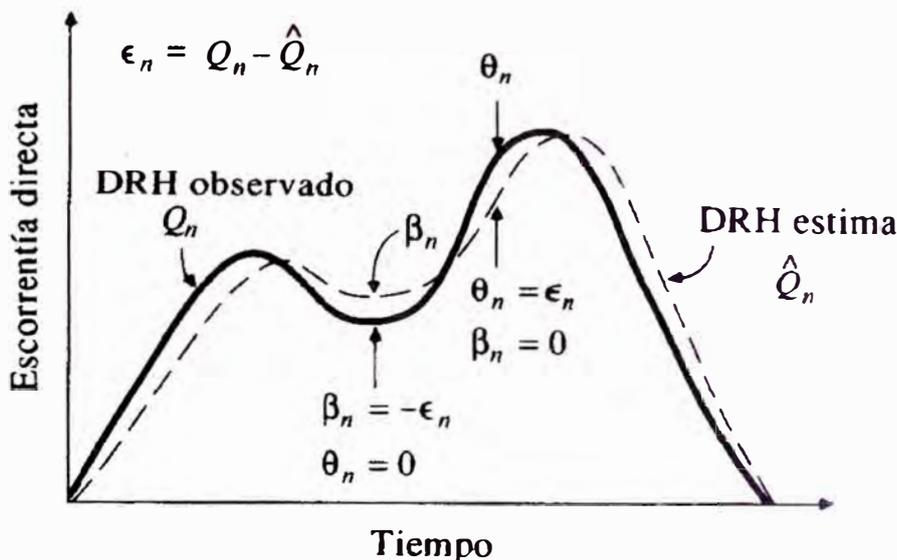
$$[(N-M+1) \cdot (N-M+1)] \cdot [(N-M+1) \cdot 1] = [(N-M+1) \cdot 1]$$

$$[U] = [P^T \cdot P]^{-1} \cdot [P^T \cdot Q]$$

$$[(N-M+1) \cdot 1] = [(N-M+1) \cdot (N-M+1)] \cdot [(N-M+1) \cdot 1]$$

### Solución por optimización

La solución por optimización consiste en proponer a priori las ordenadas del hidrograma unitario mediante algún método (H.U. triangular, SCS, etc), encontrar con ese hidrograma unitario un hidrograma de caudales calculado  $Q$  y comparar esta solución con el hidrograma de caudales observado  $Q_n$  (Figura 2.4).



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.4. Diferencias entre un hidrograma unitario obtenido del cálculo y otro observado.

El objetivo sería minimizar el error entre los hidrogramas calculado y observado, a través de la modificación de las ordenadas del hidrograma unitario previo. Dicha minimización puede hacerse por programación lineal, en donde la función a minimizar sería la siguiente:

$$f = \sum_{n=1}^N [Q_n - \hat{Q}_n] \quad (2.4)$$

O bien por mínimos cuadrados, en donde la función a minimizar sería:

$$f = \sum_{n=1}^N (Q_n - \hat{Q}_n)^2 \quad (2.5)$$

#### 2.2.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Una vez que se ha obtenido el hidrograma unitario correspondiente a una duración de lluvia efectiva determinada, la aplicación del método del hidrograma unitario para encontrar el hidrograma de escorrentía directa puede resumirse en los siguientes pasos:

- Determinar el hietograma de la lluvia de diseño.
- Determinar el hietograma de lluvia efectiva a través de la estimación de las abstracciones.
- Ajustar la duración del hidrograma unitario según se necesite, a través del hidrograma en S. Esto puede ser necesario dado que el intervalo de tiempo utilizado para definir las ordenadas del hietograma de lluvia efectiva debe ser el mismo que el especificado para el hidrograma unitario.
- Calcular el hidrograma de escorrentía directa a través de la ecuación discreta de convolución.
- Calcular el hidrograma de caudal sumando un flujo base estimado al hidrograma de escorrentía directa.

### 2.2.3. HIDROGRAMAS UNITARIOS SINTÉTICOS

El hidrograma unitario calculado a partir de la información de lluvia y caudal de una cuenca se aplica solamente a la cuenca y al punto del cauce en donde se midieron los caudales. Los hidrogramas unitarios sintéticos se utilizan para calcular hidrogramas unitarios en otros puntos del cauce dentro de la misma cuenca, o bien, en cuencas adyacentes de carácter similar. Existen tres tipos de hidrogramas unitarios sintéticos, pero solo describiremos los dos primeros:

- a. Los que relacionan las características del hidrograma unitario con las características de la cuenca (Snyder, Gray)
- b. Los basados en hidrogramas unitarios adimensionales (SCS)
- c. Los basados en modelos de almacenamiento y tránsito de la cuenca (Clark)

#### a. HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO DE SNYDER

Snyder realizó estudios en cuencas de los Montes Apalaches (EEUU), con áreas de 30 a 30,000 km<sup>2</sup> y encontró relaciones sintéticas de un hidrograma unitario estándar (Figura 2.5a) a partir de las cuales pueden calcularse las características de un hidrograma unitario requerido (Figura 2.5b). Para una duración de lluvia efectiva determinada, los parámetros del hidrograma unitario requerido son [6]:

- Retardo de la cuenca,  $t_{pR}$ : diferencia de tiempo entre el centroide del hidrograma efectivo y el pico del hidrograma unitario
- Caudal punta o pico por unidad de área de la cuenca,  $q_{pR}$
- Tiempo base,  $t_b$
- Ancho  $W_{50}$  [T] del hidrograma unitario al 50 % del caudal pico
- Ancho  $W_{75}$  [T] del hidrograma unitario al 75 % del caudal pico

Snyder definió el hidrograma unitario estándar como aquel que cumple que:

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad (2.6)$$

donde  $t_r$  es la duración de la lluvia efectiva y  $t_p$  el tiempo de retardo, ambos del hidrograma unitario estándar. Además encontró que para un hidrograma unitario estándar el tiempo de retardo es:

$$t_p = 0.75C_t (L L_c)^{0.3} \text{ [h]} \quad (2.7)$$

donde  $L$  es la longitud del cauce principal hasta la divisoria de aguas arriba [km],  $L_c$  es la distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto del cauce principal más cercano al centroide del área de la cuenca [km] y  $C_t$  es un coeficiente que varía entre 1,35 (pendientes altas) y 1,65 (pendientes bajas). También para el hidrograma unitario estándar se encontró que el caudal pico por unidad de área es:

$$q_p = \frac{2.75C_p}{t_p} \text{ [m}^3\text{/s}\cdot\text{km}^2\text{]} \quad (2.8)$$

donde  $C_p$  es un coeficiente que varía entre 0,56 y 0,69. Para calcular los coeficientes  $C_t$  y  $C_p$  de una cuenca instrumentada se sigue el siguiente procedimiento:

- Se miden  $L$  y  $L_c$  de un mapa de la cuenca.
- De un hidrograma unitario deducido con una lluvia efectiva y un hidrograma de caudales, que será nuestro "hidrograma unitario requerido", se obtiene  $t_R$ ,  $t_{pR}$  y  $q_{pR}$ .
- Si  $t_{pR} \approx 5,5 t_R$ , entonces se considera  $t_{pR} = t_p$ ,  $q_{pR} = q_p$  y se calculan  $C_t$  y  $C_p$  de las ecuaciones correspondientes.
- Si  $t_{pR}$  es muy distinto de  $5,5 t_R$ , el tiempo de retardo estándar es:

$t_p = t_{pR} + \frac{t_r - t_R}{4}$ ; que se resuelve junto con  $t_p = 5,5 t_r$  para calcular  $t_r$  y  $t_p$ ,

luego se calculan  $C_t$  y  $C_p$  con  $t_{pR} = t_p$  y  $q_{pR} = q_p$

Las restantes relaciones necesarias para encontrar el hidrograma unitario correspondiente a nuestra cuenca son:

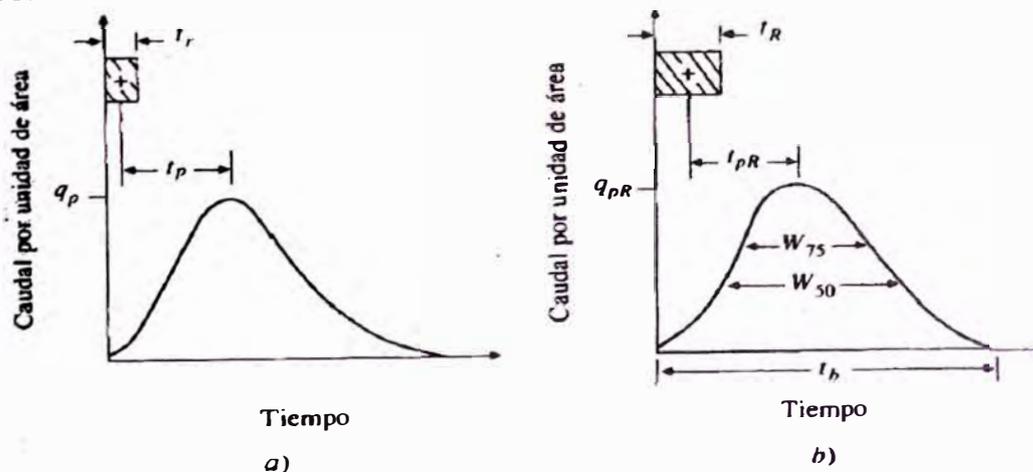
$$q_{pR} = \frac{q_p t_p}{t_{pR}} \quad (2.9)$$

$$t_r = \frac{5.56}{q_{pR}} \quad (2.10)$$

$$W_{50} = 2.14 q_{pR}^{-1.08} \quad (2.11)$$

$$W_{75} = 1.22 q_{pR}^{-1.08} \quad (2.12)$$

Se acostumbra distribuir el ancho  $W$  de manera tal que quede una tercera parte antes del tiempo al pico y dos terceras partes después del tiempo al pico.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.5. a) Hidrograma unitario estándar ( $t_p = 5.5 t_r$ );

b) Hidrograma unitario requerido ( $t_p \neq 5.5 t_r$ ).

## b. HIDROGRAMA ADIMENSIONAL DEL SCS

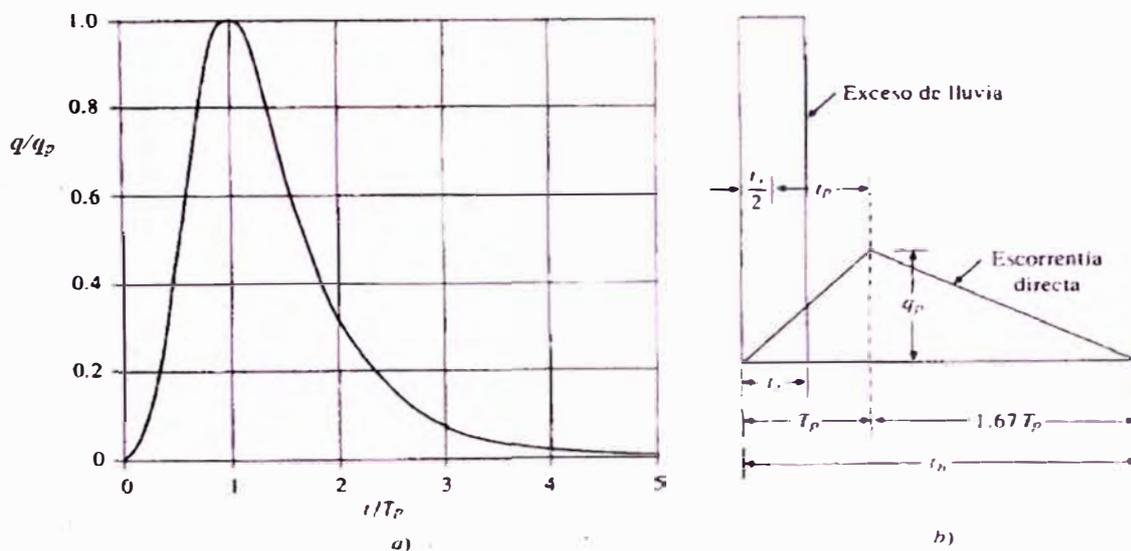
El hidrograma adimensional del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU.) desarrollado por Victor Mockus en 1950, es un hidrograma unitario sintético en el cual se expresan los caudales en función del caudal pico,  $q_p$  y los tiempos en función del tiempo al pico,  $T_p$

(Figura 2.6 a). Los valores de  $q_p$  y  $T_p$  se estiman basándose en el hidrograma unitario triangular del SCS (Figura 2.6 b). [6]

Basándose en una gran cantidad de hidrogramas unitarios, el SCS sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse a  $1,67 T_p$ . Como el área del hidrograma es igual a 1 cm, se demuestra que:

$$q_p = \frac{2.08 A}{T_p} \quad (2.13)$$

Donde  $q_p$  es el caudal pico [ $m^3/s \cdot cm$ ],  $A$  es el área de drenaje [ $km^2$ ] y  $T_p$  es el tiempo al pico [horas]



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.6. a) Hidrograma adimensional del SCS; b) Hidrograma unitario triangular.

Tiempo de concentración de la cuenca,  $T_c$ : es el tiempo que tarda una gota de agua en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida.

De acuerdo con esta definición, según análisis realizados en cuencas, podría calcularse el tiempo de retardo, también llamado  $t_{lag}$ , como:

$$t_{lag} \approx 0.6 T_c \quad (2.14)$$

De esta manera el tiempo al pico será:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_{lag} \quad (2.15)$$

Donde  $t_r$  es la duración de la lluvia efectiva.

## 2.3. ABSTRACCIONES O RETENCIONES

Las abstracciones incluyen las intercepciones de precipitación por la vegetación del terreno, el almacenamiento en depresiones en la superficie del suelo a medida que el agua se acumula en hundimientos en la superficie, e infiltración de agua en el suelo. Las abstracciones por intercepción y almacenamiento en depresiones se estiman con base en la naturaleza de la vegetación y de la superficie del terreno o se suponen despreciables en una tormenta grande.

En algunos casos las tasas de abstracciones de una lluvia se determina usando un hidrograma de caudal conocido. En la mayor parte de los problemas hidrológicos, el hidrograma de caudal no se encuentra disponible y las abstracciones tienen que determinarse calculando la infiltración y teniendo en cuenta separadamente las otras formas de abstracción, como intercepción y detención o almacenamiento en depresiones.

### 2.3.1. METODO DEL NÚMERO DE CURVA

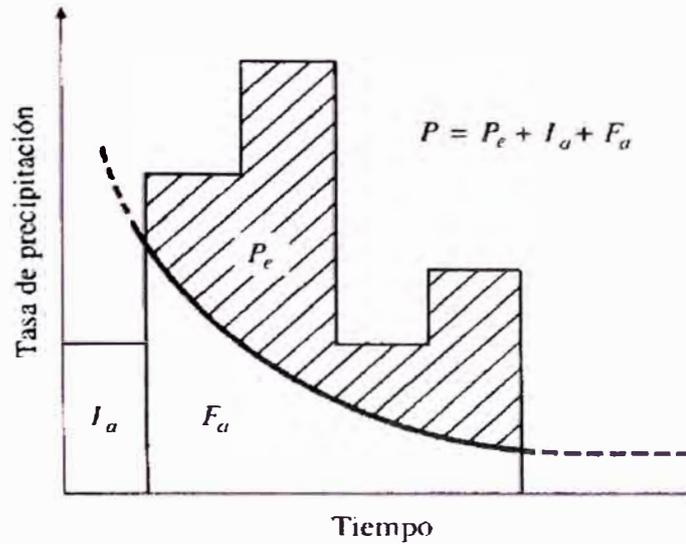
#### 2.3.1.1. MÉTODO DEL SCS PARA ABSTRACCIONES

El Soil Conservation Service de los Estados Unidos de America, SCS (1972), ahora llamada Natural Resource Conservation Service (NRCS), desarrolló un método, denominado Número de Curva (CN), para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen las intercepciones, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha. Los conceptos generales utilizados en este método considera que la precipitación efectiva,  $P_e$ , es siempre menor ó a lo sumo igual que la precipitación total,  $P$ , que la retención acumulada,  $F_a$ , es siempre menor ó a lo sumo igual que la retención potencial máxima,  $S$ , y que la escorrentía potencial, es decir, el máximo volumen de agua que puede convertirse en escorrentía es  $P - I_a$ . [6]

La hipótesis fundamental del método es la validez de la siguiente relación:

$$\frac{P_a}{P - I_a} \quad (2.16)$$

Por continuidad se sabe que  $P = P_e + I_a + F_a$ . En la Figura 2.7 se representan las variables que intervienen en el método del SCS.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.7. Variables que intervienen en el método del SCS para abstracciones

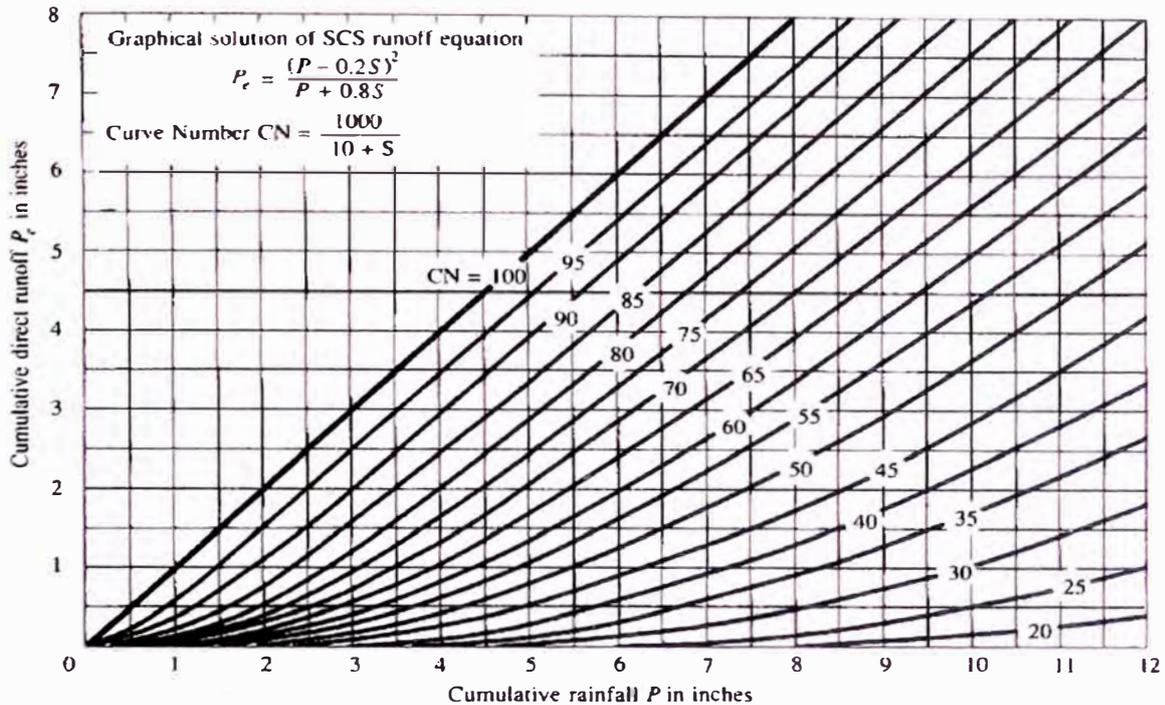
Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.17)$$

Con la información de muchas cuencas experimentales, el SCS, encontró que  $I_a = 0.2 S$ , con lo cual:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.18)$$

El SCS analizó también la relación entre P y  $P_e$  para muchas cuencas y encontró curvas que son función del tipo de superficie de las cuencas. Para estandarizarlas definió el número de curva, CN, tal que  $0 \leq CN \leq 100$  y que se presentan en la Figura 2.8



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.8. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS (SCS, 1972).

A las superficies impermeables y superficies de agua les corresponde un CN igual a 100, ya que toda el agua que cae en ellas se convierte en escorrentía. Para las superficies naturales, en general permeables, el CN será menor que 100.

Puede calcularse  $S$  en función del  $CN$  a través de las siguientes ecuaciones, según se utilice el sistema de medidas inglesas o internacional, respectivamente:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \text{ [pulg]} \tag{2.19}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ [mm]} \tag{2.20}$$

Los CN de la Figura 2.8 corresponden a condiciones de humedad antecedente normales (AMC II). Si deseamos calcular la escorrentía sobre una cuenca cuyas condiciones de humedad antecedentes son diferentes, secas (condición antecedente de humedad I o AMC i) o húmedas (condición de humedad antecedente III o AMC III), puede encontrarse el CN correspondiente, aplicando las siguientes fórmulas:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (2.21)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (2.22)$$

Los CN han sido tabulados por el SCS en función del tipo de suelo y el uso de la tierra. Los suelos de los Estados Unidos han sido clasificados en cuatro grupos hidrológicos:

- **A** (bajo potencial de escurrimiento): Los suelos tienen alta tasa de infiltración aún cuando están muy mojados. Principalmente consisten de arena y grava profundas, bien drenadas a excesivamente bien drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
- **B**: estos suelos tienen tasa de infiltración moderada cuando están muy mojados. Principalmente son suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados que tienen una textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Tienen una tasa de transmisión de agua moderada.
- **C**: estos suelos tienen baja tasa de infiltración cuando están muy mojados. Tienen principalmente una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua o tienen textura de moderadamente fina a fina. Tienen baja tasa de transmisión de agua.
- **D** (alto potencial de escurrimiento): Estos suelos tienen una baja tasa de infiltración cuando están muy mojados. Consisten principalmente de suelos arcillosos que tienen alto potencial de hincharse, alto nivel freático, capa de arcilla cerca o en la superficie y suelos que son superficiales casi materiales impenetrables. Tiene una baja tasa de transmisión de agua.

En el Cuadro 2.1a se presentan los CN en función del grupo hidrológico del suelo, según el SCS (1972).

Cuadro 2.1a: Número de Curva CN (AMC II)

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	83
Áreas abiertas, césped, parques,	en condiciones óptimas, cubierta >75%	39	61	74	80
Áreas abiertas, césped, parques,	en condiciones aceptables entre el 50% y 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales	85% impermeable	89	92	94	95
Áreas industriales	72% impermeable	81	88	91	93
<b>Residencial</b>					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
505.8 m <sup>2</sup>	65%	77	85	90	92
1011.6 m <sup>3</sup>	38%	61	75	83	87
1348.9 m <sup>4</sup>	30%	57	72	81	86
2023.5 m <sup>5</sup>	25%	54	70	80	85
4046.9 m <sup>6</sup>	30%	51	68	79	84
Pavimentos, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimento con cunetas y alcantarillado	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: Referencia Bibliográfica N°15

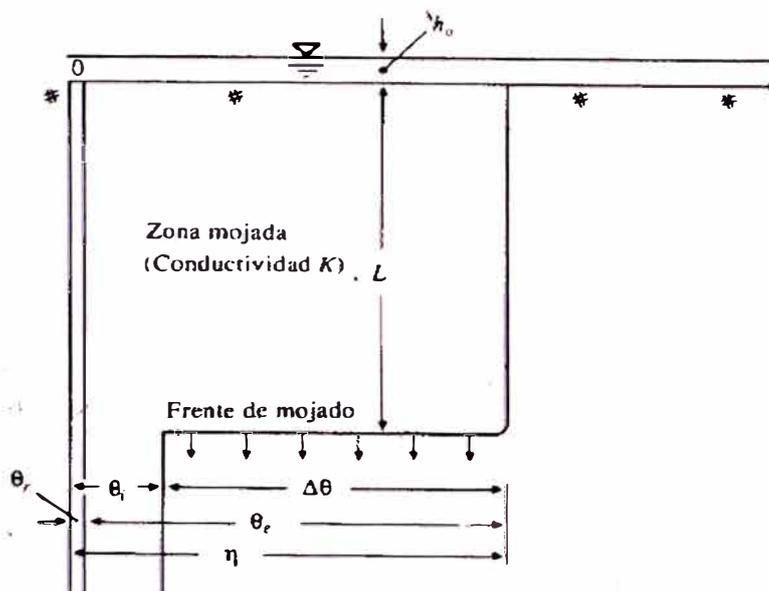
Cuadro 2.1b. Condiciones de Humedad Antecedente.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (cm)	
	Estación inactiva	Estación activa
I	Menor que 1.3	Menor que 3.6
II	1.3 a 2.8	3.6 a 5.3
III	Sobre 2.8	Sobre 5.3

Fuente: Referencia Bibliográfica N°15

### 2.3.2. MODELO DE GREEN AMPT

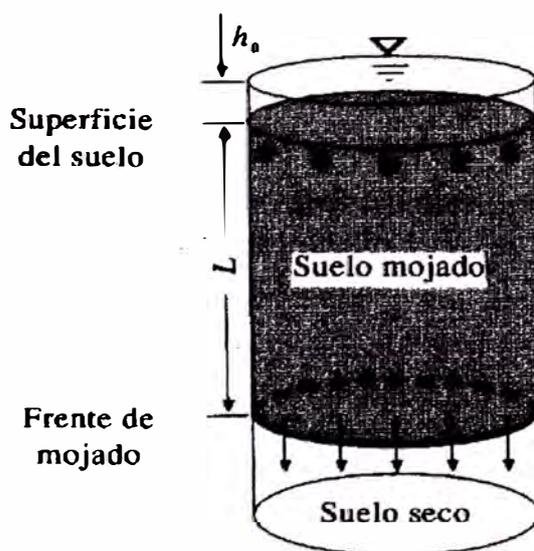
Green y Ampt (1911) desarrollaron una teoría física más aproximada con una solución analítica exacta. Ellos propusieron el modelo simplificado de la Figura 2.9. [6]



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.9. Variables que intervienen en el modelo de infiltración de Green-Ampt

La teoría de Green-Ampt considera un frente mojado que divide el suelo con contenido de humedad  $\theta_i$  debajo del suelo saturado con contenido de humedad  $\theta_s = \eta$ . El frente mojado ha penetrado hasta una profundidad  $L$  desde el momento  $t$  en que empieza la infiltración. El agua se encharca en la superficie hasta una pequeña altura  $h_0$ .



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.10. Infiltración en una columna de suelo de área unitaria por el método de Green-Ampt

Si consideramos una columna vertical de suelo de área transversal horizontal unitaria, como la de la Figura 2.10, podemos deducir que la cantidad de agua almacenada como resultado de la infiltración es  $L(\eta - \theta_i)$  es:

$$F(t) = L(\eta - \theta_i) = L(\theta_s - \theta_i) = L \Delta\theta \quad (2.23)$$

Según la ley de Darcy:

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.24)$$

En este caso  $q$  es constante a través de toda la profundidad y es igual a  $-f$ , debido a que  $q$  es positiva hacia arriba, mientras que  $f$  es positivo hacia abajo. Si el punto 1 coincide con la superficie del suelo y el punto 2 se localiza en el lado seco del frente de mojado, la ley de Darcy puede aproximarse por:

$$f = K \left[ \frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2} \right] \quad (2.25)$$

La altura de carga en la superficie  $h_1$  es igual a la profundidad de encharcamiento  $h_0$ . La altura  $h_2$  en el suelo seco por debajo del frente de mojado es  $-\psi - L$ , entonces:

$$f = K \left[ \frac{h_0 - (-\psi - L)}{L} \right] \approx K \left[ \frac{\psi + L}{L} \right] \quad (2.26)$$

La profundidad del frente mojado  $L = F/\Delta\theta_2$ , y suponiendo  $h_0 = 0$ , nos queda:

$$f = K \left[ \frac{\psi \Delta\theta + F}{F} \right] \quad (2.27)$$

Como  $f = dF/dt$ , entonces la ecuación anterior puede expresarse como:

$$\frac{dF}{dt} = K \left[ \frac{\psi \Delta\theta + F}{F} \right] \quad (2.28)$$

Desarrollando matemáticamente e integrando podemos encontrar el valor de  $F(t)$ :

$$F(t) = Kt + \psi \Delta\theta \ln \left( 1 + \frac{F(t)}{\psi \Delta\theta} \right) \quad (2.29)$$

Que es la ecuación de Green-Ampt para infiltración acumulada. Es una ecuación implícita en  $F$  resoluble por métodos iterativos, como el de Newton-Raphson. Una vez calculada  $F$ , la tasa de infiltración puede obtenerse como:

$$f(t) = K \left[ \frac{\Psi \Delta \theta}{F(t)} + 1 \right] \quad (2.30)$$

### **Parámetros de Green-Ampt**

La aplicación del modelo de Green-Ampt, requiere la estimación de la conductividad hidráulica,  $K$ , la porosidad,  $\eta$  y la altura de succión del frente de mojado,  $\psi$ . La variación de la altura de succión y de la conductividad hidráulica con la humedad del suelo fue estudiada por Brooks y Corey (1964), quienes concluyeron, en función de muchos ensayos de laboratorio, que  $\psi$  puede expresarse en función de una  *saturación efectiva*,  $s_e$ .

Se define como  *humedad residual*,  $\theta_r$ , al contenido de humedad después de haber drenado completamente el suelo. La saturación efectiva se define entonces como:

$$s_e = \frac{\text{humedad disponible}}{\text{máx contenido de humedad posible}} = \frac{\theta - \theta_r}{\eta - \theta_r} \quad (2.31)$$

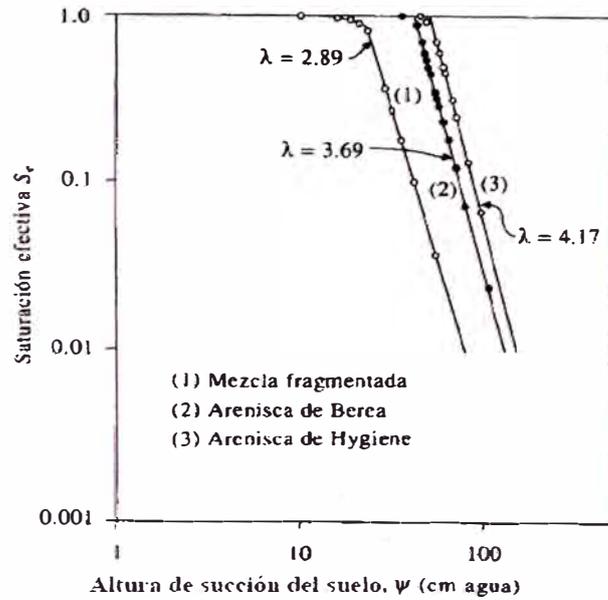
Donde la diferencia  $\eta - \theta_r$  también se llama  *porosidad efectiva*,  $\theta_e$ .

De la ecuación anterior, para la condición inicial,  $\theta = \theta_i = s_e \theta_e + \theta_r$  y la variación de humedad cuando pasa el frente de mojado es  $\Delta \theta = \eta - \theta_i = (1 - s_e) \theta_e$

Brooks y Corey (1964) dedujeron de sus estudios que:

$$s_e = \left[ \frac{\Psi_b}{\Psi} \right] \quad (2.32)$$

De la cual,  $\psi_b$  y  $\lambda$  son constantes que se obtienen mediante el secado del suelo por etapas, midiendo  $s_e$  y  $\psi$  en cada una de las etapas. En la Figura 2.11 se muestra el resultado de los ensayos de Brooks y Corey.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.11. Relación entre la altura de succión y la saturación efectiva, según Brooks y Corey (1964).

Bouwer (1966) estudió la variación de la conductividad hidráulica,  $K$ , con el contenido de humedad y concluyó que  $K$  en flujo no saturado es aproximadamente la mitad que  $K$  en flujo saturado. En la cuadro 2.2 se presentan los parámetros para calcular la infiltración según el modelo de Green-Ampt en función de la clase de suelo.

Clase de suelo	Porosidad $n$	Porosidad efectiva $\theta_e$	Altura de succión del frente mojado $\psi$ cm	Conductividad Hidráulica $K$ cm/h
Arena	0.437 (0.374-0.500)	0.417 (0.354-0.480)	4.95 (0.97-25.36)	11.78
Arena con loam	0.437 (0.363-0.506)	0.401 (0.329-0.473)	6.13 (1.35-27.36)	2.99
Loam arenoso	0.453 (0.351-0.555)	0.412 (0.283-0.541)	11.01 (2.67-45.47)	1.09
Loam	0.463 (0.375-0.551)	0.434 (0.334-0.534)	8.89 (1.33-59.38)	0.34
Loam limoso	0.501 (0.420-0.582)	0.486 (0.394-0.578)	16.68 (2.92-95.39)	0.65
Loam arcillo-arenoso	0.398 (0.332-0.464)	0.330 (0.235-0.425)	21.85 (4.42-108.0)	0.15
Loam arcilloso	0.464 (0.409-0.519)	0.309 (0.279-0.501)	20.88 (4.79-91.10)	0.10
Loam arcillo-limoso	0.471 (0.418-0.524)	0.432 (0.347-0.517)	27.30 (5.67-131.50)	0.10
Arcilla arenosa	0.430 (0.370-0.490)	0.321 (0.207-0.435)	23.90 (4.08-140.2)	0.06
Arcilla limosa	0.479 (0.425-0.533)	0.423 (0.334-0.512)	29.22 (6.13-139.4)	0.05
Arcilla	0.475 (0.427-0.523)	0.385 (0.269-0.501)	31.63 (6.39-156.5)	0.03

Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Cuadro 2.2: Parámetros de infiltración de Green-Ampt (Rawls, Brakensiek y Miller, 1983)

El número indicado es la media, mientras que los valores entre paréntesis corresponden al rango de variación.

### Tiempo de encharcamiento

Utilizando la ecuación de Green-Ampt, la infiltración acumulada en el tiempo de encharcamiento es  $F_p = it_p$  y la tasa de infiltración  $f = i$ , por lo que sustituyendo nos queda:

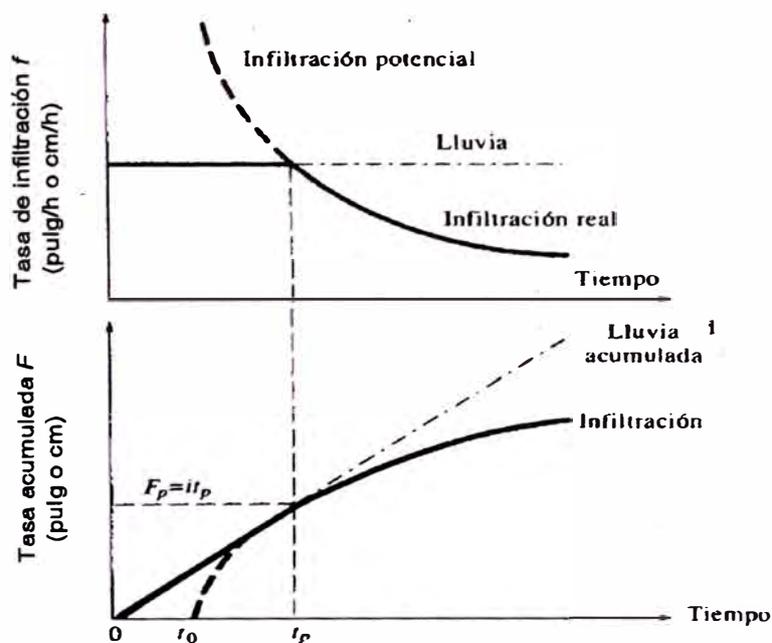
$$i = K \left[ \frac{\Psi \Delta \theta}{it_p} + 1 \right] \quad (2.33)$$

y el tiempo de encharcamiento:

$$t_p = \frac{K\Psi\Delta\theta}{i(i-K)} \quad (2.34)$$

Si la intensidad de lluvia,  $i$  es menor o igual a la conductividad hidráulica,  $K$ , entonces,  $t_p = \infty$  y no ocurrirá encharcamiento. En la Figura 2.12 puede verse la evolución de la tasa de infiltración y la infiltración acumulada en el tiempo para una lluvia de intensidad constante.

Para calcular la tasa de infiltración real después del encharcamiento, debe trazarse una curva de infiltración potencial comenzando en el instante  $t_0$  tal que la infiltración acumulada y la tasa de infiltración en  $t_p$  sea igual a la observada bajo una lluvia que comience en el instante  $t = 0$  (Línea de trazos en la Figura 2.12).



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.12. Tasa de infiltración e infiltración acumulada para lluvias de intensidad constante

Substituyendo  $t = t_p - t_0$  y  $F = F_p$  en la ecuación de Green-Ampt, obtenemos:

$$F_p = K(t_p - t_0) + \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F_p}{\Psi\Delta\theta}\right) \quad (2.35)$$

Para  $t > t_p$

$$F_p = K(t - t_0) + \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F}{\Psi\Delta\theta}\right) \quad (2.36)$$

Restando miembro a miembro las dos últimas ecuaciones queda:

$$F - F_p = K(t - t_p) + \Psi\Delta\theta \ln\left(\frac{\Psi\Delta\theta + F}{\Psi\Delta\theta + F_p}\right) \quad (2.37)$$

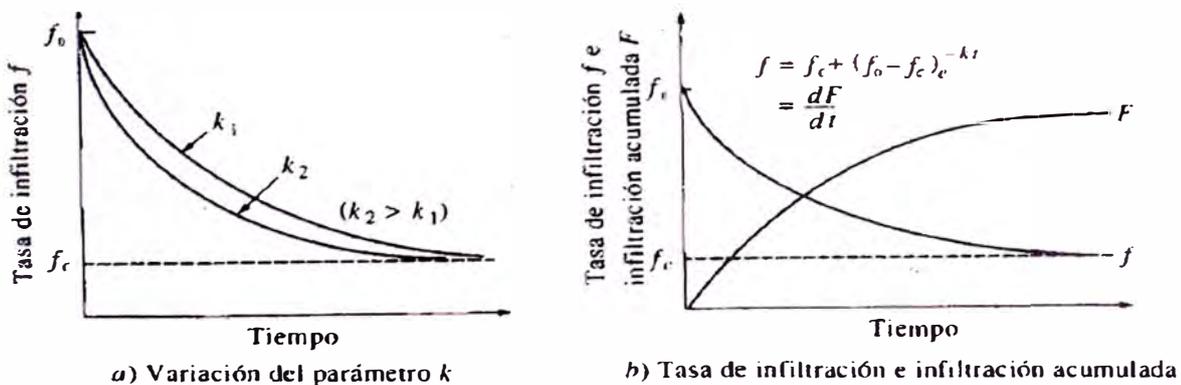
Esta ecuación puede usarse para calcular el volumen de infiltración después del encharcamiento y después usar  $f(t) = K\left[\frac{\Psi\Delta\theta}{F(t)} + 1\right]$  para calcular la tasa de infiltración.

### 2.3.3. ECUACIÓN DE HORTON

Existen varias ecuaciones para describir la infiltración. Una de las mas famosas es la de Horton (1933, 1939), quien observó que la infiltración comienza con una tasa  $f_0$  y luego decrece exponencialmente hasta que alcanza una tasa constante  $f_c$ , según la Figura 2.13.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2.38)$$

Donde  $k$  es la constante de decaimiento, con unidades de  $[T^{-1}]$ .



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.13. Evolución de la infiltración en el tiempo, según Horton

### 2.3.4. ECUACIÓN DE PHILLIP

Phillip (1957, 1969) resolvió numéricamente la ecuación de Richards suponiendo que  $K$  y  $D$  podían variar con el contenido de humedad  $\theta$ :

$$F(t) = S_i^{1/2} + K_i \quad (2.39)$$

Donde  $S$  es un parámetro denominado *adsorción*, que es una función del potencial de succión del suelo y  $K$  es la conductividad hidráulica. Diferenciando, podemos encontrar la tasa de infiltración:

$$f(t) = \frac{1}{2} S_i^{-1/2} + K \quad (2.40)$$

podemos ver que a medida que  $t$  tiende a  $\infty$ ,  $f(t)$  tiende a  $K$ . El primer término de esta ecuación representa la altura de succión y el segundo término es la altura de gravedad. Para una columna de suelo horizontal, la ecuación de Philip se reduciría a:

$$F(t) = S_i^{1/2} \quad (2.41)$$

Esto puede aprovecharse para calcular  $S$  en una columna horizontal de suelo y luego utilizar ese valor para calcular la infiltración acumulada en la columna vertical.

## 2.4. TORMENTA DE DISEÑO

### 2.4.1. LLUVIA

La lluvia se representa por medio de mapas de isoyetas. Una isoyeta es una curva que une los puntos con igual volumen de precipitación. Se construyen interpolando información de lluvia que se registra en sitios con pluviógrafos. Un registro de pluviógrafos se compone de un conjunto de volúmenes de lluvia que se registra para incrementos de tiempo sucesivos, dicho registro se denomina hietograma (Figura 2.14).

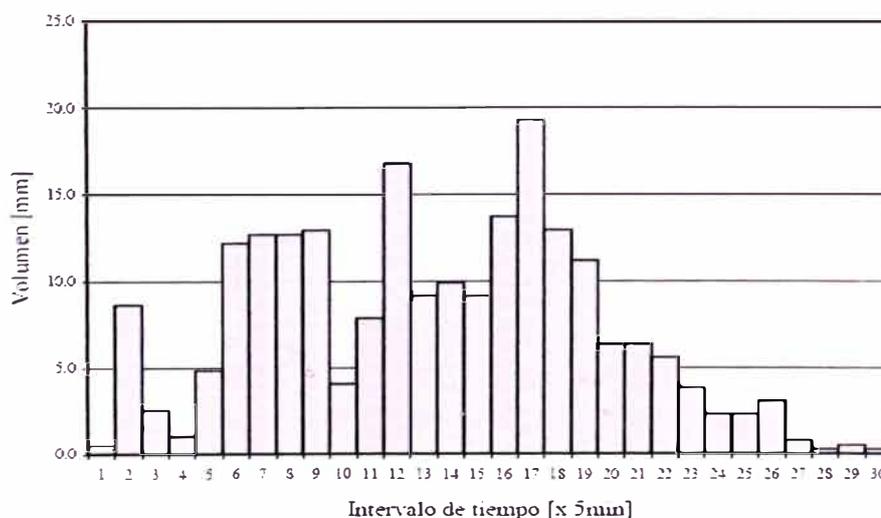


Figura 2.14. Hietograma de lluvia.

Sumando los incrementos de lluvia a través del tiempo, se obtiene un hietograma de lluvia acumulada o curva de masa de lluvia (Figura 2.15).

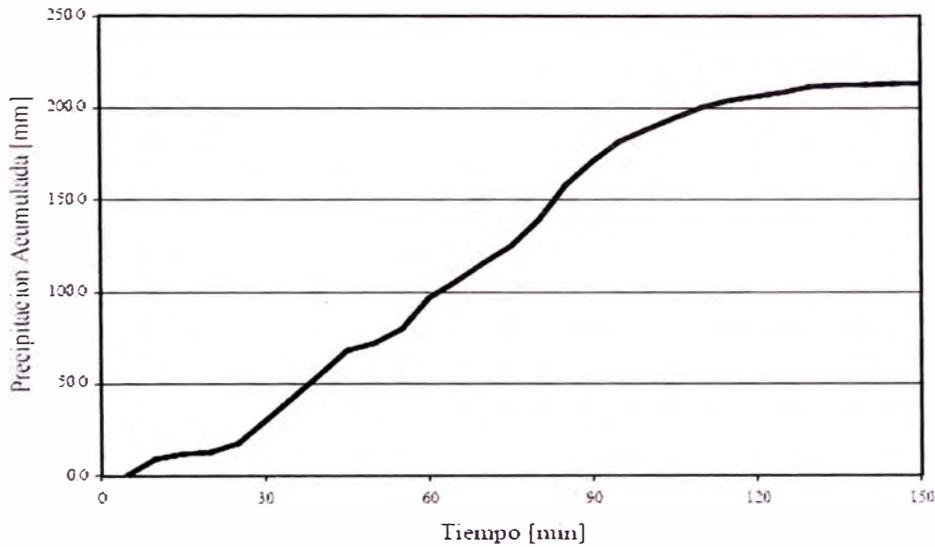


Figura 2.15. Hietograma de lluvia acumulada.

Los registros de los pluviógrafos también pueden representarse por medio de tablas. Por ejemplo, en la Cuadro 2.3 podemos ver una tabla típica, donde también se ha calculado el máximo volumen e intensidad de lluvia en distintos intervalos de tiempo, en este caso, 5 min, 15 min, 30 min, 1 hora y 2 horas.

Tiempo (min)	Lluvia (mm)	Lluvia acum. (mm)	Volumen acumulado en:			
			15 min.	30 min.	1 h.	2 hs.
0	0.0	0.0				
5	0.5	0.5				
10	8.6	9.1				
15	2.5	11.7	11.7			
20	1.0	12.7	12.2			
25	4.8	17.5	8.4			
30	12.2	29.7	18.0	29.7		
35	12.7	42.4	29.7	41.9		
40	12.7	55.1	37.6	46.0		
45	13.0	68.1	38.4	56.4		
50	4.1	72.1	29.7	59.4		
55	7.9	80.0	24.9	62.5		
60	16.8	96.8	28.7	67.1	96.8	
65	9.1	105.9	33.8	63.5	105.4	
70	9.9	115.8	35.8	60.7	106.7	
75	9.1	125.0	28.2	56.9	113.3	
80	13.7	138.7	32.8	66.5	126.0	
85	19.3	158.0	42.2	78.0	140.5	
90	13.0	170.9	46.0	74.2	141.2	
95	11.2	182.1	43.4	76.2	139.7	
100	6.4	188.5	30.5	72.6	133.4	
105	6.4	194.8	23.9	69.9	126.7	
110	5.6	200.4	18.3	61.7	128.3	
115	3.8	204.2	15.7	46.2	124.2	
120	2.3	206.5	11.7	35.6	109.7	206.5
125	2.3	208.8	8.4	26.7	102.9	208.3
130	3.0	211.8	7.6	23.4	96.0	202.7
135	0.8	212.6	6.1	17.8	87.6	200.9
140	0.3	212.9	4.1	12.4	74.2	200.2
145	0.5	213.4	1.5	9.1	55.4	195.8
150	0.3	213.6	1.0	7.1	42.7	183.9
Volumen Máx. [mm]	19.3		46.0	78.0	141.2	208.3
Intensidad Máx. [mm/h]	231.6		183.9	156.0	141.2	104.1

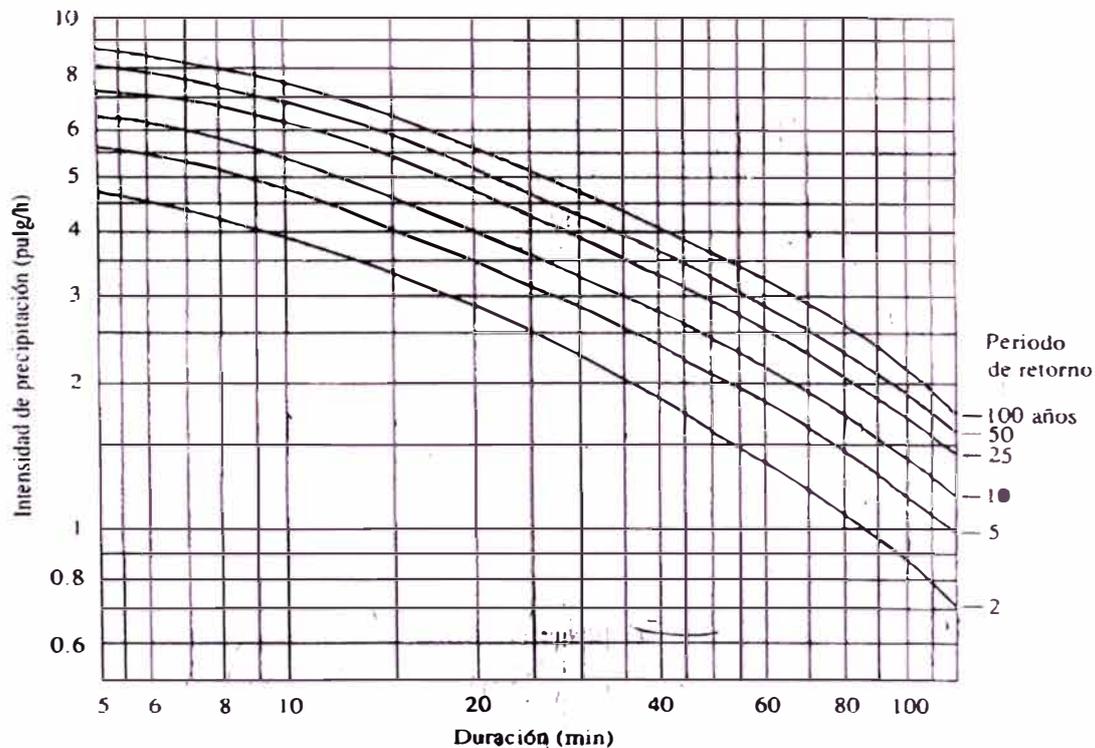
Cuadro 2.3: Cálculo del volumen e intensidad de lluvia.

### 2.4.2. CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN

Las curvas I-D-F son curvas que relacionan la intensidad de la lluvia con su duración. Para cada frecuencia (periodo de retorno) tenemos una curva diferente, cuanto menor es la frecuencia del evento analizado, mayor es la intensidad. Las curvas IDF generalmente obedecen a una ecuación del tipo:

$$i = \frac{c}{T_d^e + f} \quad (2.42)$$

Donde  $i$  es la intensidad de diseño,  $T_d$  es la duración y  $c$ ,  $e$  y  $f$  son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno. En muchos sitios existen curvas IDF estándar, pero en la mayoría de los lugares estas curvas hay que deducirlas. Por ejemplo, en la Figura 2.16 podemos observar las curvas I-D-F para Chicago, USA.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.16: Curvas I-D-F de la ciudad de Chicago, USA.

Si representamos las intensidades obtenidas en función de la duración con los datos del Cuadro 2.3, obtendremos la gráfica de la Figura 2.16. La curva I-D obtenida, estaría asociada a la frecuencia del evento analizado.

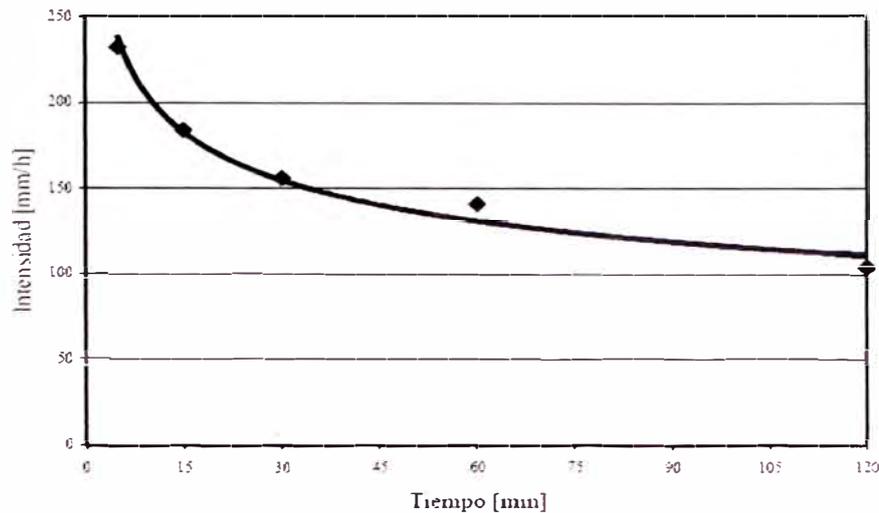


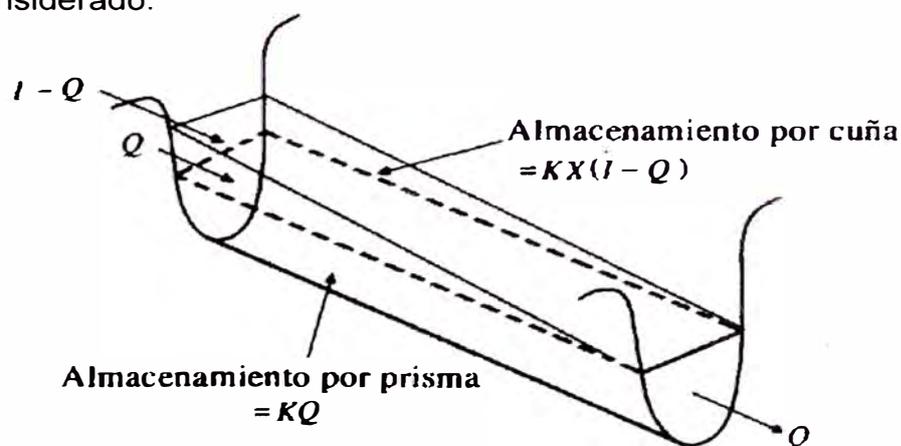
Figura 2.17: Relación entre la intensidad máxima y la duración del intervalo analizado para obtenerla, según los datos de precipitación del Cuadro 2.3.

## 2.5. TRANSITO DE AVENIDAS EN CAUCES NATURALES

### 2.5.1. PROPAGACIÓN EN CAUCES. MÉTODO DE MUSKINGUM

El método de Muskingum fue presentado por McCarthy (1938) y maneja relaciones caudal almacenamiento variables. Este método modela el almacenamiento en un cauce mediante la combinación de dos tipos de almacenamientos, tal como se muestra en la Figura 2.18:

- Un almacenamiento prismático, formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo del cauce prismático.
- Un almacenamiento en cuña, formado por la diferencia entre los caudales de entrada y salida, o bien, por la pendiente de la lámina de agua en el tramo considerado.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.18. Almacenamientos por prisma y por cuña en un tramo de cauce.

Durante el avance de la avenida el caudal de entrada es mayor que el de salida y se forma lo que se denomina cuña positiva y durante la recesión el caudal de entrada es menor al caudal de salida, formándose una cuña negativa.

El volumen de almacenamiento prismático es proporcional al caudal de salida, ya que se supone que el caudal de salida es proporcional al área de la sección del cauce:

$$S_p = KQ \quad (2.43)$$

El valor de  $K$  se considera igual al tiempo de tránsito de la onda de avenida a través del tramo.

El volumen de almacenamiento por cuña es proporcional a la diferencia entre las entradas y las salidas:

$$S_c = KX(I - Q) \quad (2.44)$$

Donde  $X$  es un factor de ponderación tal que puede tomar valores entre 0 y 0,5, en función de la forma de almacenamiento en cuña. Cuando  $X = 0$ , no existe cuña, no hay curva de remanso y el almacenamiento en el cauce será tipo embalse:  $S = KQ$ . En este caso se produciría la máxima atenuación posible. Cuando  $X = 0,5$ ; se dice que la cuña está completamente desarrollada y no existiría atenuación alguna del pico. En cauces naturales muy caudalosos y de baja pendiente,  $X$  suele ser próximo a 0 y será más cercano a 0,5 cuanto más pendiente y menos caudal tenga el cauce.

El almacenamiento total en el tramo de cauce considerado sería entonces:

$$S = KQ + KX(I - Q) \quad (2.45)$$

Que puede reordenarse como:

$$S = K[XI + (1 - X)Q] \quad (2.46)$$

Esta ecuación representa el modelo lineal de almacenamiento para la propagación de avenidas en cauces por el método de Muskingum. Si analizamos el volumen de almacenamiento en dos instantes, 1 y 2, al comienzo y al final de un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , éstos pueden determinarse como:

$$S_1 = K[XI_1 + (1 - X)Q_1] \quad (2.47)$$

$$S_2 = K[XI_2 + (1 - X)Q_2] \quad (2.48)$$

La variación en el almacenamiento a través del tramo sería la diferencia entre ambos almacenamientos:

$$S_2 - S_1 = K\{[XI_2 + (1 - X)Q_2] - [XI_1 + (1 - X)Q_1]\} \quad (2.49)$$

Utilizando la ecuación de continuidad, la variación en el almacenamiento es igual a:

$$S_2 - S_1 = \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t \quad (2.50)$$

Sustituyendo obtenemos:

$$K[X(I_2 - I_1) + (1 - X)(Q_2 - Q_1)] = \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t \quad (2.51)$$

Y despejando  $Q_2$  nos queda:

$$Q_2 = \left[ \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \right] I_2 + \left[ \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \right] I_1 + \left[ \frac{2K(1 - X) - \Delta t}{2K(1 - X) + \Delta t} \right] Q_1 \quad (2.52)$$

O bien:

$$Q_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 Q_1 \quad (2.35)$$

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \quad C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \quad C_3 = \frac{2K(1 - X) - \Delta t}{2K(1 - X) + \Delta t} \quad (2.53)$$

Se verifica que la suma de  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  debe ser igual que 1.

### Obtención de $K$ y $X$ a partir de información de campo

Si se encuentran disponibles los hidrogramas de entrada y salida observados para un tramo de un río, pueden determinarse los valores de  $K$  y  $X$ , utilizando la siguiente metodología:

- 1) Se asumen varios valores de  $X$
- 2) Utilizando la información de los caudales de entrada y de salida, se calculan los valores del numerador y del denominador de la siguiente expresión de  $K$ , deducida de una ecuación anterior:

$$K = \frac{\frac{\Delta t}{2} [(I_2 + I_1) - (Q_2 - Q_1)]}{X(I_2 + I_1) + (1 - X)(Q_2 - Q_1)} \quad (2.54)$$

- 3) Los valores calculados del numerador y denominador se colocan en un gráfico como ordenadas y abscisas, respectivamente, lo que producirá una curva en

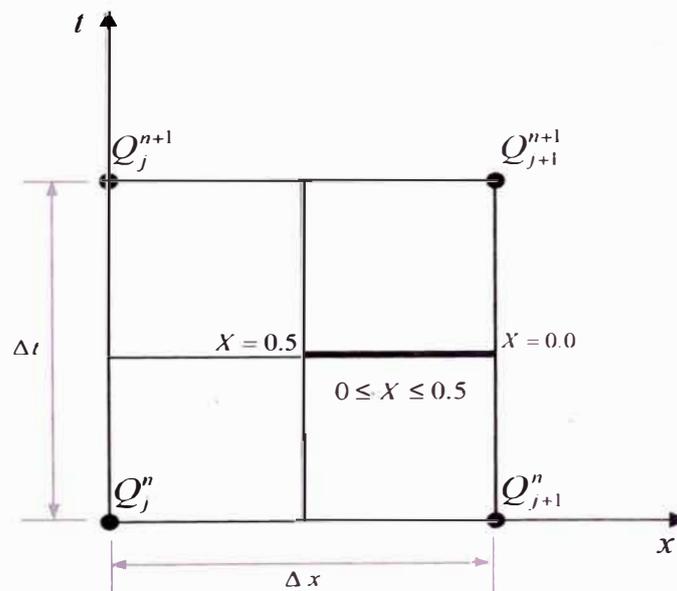
forma de lazo. El valor de  $X$  que produzca un lazo lo más parecido posible a una recta única se utiliza para calcular el valor de  $K$ , que es la pendiente de dicha recta.

### 2.5.2. MÉTODO DE MUSKINGUM-CUNGE

Cunge (1969) propuso un método basado en el de Muskingum, pero que tiene en cuenta algunos conceptos tomados de la aproximación de la onda cinemática. La ecuación de Muskingum, en la notación utilizada para la onda cinemática, puede escribirse como [6]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + (\beta V) \frac{\partial Q}{\partial x} = (\beta V) Q_L \quad (2.55)$$

Donde:  $\beta V = c_k$



Fuente: Referencia Bibliográfica N°6

Figura 2.19. Discretización espacio-tiempo de la onda cinemática.

Resolviendo la ecuación diferencial obtenemos la siguiente ecuación de transito:

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_1 Q_j^{n+1} + C_2 Q_j^n + C_3 Q_{j+1}^n + C_4 Q_L \quad (2.56)$$

En la cual, los coeficientes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  dependen de los parámetros  $K$  y  $X$ .

$$C_1 = \frac{c_k (\Delta t / \Delta x) - 2X}{2(1-X) + c_k (\Delta t / \Delta x)}; \quad C_2 = \frac{c_k (\Delta t / \Delta x) + 2X}{2(1-X) + c_k (\Delta t / \Delta x)};$$

$$C_3 = \frac{2(1-X) - c_k (\Delta t / \Delta x)}{2(1-X) + c_k (\Delta t / \Delta x)}; \quad C_4 = \frac{2c_k (\Delta t / \Delta x)}{2(1-X) + c_k (\Delta t / \Delta x)}$$

Cunge demostró que cuando  $K$  y  $\Delta t$  se toman como constantes, esta es una solución aproximada de las ecuaciones de onda cinemática, siendo los valores de  $K$  y  $X$  iguales a:

$$K = \frac{\Delta x}{c_k} \quad (2.57)$$

$$X = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{B c_k S_0 \Delta x} \right) \quad (2.58)$$

Donde  $\Delta x$  es la longitud del tramo considerado,  $c_k$  es la celeridad de la onda de avenida correspondiente a  $Q$  y  $B$ ,  $B$  es el ancho de la superficie de agua y  $S_0$ , la pendiente media de dicho tramo de cauce.

$K$  es una constante de almacenamiento y  $X$  es un factor que expresa la influencia relativa del caudal de entrada en los niveles de almacenamiento.

Este método tiene la ventaja de que la solución se obtiene a través de una ecuación algebraica lineal, lo que permite que el hidrograma pueda obtenerse sólo en las secciones requeridas en lugar de todos los puntos de la malla como requiere el modelo de onda cinemática, lo que también producirá una menor atenuación numérica.

Se acostumbra calcular el factor  $K$ , considerando válida la aproximación de la onda cinemática y la ecuación de resistencia de Manning, por lo cual, la celeridad,  $c_k$  sería igual a 5/3 la velocidad de la onda de avenida. Si calculamos la velocidad de la onda como  $\Delta x / T_c$ , donde  $T_c$  es un tiempo de concentración del fluido en el tramo y utilizamos para calcularlo la fórmula de Témez, se llega a la siguiente ecuación para  $K$ :

$$K = 0.6 T_c = 0.18 \left[ \frac{\Delta x}{S_0^{0.25}} \right]^{0.76} \quad (2.59)$$

Donde  $\Delta x$  debe introducirse en km,  $S_0$  en m/m y  $K$  quedaría expresado en horas.

## 2.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

La modelación hidrológica es la simulación del flujo de agua de un área mediante programas computacionales. Estos representan generalmente: entradas, demandas, pérdidas, almacenaje e interrupciones de flujo.

Los modelos de cuencas hidrológicas tienen cinco componentes básicos: procesos hidrológicos (cuena) y sus características, datos de entrada, ecuaciones, condiciones iniciales y de frontera y datos de salida. Estos son generalmente clasificados en base al método que usan para describir los procesos hidrológicos, escalas espaciales y temporales, y condiciones específicas ó usos objeto de su diseño [6] En base a la forma en que trata o maneja los componentes espaciales, los modelos de cuencas se pueden dividir en dos tipos: modelos concentrados y distribuidos.

Los modelos de parámetros concentrados consideran una cuena como una sola unidad y no consideran la variabilidad espacial en los procesos, entradas, condiciones de frontera o propiedades hidrológicas de la cuena. En contraste, los modelos distribuidos consideran (idealmente) variabilidad espacial en la cuena resolviendo las ecuaciones para cada píxel del grid [6].

Ninguno de estos dos extremos es ideal. El primero es una simplificación gruesa, mientras que el segundo requiere de gran cantidad de datos no obtenibles. Como resultado, se han combinado ambos, subdividiendo la cuena en elementos más pequeños con propiedades hidrológicas similares que pueden ser descritas por medio de parámetros conjuntos. Este tipo de modelos se les conoce con el nombre de parcialmente distribuidos o cuasi-distribuidos. Por otro lado, la descripción del proceso hidrológico puede ser determinístico, estocástico o combinado [6].

Los modelos determinísticos no utilizan variables aleatorias y para cada grupo de datos de entrada el modelo dará resultados arreglados y repetibles. Las ecuaciones que describen los procesos hidrológicos en un modelo determinístico deben ser de prioridad en la selección de un modelo [6].

Los modelos con ecuaciones basadas fundamentalmente en principios físicos o métodos empíricos robustos son los más ampliamente usados en simulación computacional de producción de sedimentos y escurrimientos superficial [6].

Por el contrario, los modelos estocásticos usan distribuciones para cada variable para generar valores aleatorios para el modelo de entrada. Por esta razón, el resultado es aleatorio con su propia distribución y puede ser presentado como un rango de valores con límites de confianza [6].

La gran mayoría de los modelos de cuencas son determinísticos (por ejemplo HEC-HMS®). Los modelos estocásticos puros no son reales. Sin embargo, la generación de variables estocásticas es comúnmente utilizada para optimizar modelos o determinar la sensibilidad de modelos a varias variables de entrada. Si sólo partes del modelo son descritas por las leyes de probabilidad, entonces se hace referencia a un cuasi-determinístico, cuasi-estocástico o mezclado como el caso del programa WMS®.

#### **a) ESCALA ESPACIAL Y TEMPORAL**

La variable espacial para la que un modelo es diseñado es importante en el proceso de simulación y tratamiento de datos. El escurrimiento en cuencas mayores de 1,000 km<sup>2</sup> es dominado por el almacenaje de agua en los canales. A diferencia de lo que sucede en cuencas pequeñas, menos de 100 km<sup>2</sup>, donde domina el flujo sobre la tierra. En el caso de cuencas intermedias, la homogeneidad y promedio hidrológico del proceso juegan un papel determinante [6].

La escala espacial es un criterio de selección del modelo ya que las características de almacenaje varían dependiendo de la misma. En cuencas grandes con redes y fases de canales, es dominante el almacenaje en los canales. Estas cuencas no son tan sensibles a lluvias de alta intensidad pero de poca duración. Sin embargo, en cuencas pequeñas es dominante la fase del suelo y el flujo superficial. Estas cuencas tienen una fase de canal menor y son muy sensibles a lluvias de alta intensidad y poca duración [6]. De igual manera, los procesos hidrológicos ocurren a diferentes escalas de tiempo: un evento, diarias,

anuales. Para un solo evento, los modelos no generan condiciones de humedad del suelo inter-tormenta, de manera que esta información debe ser proveída como una condición inicial para correr el modelo. Este tipo de modelo debe ser usado para eventos de corta duración o para finalizar el diseño de prácticas de manejos técnicamente complejos estructurales y no estructurales [6].

## **b) Sistemas de Información Geográficos**

La utilización de Sistemas de Información Geográficos (GIS) en un proceso de modelación hidrológica tiene como propósito la adquisición y preparación de datos espaciales y la presentación y despliegue de resultados. Uno de los fines de utilizar el GIS es facilitar la realización de cálculos cuantitativos y el manejo y análisis de gran cantidad de información.

El empleo de un SIG con un modelo hidrológico requiere de tres pasos: construcción de la base de datos espacial, generación de coberturas temáticas requeridas por el modelo y desarrollo de una interfase de comunicación entre el modelo y el SIG.

En el ámbito de aplicaciones hidrológicas la descripción topográfica de la cuenca es una de las más importantes; de esta se deriva el Modelo de Elevación Digital (DEM). El DEM contiene información para definir la red de drenaje superficial y la cuenca de captación, así como la pendiente del terreno y las áreas tributarias.

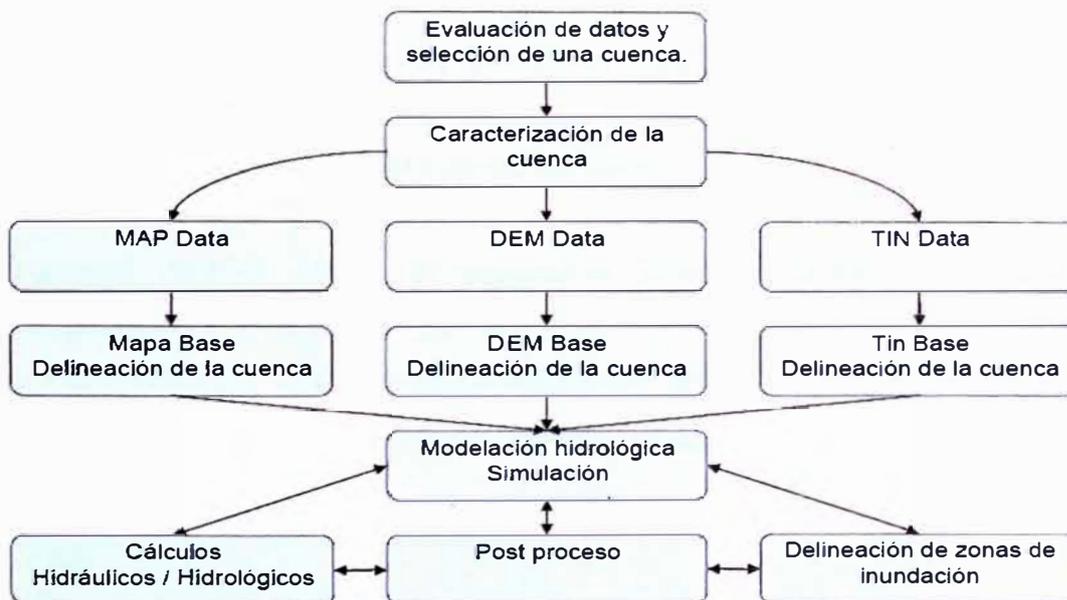
Los resultados que se pueden obtener varían según ciertas características del modelo; algunos ejemplos son, cálculo de hidrogramas, cálculos de redes de drenaje y acumulación de flujo, desarrollo de sistemas de expertos que permitan la planeación y operación óptima de recursos hidráulicos regionales o de un sistema de control de avenidas.

## **2.7. MODELAMIENTO HIDROLOGICO CON WMS® y HEC-HMS®**

Existen un gran número y variedad de programas de modelación hidrológica de diferentes características y requerimientos. Conocer las características básicas

del modelo hidrológico así como los procesos hidrológicos, escalas temporales, espaciales, el objeto y condiciones de su diseño, son algunas de las consideraciones primordiales en la selección adecuada y el alcance exitoso de los objetivos de un proyecto. Se eligió usar los modelos hidrológicos Watershed Modeling System (WMS®), y Hydrologic Modeling System HEC-HMS® para el desarrollo de este estudio.

Se presenta un diagrama que muestra la aplicación y resultados esperados de cada modelo (Figura 2.20) Con el uso de este modelo, se espera poder analizar el comportamiento hidrológico y determinar los valores de número de curva del área de estudio.



Fuente: Referencia Bibliográfica N°3

Figura 2.20. Diagrama de flujo que presenta el esquema general de uso del modelo Watershed Modeling System (WMS®)

### 2.7.1. WATERSHED MODELING SYSTEM (WMS®)

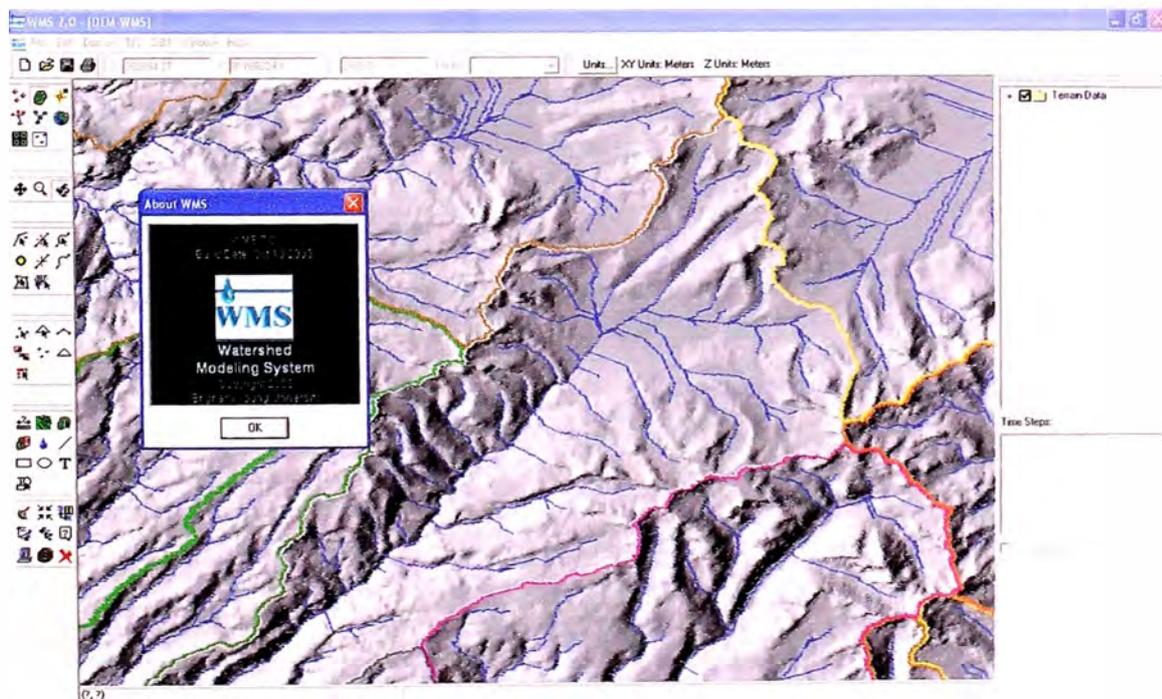
El programa Watershed Modeling System (WMS®), es un modelo ambiental gráfico para todas las fases de la hidrología e hidráulica de cuencas. Creado en la Universidad de Brigham Young, integra varios modelos de simulación hidrológica de los escurrimientos superficiales (HEC-1 (HEC-HMS), HEC-RAS, CE QUAL W2, TR-20, TR-55, Rational Method, NFF, MODRAT, y HSPF. ) que utiliza los sistemas de información geográfica (GIS) como base para el análisis de los gastos máximos en cuencas y el funcionamiento hidráulico de los cauces;

tiene la gran ventaja que los resultados son representados en informes y en los mismos sistemas de información geográfica, esto permite visualizar los productos fácilmente.

La topografía de la cuenca del río Torata está representada por las curvas de nivel digitalizadas a cada 50 metros en escala 1:100,000, proporcionado por IGN. La modelación de la topografía se corre dentro del programa WMS® creando el TIN (red de triángulos irregulares) donde se representa la elevación del terreno mediante puntos de los vértices que forman los triángulos referidos a las curvas de nivel antes mencionadas.

El programa WMS® convierte el TIN en el formato DEM (modelo de elevación digital) que consiste en una malla (gridd) formada por pequeños cuadrados con dimensiones iguales a 30x30 m, en cada uno de ellos se tiene una posición geográfica bien definida y el dato de su elevación.

El programa WMS® utiliza el programa TOPAZ (análisis de parámetros topográficos) con el objetivo de generar una base de datos en cada cuadro de la malla conteniendo principalmente: Dirección del flujo y Acumulación del flujo.

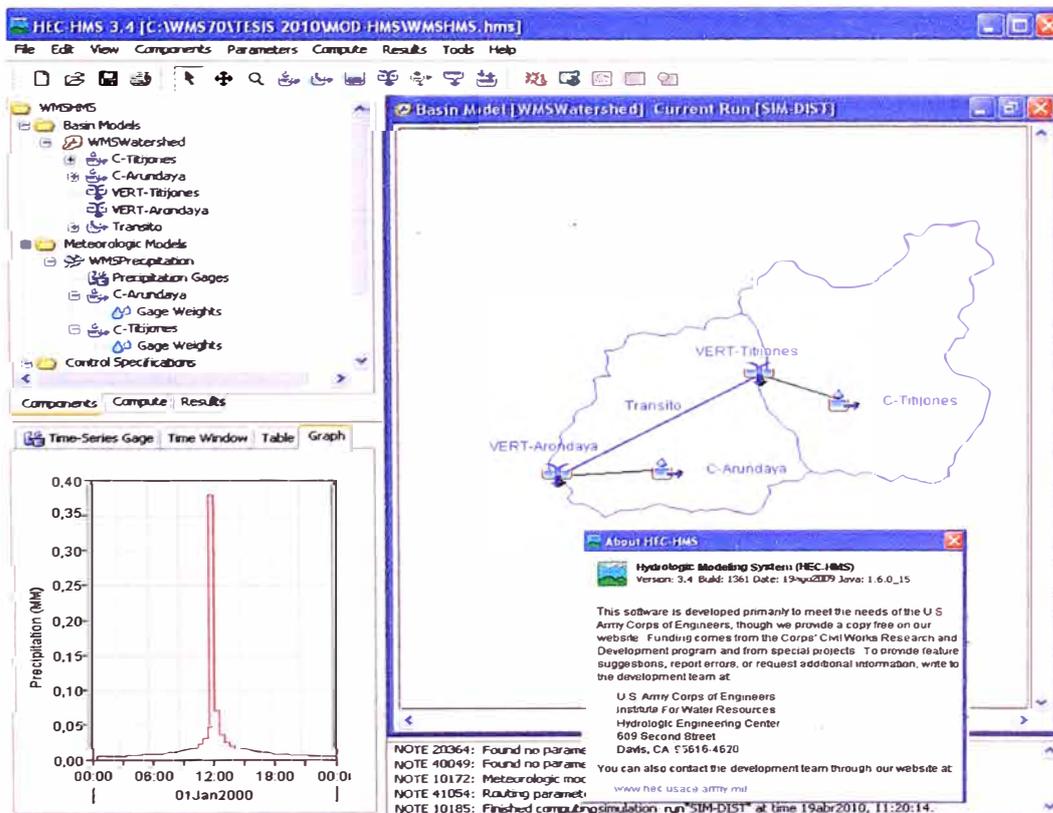


Fuente: Elaboración propia

Figura 2.21. Modelo Watershed Modeling System (WMS®) Versión 7.0

### 2.7.2. HYDROLOGIC MODELING SYSTEM (HEC-HMS®)

El programa HEC-HMS® desarrollado por la U.S Army Corps of Engineers de la Hydrologic Engineering Center, está diseñado para simular los procesos de precipitación y escurrimiento de un amplio rango de áreas geográficas. Esto incluye hidrología de inundación y suministro de agua de una cuenca y de cuencas pequeñas urbanas o naturales de escurrimiento. Es un programa muy flexible que permite al usuario la selección de diferentes métodos para el cálculo de pérdidas, cálculo de hidrogramas, flujo base y propagación en cauces. Permite realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos o en forma continua. Los primeros simulan el comportamiento de un sistema hídrico durante un evento de precipitación. La simulación continua puede comprender un período de tiempo con varios eventos de precipitación. Los resultados son usados para estudios de la disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronosticador de flujo, impacto de futura urbanización, diseño de derrames en reservorios, reducción de daños de inundación, regulación de corriente de inundación y operación de sistemas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.22. Modelo Hydrologic Modeling System (HEC-HMS®) Versión 3.4

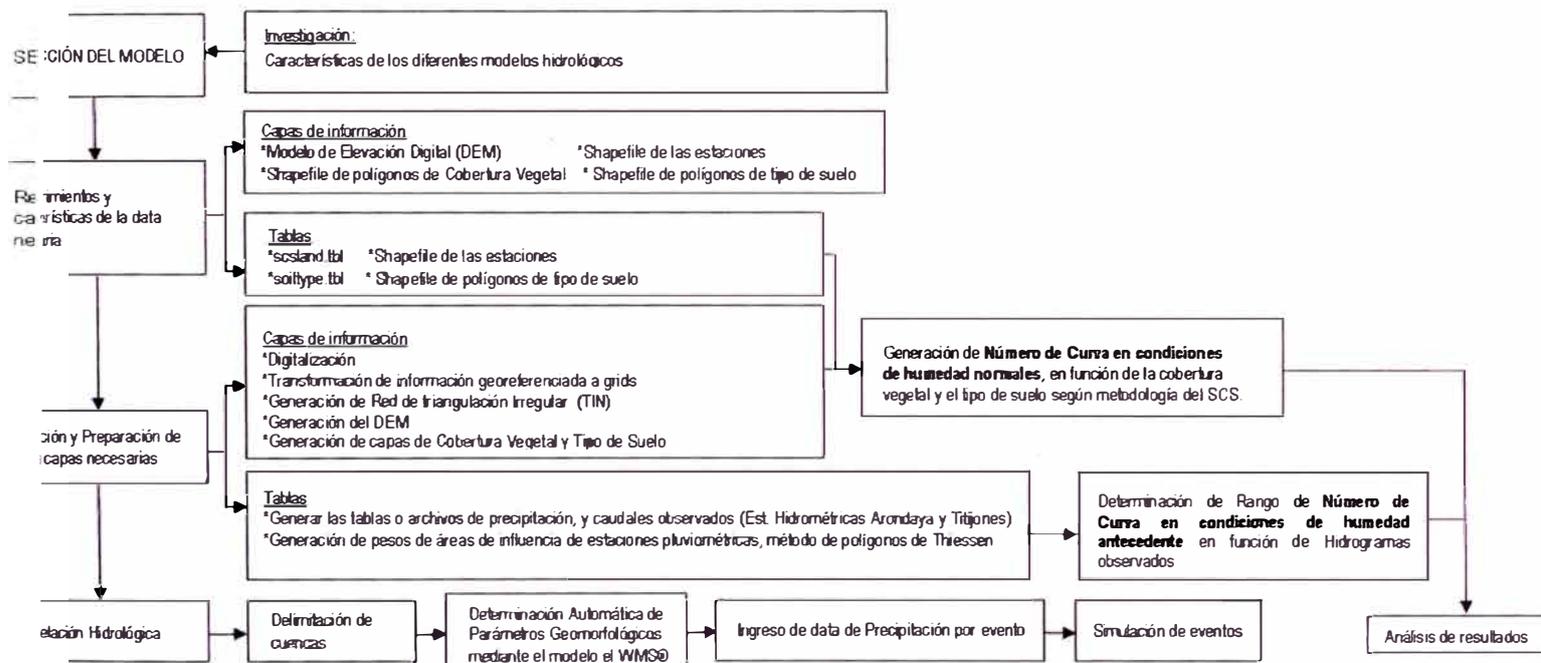
Los programas WMS® y HEC-HMS® comprenden procesos de precipitaciones y escurrimientos. Se pueden realizar modelaciones de precipitaciones o de cuencas. El modelo de cuencas modela los escurrimientos de subcuencas de manera distribuida lineal o en conjunto

La modelación consiste de los siguientes pasos:

- 1) Delineación de la cuenca y determinación de parámetros geomorfológicos.
- 2) Método del flujo base.
- 3) Parametrización con la cobertura y tipo de suelo, método de pérdidas.
- 4) Generación de los archivos de precipitación, método del hidrograma unitario.
- 5) Generación de archivo de entrada y aplicación del programa.
- 6) Calibración y resultados.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN

La metodología general que se siguió para el desarrollo de la tesis y el alcance de los objetivos propuestos se presenta en el diagrama adjunto y se describe a continuación:



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1. Metodología de Trabajo

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

#### 3.1.1. SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

La primera etapa, selección del modelo hidrológico, se realizó mediante la elaboración de una matriz comparativa entre las características, criterios y requisitos del proyecto y de los modelos hidrológicos.

Los criterios que se consideraron para la selección del modelo hidrológico se enumeran a continuación:

- 1) Manejo de datos GIS
- 2) Interfase con ArcGis/ArcInfo
- 3) Uso de intervalos de tiempo
- 4) Tamaño de cuenca aproximada de 250 km<sup>2</sup>.
- 5) Facilidad de uso

- 6) Modelación: entrada y salida de agua, infiltración, escorrentía, percolación, caudales pico)
- 7) Modelación a largos períodos de tiempo

Los programas hidrológicos que se consideraron en el proceso de selección son:

- 1) HMS®
- 2) WMS®
- 3) AGWA®
- 4) SWAT®

De acuerdo a la información disponible se decidió seleccionar los modelos hidrológicos del WMS® y HEC-HMS® para desarrollar la Tesis, ambas trabajan en torno al modelo HEC-1®.

### 3.1.2. REQUERIMIENTOS DE DATOS Y CAPAS DE INFORMACIÓN

Antes de aplicar los modelos es indispensable conocer que información requiere el modelo y el arreglo físico y contenido que debe poseer la misma. Para esto se consulto el manual del HEC-HMS® (versión 3.4, Agosto 2009), así como el manual de usuario y teórico del WMS® (Versión 7.0, 2002). La información que a continuación se presenta proviene de estas fuentes:

#### a) Capas de información georreferenciada

Las capas de información necesarias para la delimitación de la cuenca, determinación de parámetros geomorfológicos y determinación del número de curva mediante el uso del modelo WMS® son los siguientes:

Cuadro 3.1 Listado de capas de información necesaria en el modelo WMS®

CAPAS DE INFORMACIÓN	
Nombre	Tipo
DEM_TORATA	Grid (*.grd)
Cobertura Vegetal	Shapefile (*.Shp)
Tipo de Suelo	Shapefile (*.Shp)

Fuente: Elaboración propia

#### b) Requerimiento de Datos

La data requerida por los programa WMS® y HEC-HMS® y sus características se listan en el cuadro N° 3.2



Se generaron los Modelos de Elevación Digital mediante el programa WMS a partir de la información digitalizada de la cartografía disponible del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

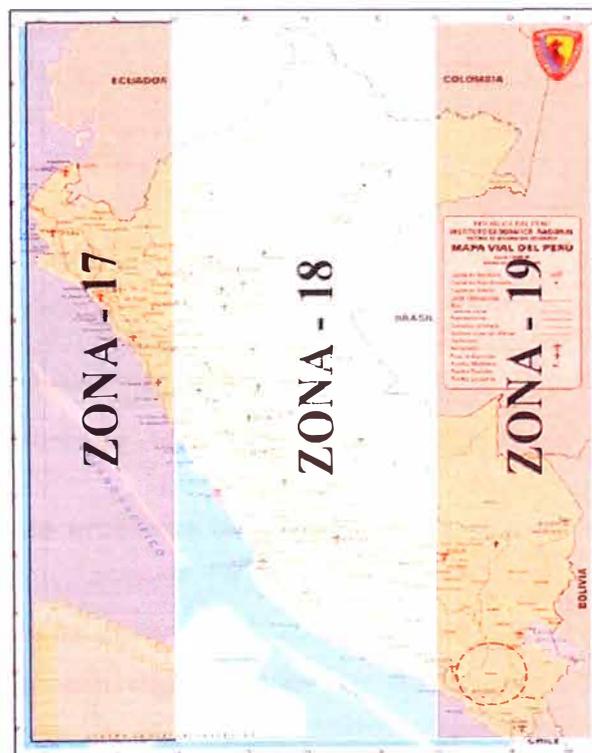
**d) Preparación de capas de información**

Todas las capas de información se prepararon para que cumplieran con los requerimientos del modelo. Adicionalmente, se les asignó las siguientes propiedades:

Cuadro 3.3 Propiedades de las capas de información

Propiedades de las capas de Información	
Proyección	UTM
Datum	WGS84
Unidades	Sistema Internacional
Zona	19

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Figura 3.3 Zonas geográficas en el Perú.

### 3.1.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.

Se realizó una selección preliminar de las estaciones pluviométricas, pluviográficas e hidrométricas cercanas a la zona de estudio (dentro de la cuenca Torata). A partir de esta selección se creó el mapa temático de las estaciones de pluviométricas e hidrométricas como se muestra en la figura 3.4.

De todas las estaciones de pluviométricas, pluviográficas e hidrométricas se desarrolló una tabla de coordenadas UTM, para la zona 19 en la que se encuentra el estudio. A partir de esta tabla, creó un shapefile en ArcGIS como se muestra en la figura 3.5.

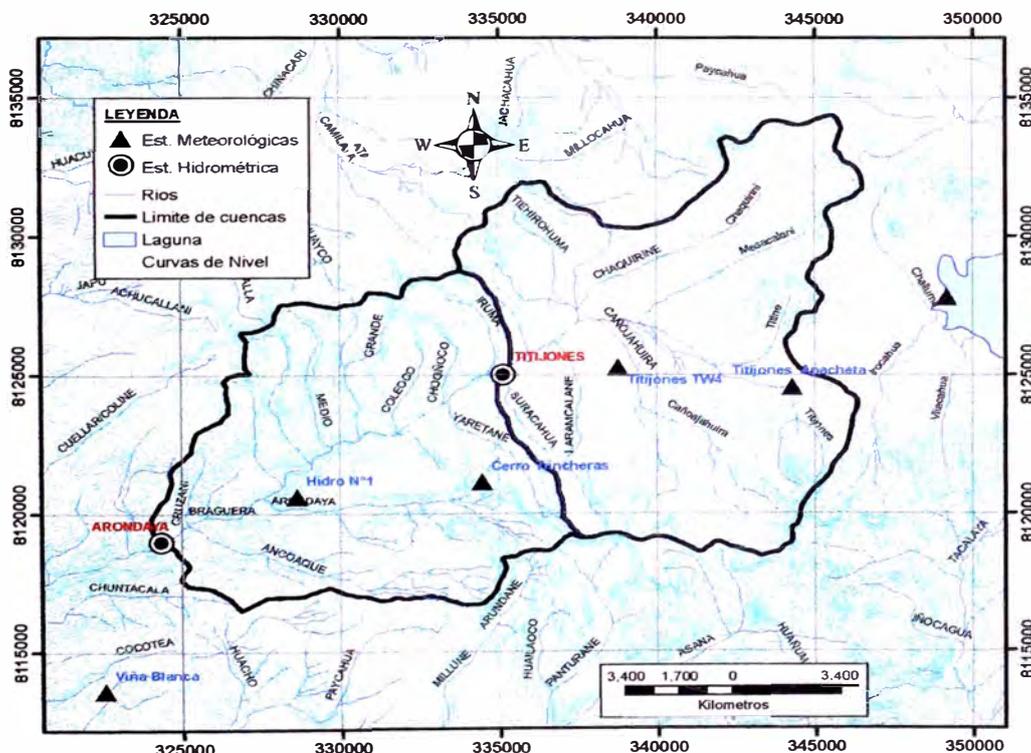


Figura 3.4 Estaciones Hidrometeorológicas y sub-cuencas del Río Torata

#### a) Preparación de archivos de datos

Las tablas de precipitación fueron preparadas en función a la información disponible para la determinación de la precipitación media en cada sub-cuenca en función del método de polígonos de thiesen generados automáticamente en el modelo WMS®. Estos valores serán ingresados manualmente al modelo WMS®, mediante la herramienta HEC-1 Rain Gages, Ver figura 3.6. Los pesos determinados para cada área de

influencia de cada sub-cuenca serán usados en el modelo hidrológico HEC-HMS® para la determinación de caudales pico de cada evento.

Cuadro 3.4 Precipitación media de eventos

CUENCA TORATA		
Fecha de Evento N°13: 11 MARZO 2001		
Estación	Código	Precipitación (mm)
Suches Lado Cuajone	SULC	9.2
Titijones Apacheta	APACH	8.7
TW4	TW4	5.4
Cerro Trincheras**	TRINCH	25.0
Hidro N1**	HIDRO	16.0

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior los valores de precipitación varían dependiendo de la fecha del evento. Además las estaciones marcadas (\*\*) son estaciones hipotéticas que sirven para mejorar el modelamiento hidrológico, y que han sido calculadas en función a la relación altitud-precipitación de cada evento, ver Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5 Relación altitud-precipitación del evento 08 del 27 de Febrero del 2001

PRECIPITACION -- ALTITUD			
No.	ESTACION	ALTITUD m.s.n.m	PRECIPITACIÓN 24 HORAS (mm)
1	Villa Cuajone	2,795.4	0.5
2	Mina Cuajone	3,580.0	10.0
3	Viña Blanca	3,945.0	11.0
4	Hidro N°1	4,228.0	26.0
5	Cerro Trincheras	5,046.0	37.0
6	Titijones TW-4	4,553.0	20.0
7	Titijones Apacheta	4,651.5	16.1
8	Suches - Cuajone	4,452.0	11.8

Fuente: Elaboración propia

Este análisis se realiza para cada uno de los 33 eventos analizados en este estudio

Cuadro 3.6 Data de precipitación y caudales de cada evento analizado.

EVENTO	FECHA	PRECIPITACIÓN TOTAL DE 24 HORAS					CAUDAL PICO	
		HiDRO N°1	Cerro Trincheras	TW4	Titijones Apacheta	Suches lado Cuajone	TITIJONES	ARUNDAYA
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(L/s)	(L/s)
1	03-feb-01	16.0	19.0	22.1	15.4	14.7	1,686	6,264
2	04-feb-01	7.0	9.0	3.8	4.4	1.4	1,589	5,623
3	09-feb-01	12.0	19.6	18.9	10.6	13.0	4,473	11,295
4	20-feb-01	8.0	13.0	6.5	2.0	0.6	4,297	7,576
5	24-feb-01	24.0	34.0	17.2	27.7	18.2	5,617	14,043
6	25-feb-01	8.5	13.0	4.6	11.5	10.5	2,785	9,294
7	27-feb-01	26.0	37.0	20.0	16.1	11.8	5,361	21,796
8	02-mar-01	12.0	23.0	11.4	17.4	14.8	6,493	11,753
9	05-mar-01	9.0	25.0	7.3	1.2	0.8	4,900	7,099
10	08-mar-01	6.0	5.0	1.8	1.0	1.0	4,201	5,749
11	09-mar-01	10.0	21.0	4.2	5.2	4.0	3,340	4,949
12	11-mar-01	16.0	25.0	5.4	8.7	9.2	3,340	5,531
13	17-mar-01	5.0	15.0	7.4	10.4	12.4	4,765	7,172
14	18-mar-01	9.7	15.0	3.4	4.3	5.0	4,473	9,503
15	20-mar-01	9.7	17.5	4.2	3.3	2.8	2,280	7,706
16	03-feb-02	19.0	33.0	9.3	6.6	10.2	1,495	17,785
17	04-feb-02	30.0	40.0	6.1	6.0	7.0	2,490	7,067
18	05-feb-02	15.0	30.0	9.0	10.8	4.0	2,490	10,050
19	10-feb-02	12.0	25.0	11.2	10.0	11.6	1,653	7,515
20	17-mar-02	20.0	30.0	7.0	4.3	0.2	4,582	6,298
21	21-mar-02	20.0	33.0	7.2	4.7	3.4	5,276	31,766
22	08-ene-05	20.0	40.0	5.3	8.6	6.6	739	8,597
23	09-ene-05	20.0	40.0	4.8	3.5	1.0	77	11,150
24	10-ene-05	20.0	40.0	5.2	6.2	5.8	89	16,097
25	09-feb-05	5.0	25.0	3.9	2.8	5.0	235	1,002
26	19-feb-05	15.0	20.0	6.8	2.8	1.8	2,175	3,315
27	20-feb-05	25.0	20.0	6.5	16.5	17.6	2,315	10,349
28	21-feb-05	15.0	30.0	1.6	7.4	6.6	4,100	11,354
29	25-feb-05	15.0	20.0	6.8	2.8	1.8	1,224	2,108
30	10-mar-05	20.0	40.0	2.2	8.1	9.4	288	1,260
31	11-mar-05	15.0	30.0	5.5	4.7	4.4	485	2,179
32	27-mar-05	15.0	30.0	5.1	7.0	4.0	270	710
33	29-mar-05	15.0	30.0	8.5	2.7	3.2	343	2,130

Fuente: Elaboración propia

La tabla de caudales horario se preparó en función a la información disponible de las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya para las fechas de los eventos analizados. Estos caudales fueron ingresados al modelo HEC-HMS® para el proceso de calibración de cada evento entre el caudal simulado y el observado.

Cuadro 3.7. Caudales horario del evento 12 en las estaciones Tititjones y Arundaya

HORA ACUMULADA	FECHA - HORA	TITIJONES	ARUNDAYA
		CAUDAL	
		(L/s)	(L/s)
1	11Mar-11:00	1,224	2,784
2	12	1,402	2,777
3	13	1,433	2,791
4	14	2,210	2,898
5	15	2,635	3,220
6	16	3,020	3,963
7	17	2,635	4,765
8	18	3,340	5,086
9	19	3,180	5,431
10	20	2,785	5,531
11	21	2,490	5,266
12	22	2,245	5,005
13	23	2,080	4,529
14	24	1,918	4,167
15	12 Mar-1:00	1,850	3,889
16	2	1,751	3,749
17	3	1,686	3,589
18	4	1,621	3,481
19	5	1,558	3,409
20	6	1,495	3,325
21	7	1,464	3,261
22	8	1,433	3,178
23	9	1,402	3,095
24	10	1,312	3,061
25	11	1,253	2,950
26	12	1,195	2,884
27	13	1,195	2,837
<b>Q PICO =</b>		<b>3,340</b>	<b>5,531</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4. MODELAMIENTO CON EL SOFTWARE WATERSHED MODELING SYSTEM (WMS®)

El modelamiento hidrológico en el modelo WMS® permite definir el número de curva para condiciones normales de cada sub-cuenca del río Torata, en función de los mapas de cobertura vegetal, el tipo de suelo y delimitación de cuencas que combinadas y de acuerdo a los grupos hidrológicos, definidos anteriormente, permiten asignar automáticamente los número de curva para cada sub-cuenca.

La modelación consistió de los siguientes pasos:

- Delimitación de la cuenca y determinación de parámetros geomorfológicos.
- Generación de pesos de las áreas de influencia de los polígonos de Thiessen para cada estación pluviométrica, mediante la ubicación de cada una de las estaciones.
- Parametrización con la cobertura y tipo de suelo
- Generación del Número de Curva para cada sub-cuenca.
- Resultados

#### **a) Delimitación de la cuenca**

La delimitación de la cuenca consistió en establecer los límites del área de estudio y dividirla en sub-cuencas en base al umbral de área de influencia.

Para la delimitación de la cuenca se utilizó el DEM generado anteriormente en el modelo WMS®, a partir del cual se generaron los grids de dirección de flujo y otro de flujo de acumulación. El DEM se debe visualizar en ventana principal del modelo del proyecto, Ver figura 3.7. Los espacios o huecos del DEM fueron llenados por el programa antes de la generación de los grids de dirección de flujo y flujo de acumulación para evitar errores; los resultados de la delimitación de la cuenca y de los datos para determinación de los parámetros geomorfológicos fueron corroborados con el programa Autocad land®.

La creación de la cuenca se realizó seleccionando manualmente el punto de la salida de la cuenca a partir de la que se estableció el límite de las sub-cuencas; estos puntos son la estación hidrométrica de Titijones y Arundaya. La delimitación de la cuenca en base a los puntos de control, se realizó haciendo uso del archivo DEM\_TORATA. Ver figura 3.5.

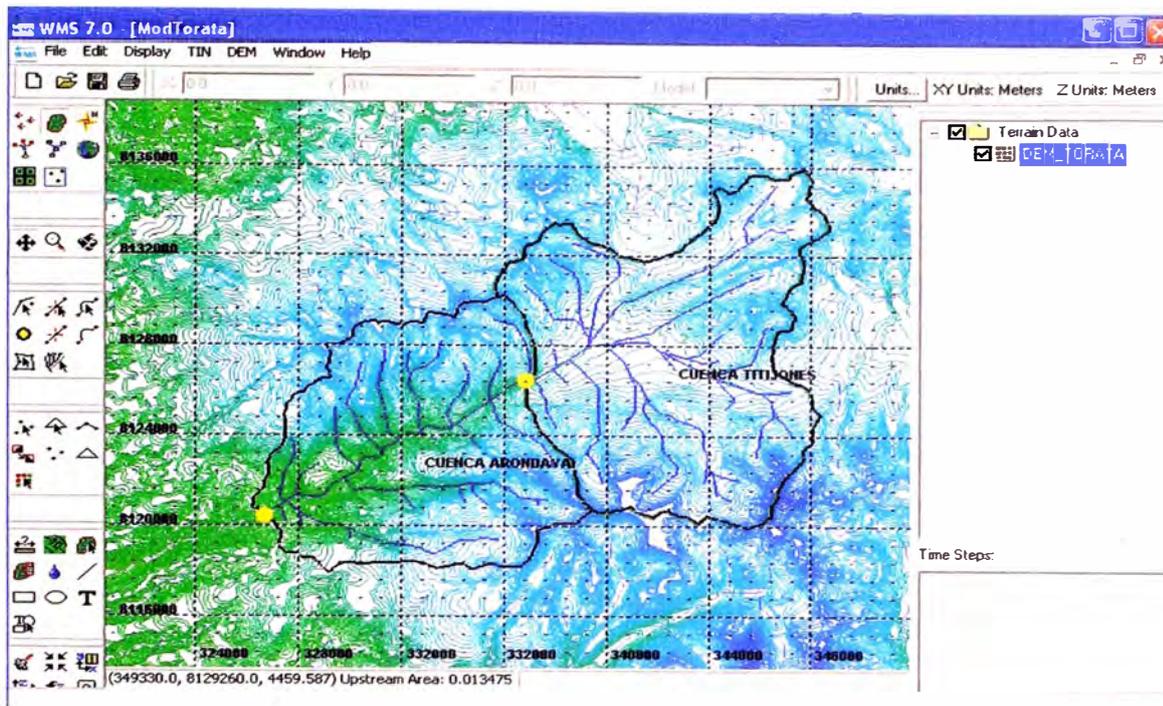


Figura 3.5. Delimitación de cuencas con el uso del DEM\_TORATA en el modelo WMS®

El WMS® en función al límite de la cuenca y al DEM\_TORATA generó los parámetros geomorfológicos de cada sub-cuenca, como: área, perímetro, longitud del cauce principal, altitud media y otros como se muestra en el cuadro 3.8 adjunto.

Cuadro 3.8. Parámetros geomorfológicos de sub-cuencas del río torata.

DESCRIPCIÓN		SUB-CUENCAS PRINCIPALES	
		TITIJONES	ARUNDAYA
Área :	Km <sup>2</sup>	132.44	109.37
Pendiente Media Cuenca :	m/m	0.1821	0.3075
Longitud :	Km	14.39	13.47
Longitud Máxima :	Km	16.08	18.63
Longitud al Centroides :	Km	6.65	7.93
Perímetro :	Km	74.53	58.05
Altitud Media de la Cuenca :	m.s.n.m.	4727.60	4521.50
Pendiente del Cauce :	m/m	0.0211	0.0622
Factor de Forma :	Adimensional	0.6396	0.6028
Coefficiente de Compacidad :	Adimensional	1.81	1.55

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros geomorfológicos de Factor de forma y Índice de compacidad y otros fueron determinados mediante las siguientes formulas:

- **Pendiente media de la cuenca**

Se define como la media ponderada de las pendientes correspondientes a superficies elementales en las cuales la pendiente se puede considerar constante. Se mide en m/m o %.

$$Y = \frac{L_o \Delta h}{A} \quad (3.1)$$

Donde:

- Lo : Longitud total de las curvas de nivel  
 $\Delta h$  : Intervalo entre curvas de nivel.

- **Pendiente Media del río**

Es la diferencia total de elevación del lecho del río dividido por su longitud entre esos puntos. Se mide en m/m o %.

$$S_m = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (3.2)$$

Donde:

- h1 : Elevación correspondiente al extremo superior del cauce principal.  
 h2 : Elevación correspondiente al extremo inferior del cauce principal.  
 L : Longitud del cauce principal medido desde su cabecera hasta su salida.

- **Pendiente Equivalente Constante**

Se determina a partir del perfil del cauce principal desde su cabecera hasta el punto de interés. Se mide en m/m o %.

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{l_i}{S_i^{0.5}} \right)} \right]^2 \quad (3.3)$$

Donde:

li : longitud del cauce principal entre cotas (distancia inclinada)

Si : pendiente del segmento de cauce principal entre cotas.

- **Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius**

Es la relación del perímetro de la cuenca hidrográfica a la circunferencia de un círculo cuya área sea igual a la de la cuenca y se define como:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.4)$$

Donde:

P = es el perímetro de la cuenca en Km.

A = es el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

- **Factor de Forma**

HORTON estableció el siguiente factor adimensional como índice de la forma de una cuenca:

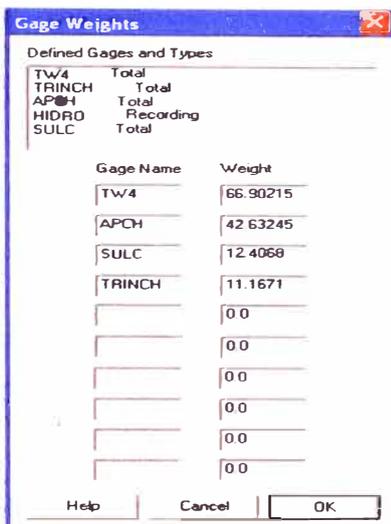
$$Ff = \frac{A}{L^2} \quad (3.5)$$

Donde:

L: es la longitud del cauce principal medido desde su cabecera hasta su salida.

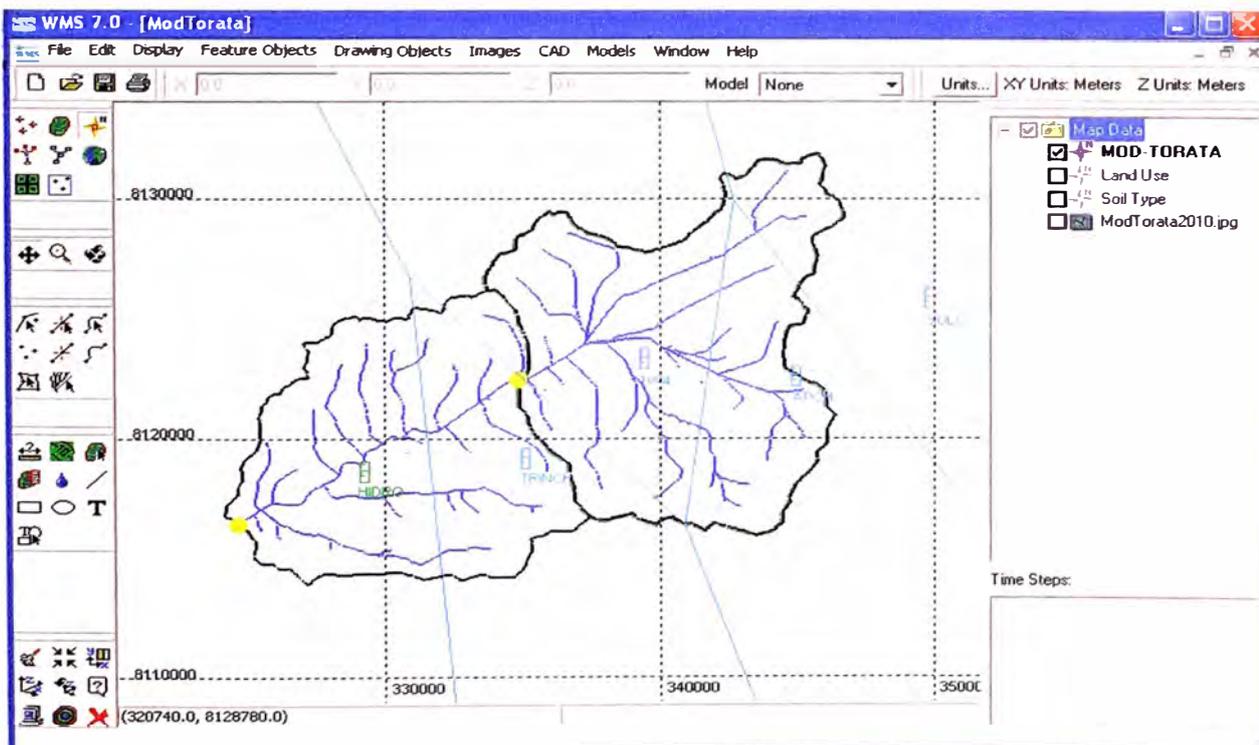
## b) **Generación de polígonos de Thiessen**

La generación de los polígonos de Thiessen mediante la ubicación de las estaciones pluviométricas en el modelo WMS®, el cual asigna pesos de las áreas de influencia de cada estación analizada en el proyecto, luego estos pesos serán usados en el modelo HEC-HMS® para el modelamiento hidrológico precipitación-escorrentía. La información de las estaciones más cercanas al área de estudio se puede observar en el Cuadro 1.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Visualización de Pesos de Polígonos de Thiessen en el modelo WMS®



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Generación de Pesos de Polígonos de Thiessen en el modelo WMS®

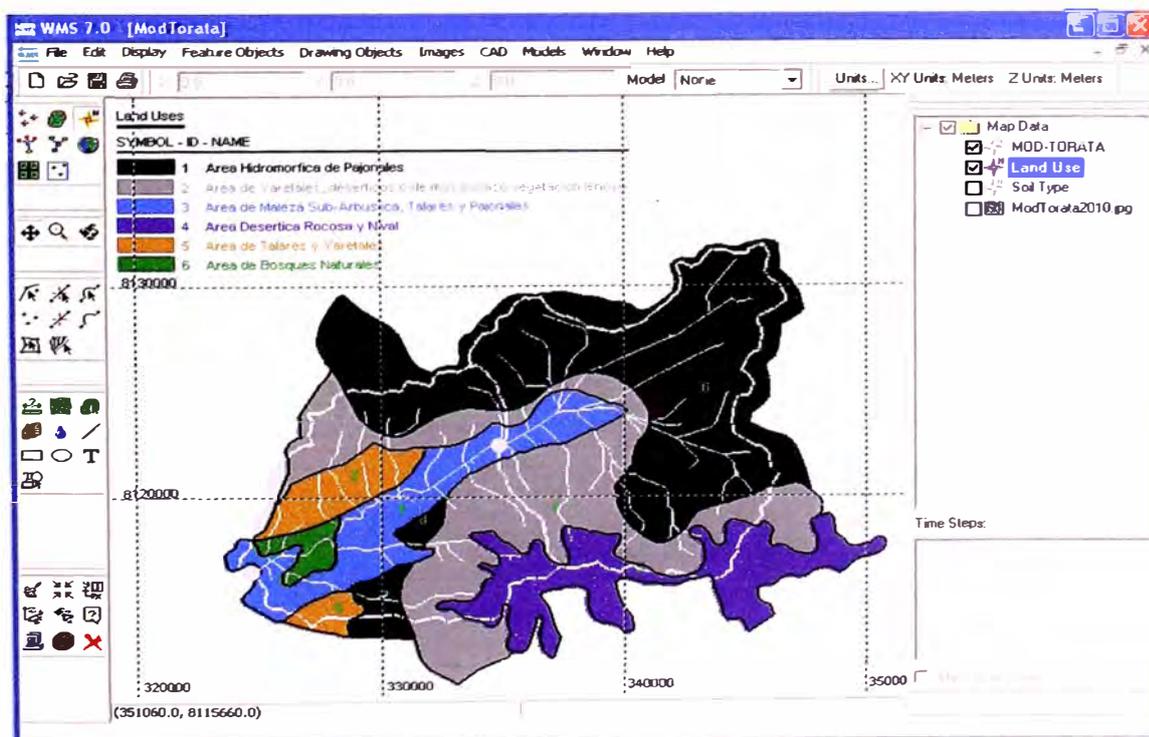
En la vista se aprecia las áreas de influencia para cada estación las cuales abarcan parte de las cuencas analizadas.

### c) Generación de capas de cobertura y tipo del suelo

El objetivo de esta etapa fue generar capas asociados a los datos de cobertura de suelo y suelo obtenidos de los mapas del estudio ecológico de la cuenca del río Moquegua, realizado por la ONERN (1976). De acuerdo al tipo de cobertura vegetal, el uso de suelo y al grupo hidrológico al que corresponde se determinó el número de curva correspondiente para cada sub-cuenca.

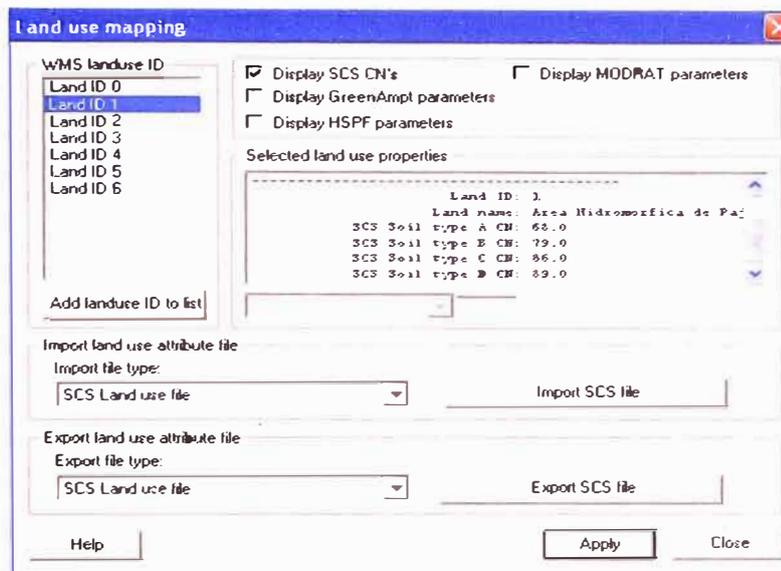
#### • Cobertura Vegetal

Primero se usó el archivo de polígono de cobertura vegetal de extensión shapefile que representa las áreas de los tipos de cobertura existente en el área de estudio (Figura 3.8). Luego se definió el tipo de cobertura vegetal para cada área en función al plano de cobertura vegetal de la ONERN, También se asignaron un grupo de número de curva en función a los cuatro tipos de suelos definidos por el método de Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos. Este modelo genera un archivo de salida scsland.tbl. (Figura 3.12)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8. Polígonos de cobertura vegetal en el modelo WMS®

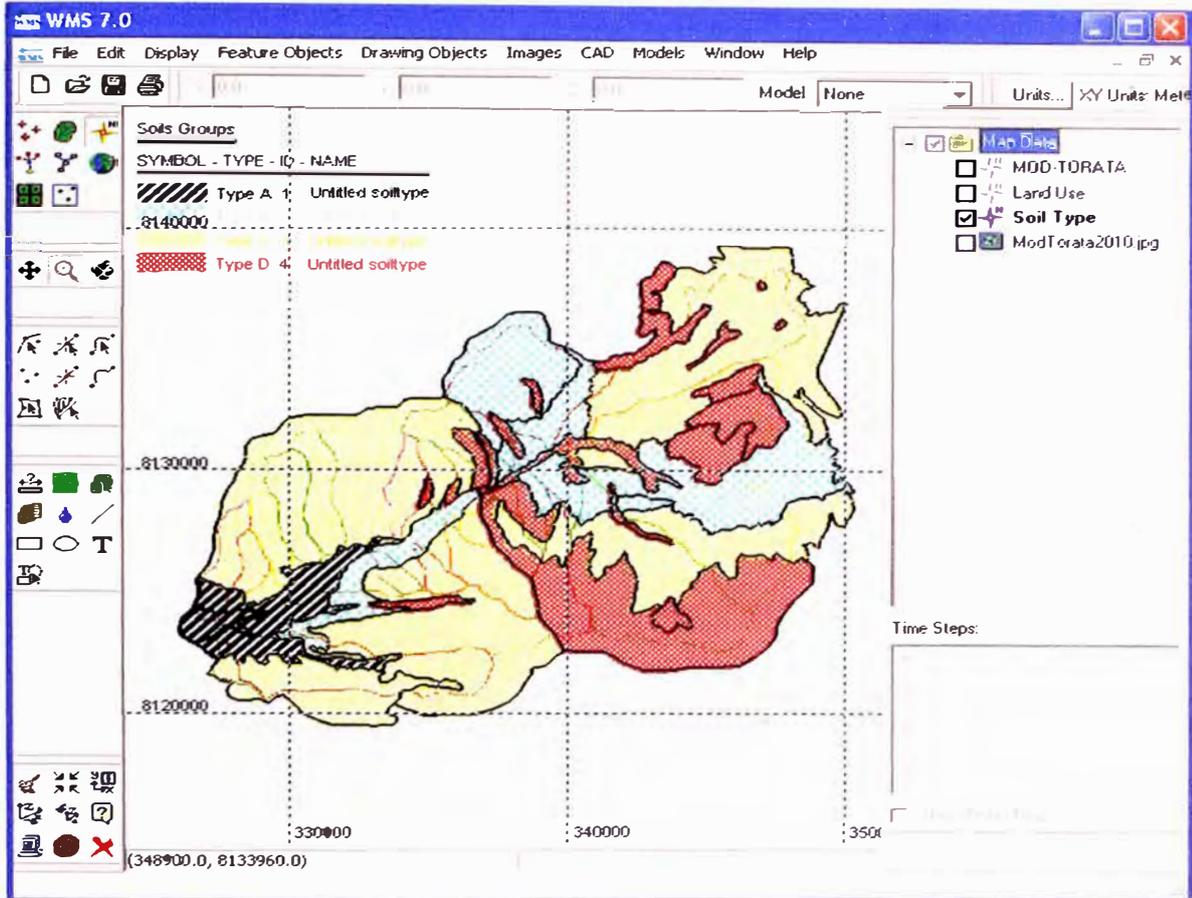


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9. Ingreso de propiedades de Cobertura Vegetal en WMS®

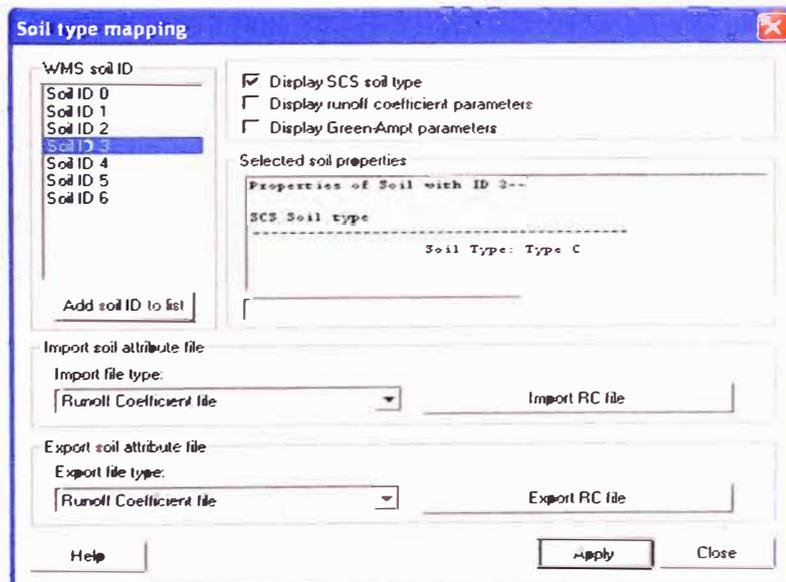
- **Tipo de Suelo**

En este caso también se inició ingresando el archivo de áreas polígonos de de tipo de suelo de extensión shapefile estas áreas fueron definidas en función al grupo hidrológico (Tipo A, Tipo B, Tipo C, y Tipo D), plano geológico y a la inspección de campo. El modelo genera un archivo de salida del tipo soiltype.dpl. (Figura 3.12)



Fuente: Elaboración propia

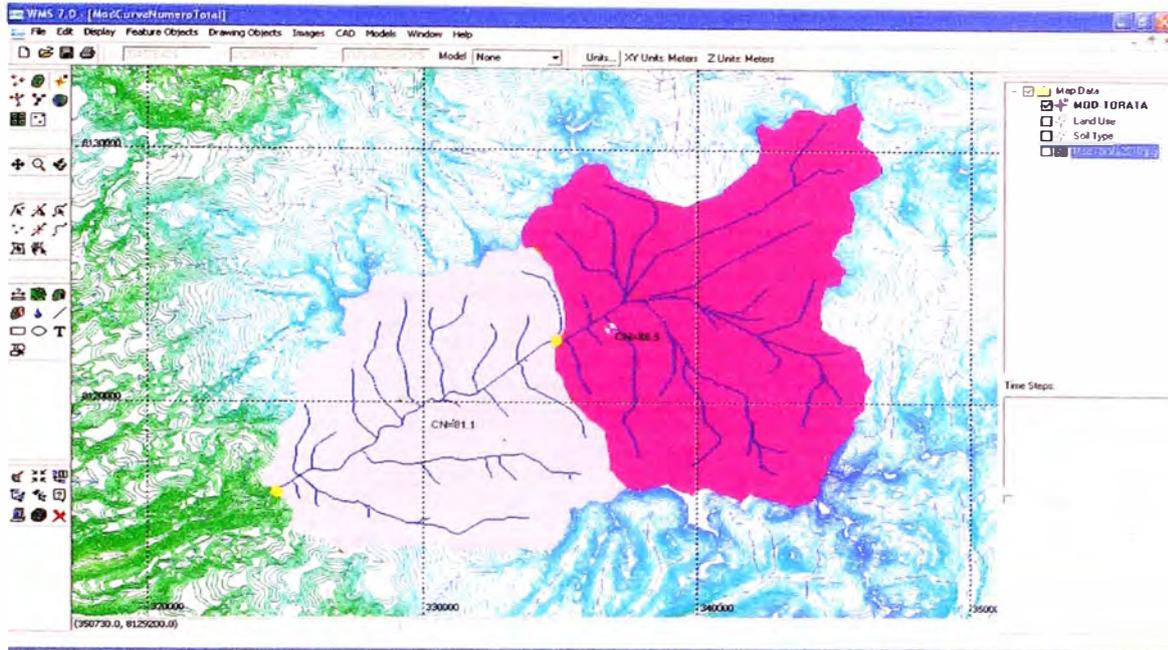
Figura 3.10. Polígonos de Tipo de Suelo en WMS®



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Ingreso de propiedades del Tipo de Suelo en WMS®





Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14. Generación del Número de Curva de dos sub-cuencas en WMS®

Uso de suelo	Tipo de suelo	CN	Área (%)	CN·Área
Área de desarrollo totalmente urbano	A	68	0.3	20.4
espacio abierto - regular				
Calles engravadas	C	89	0.04	3.58
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
<b>SUMA</b>				<b>73.9</b>

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.9. Calculo del Número de curva ponderado en función de las áreas

La generación y actualización de los números de curva para condiciones normales por diversos cambios en el tipo de suelo y cobertura vegetal se realiza mediante la ventana que se muestra en la Figura 3.15.

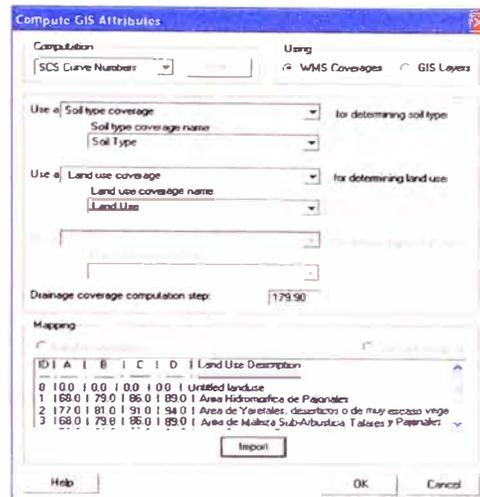


Figura 3.15 Generación del Número de Curva en WMS®

### 3.1.5. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON EL SOFTWARE HYDROLOGIC MODELING SYSTEM (HEC-HMS®)

El modelamiento hidrológico en el modelo HEC-HMS® permite generar los caudales mediante el proceso de precipitación-escorrentía para cada sub-cuenca del río Torata, en función del archivo generado en el modelo WMS®, el cual consta de los parámetros geomorfológicos y número de curva; las precipitaciones para los eventos definidos son ingresados manualmente. Este modelamiento se realiza con la finalidad de determinar si los números de curva obtenidos mediante el método de Soil Conservation Service son sensibles a los obtenidos mediante el análisis de los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas de Arundaya y Titijones

La modelación consistió de los siguientes pasos:

- Generación de archivos de precipitación
- Generación de archivos de entrada y corrida del programa
- Generación de caudales
- Modificación del Número de Curva
- Análisis y presentación de resultados

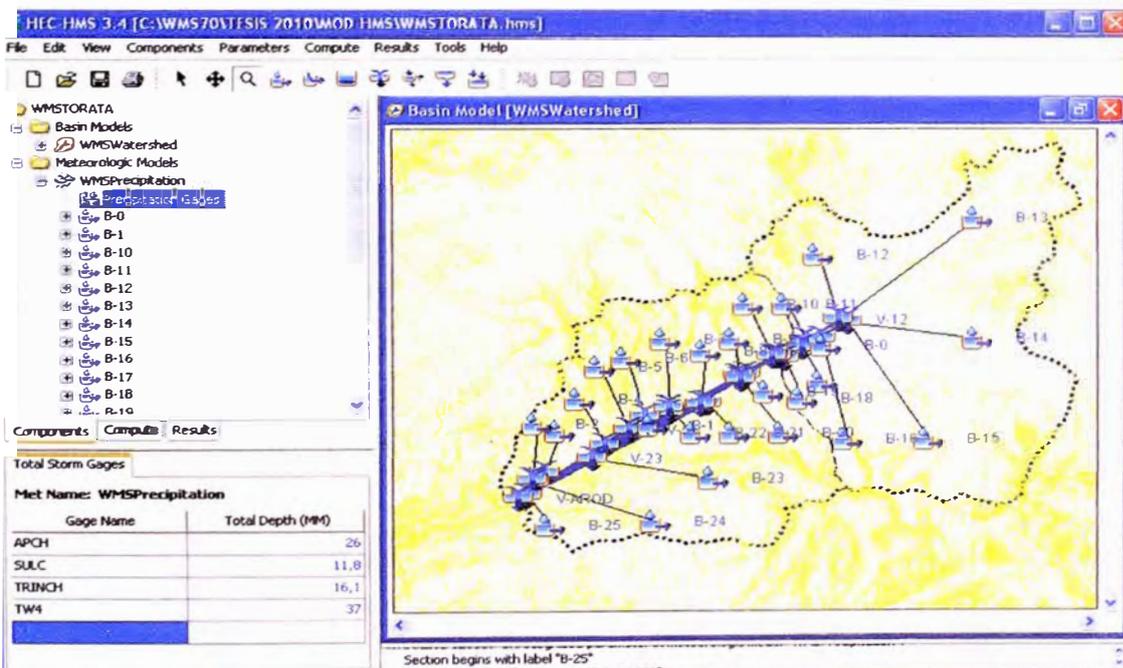
#### a) Generación de archivos de precipitación

La asignación de la precipitación para cada sub-cuenca se realizó por medio de la opción Precipitación Gages de la componente Meteorologic Models (Figura 3.16), este permite ingresar los valores de precipitación total de un evento de 24 horas de cada estación pluviométrica, luego se

ingresan los pesos de las áreas de influencia de los polígonos de Thiessen obtenidos en el modelo WMS®.

La data de precipitación distribuida se deriva de múltiples estaciones y depende de la técnica de ponderación de Polígonos de Thiessen para asignar las profundidades de precipitación adecuadas a todas las subcuencas en función a su área de influencia las cuales fueron generadas con el modelo WMS®.

Al modelo también se le consideró una distribución de precipitación, ingresada en la componente Time Series Data, se elige la curva Type II de 24 horas de Soil Conservation Service. (Figura 3.17).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16. Ingreso de precipitación en HEC-HMS®

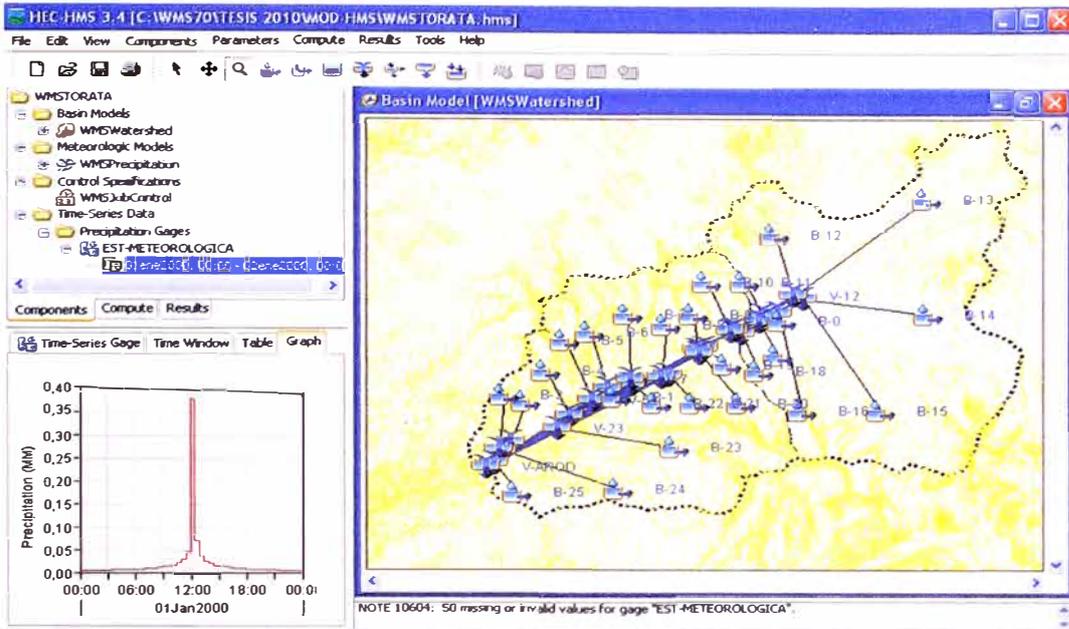


Figura 3.17. Ingreso de distribución de precipitación en HEC-HMS®

**b) Generación de archivos de entrada y corrida del programa**

Esta etapa consistió en seleccionar los archivos de entrada de las etapas anteriores, el de la cuenca y el de precipitación; así como establecer ciertas condiciones como fecha de inicio y el año de simulación mediante la componente de Control Specifications, (Figura 3.18), se continuó con la asignación de un nombre a la simulación y la selección de la estación pluviométrica o pluviográfica generadora y finalmente, se procedió a la modelación.

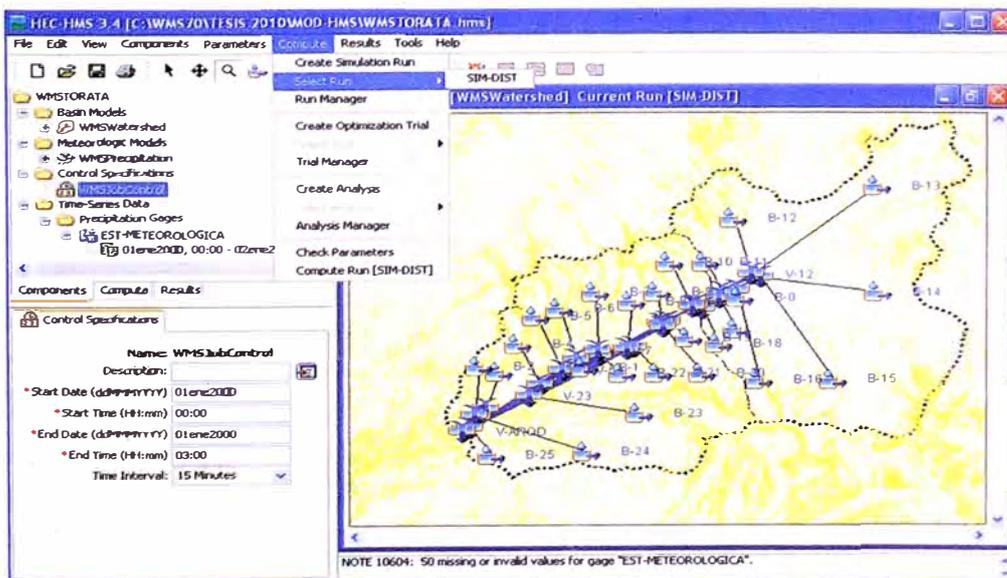


Figura 3.18. Generación de entrada y corrida en HEC-HMS®

### c) Modificación del Número de Curva

Para la modelación del escenario de cambio del número de curva para la calibración de cada evento se utilizó la componente Basin Models en la cual se modifica el valor del número de curva a cada sub-cuenca existente para luego volver a realizar la simulación.

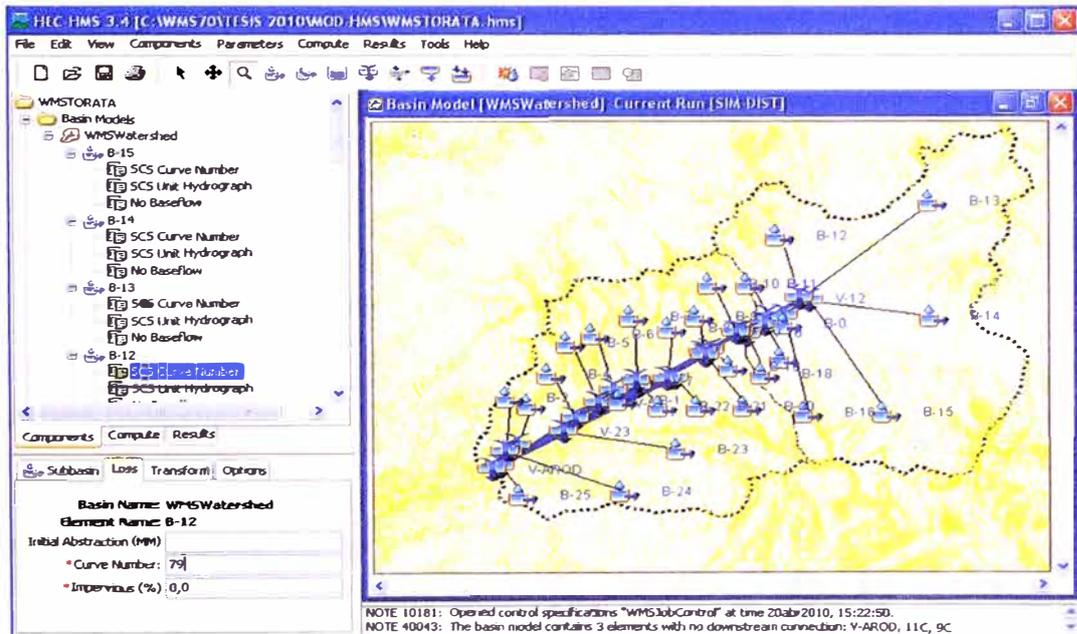


Figura 3.19. Modificación del Número de Curva en HEC-HMS®

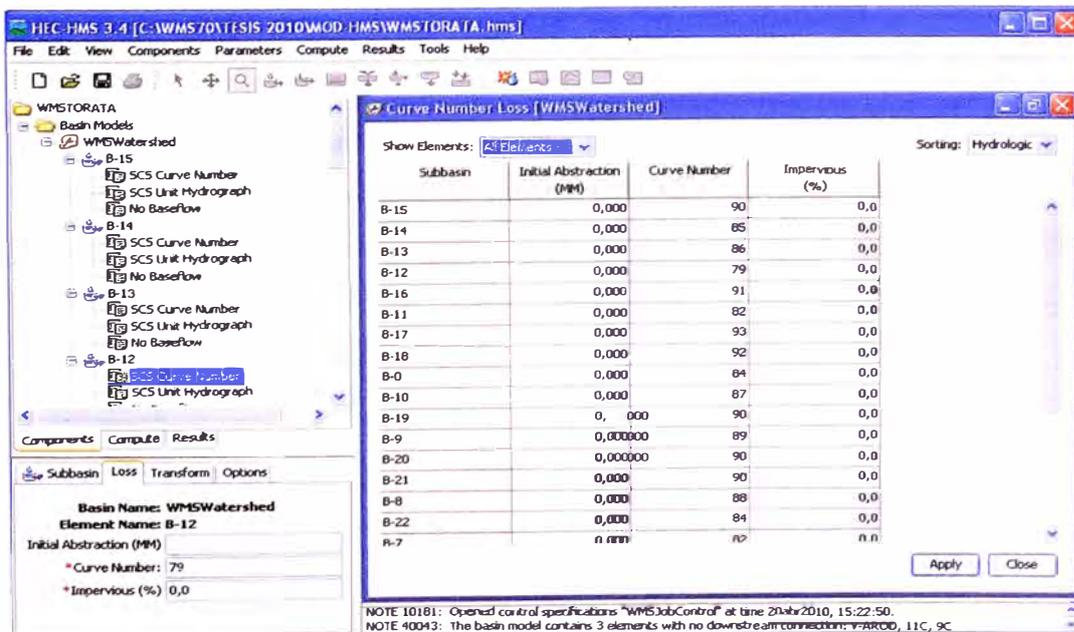


Figura 3.20. Modificación del Número de Curva en HEC-HMS®

**d) Análisis y presentación de los resultados**

Para ambas cuencas, los resultados se presentaron y analizaron individualmente para el escenario de cambio de número de curva. La comparación de la simulación base con las simulaciones de los escenarios de cambio de número de curva se realizó por medio de diferencias porcentuales, pero usando como simulación base la realizada con el número de curva en condiciones normales. La presentación de los resultados en diferencia porcentual permitió comparar la sensibilidad del número de curva.

**3.1.6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA MEDIANTE HIDROGRAMAS OBSERVADOS**

Se calculó el número de curva mediante hidrogramas existentes en las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya mediante el uso del método de Soil Conservation Service:

Este método consistió de los siguientes pasos:

- Determinación de la precipitación media en cada sub-cuenca
- Determinación del volumen de escorrentía superficial por sub-cuenca
- Determinación del Número de Curva
- Análisis y presentación de resultados

**a) Determinación de la precipitación media**

La precipitación media se determinó mediante el método de polígonos de Thiessen; que resulta del ponderado de los pesos de las áreas de influencia ( $A_i$ ) de cada estación determinados en el modelo WMS® y las precipitaciones total de 24 horas de cada estación pluviométrica analizada ( $P_i$ ), (Cuadro 3.10)

Cuadro 3.10. Cálculo de precipitación media

PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LA CUENCA TITIJONES (mm)					
ESTACIÓN	ÁREA	%	ATOTAL	P <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> ×A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>
SLC	12.405	9.37	132.44	4.4	0.4
TW4	66.502	50.21		5.5	2.8
TAP	42.412	32.02		4.7	1.5
TRINCH	11.117	8.39		30.0	2.5
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>100.00</b>	<b>132.4</b>	<b>44.6</b>	<b>7.2</b>
<b>P<sub>m</sub> =</b>	<b>7.20</b>				mm

Donde:

P<sub>m</sub>: Precipitación media de la cuenca.

$$P_m = \frac{\sum P_i * A_i}{A_T} \tag{3.6}$$

Este cálculo se realiza para cada evento analizado, es decir los datos de precipitación de cada estación irán cambiando para cada evento, del mismo modo se procede con la cuenca Arundaya.

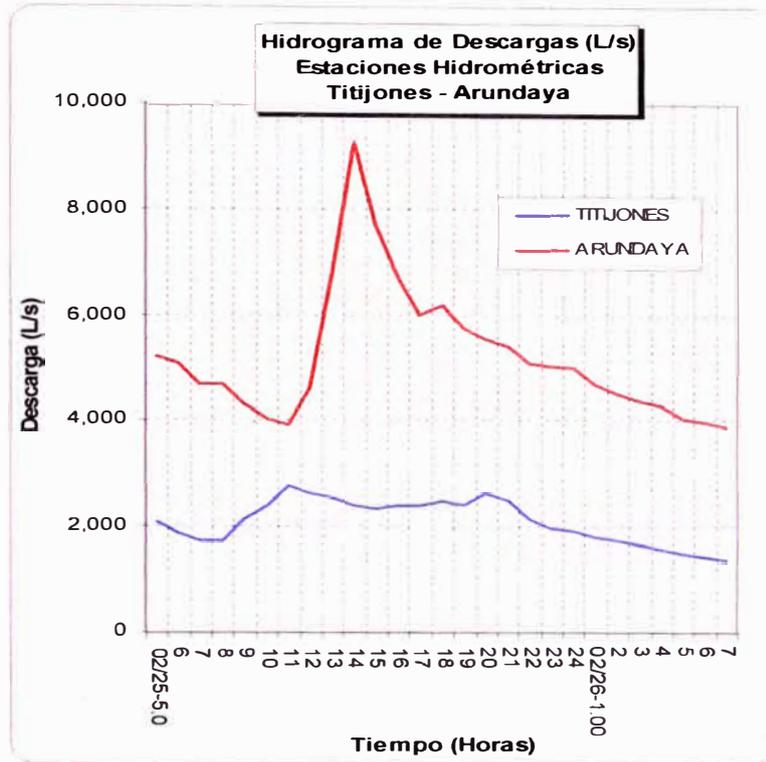
**b) Determinación del volumen de escorrentía superficial**

Para el cálculo del volumen de escorrentía superficial se cuenta con los registros de las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya, la primera se ubica aproximadamente a 18km aguas arriba de la estación hidrométrica de Arundaya, lo cual permite obtener el volumen de variación entre una y otra estación que resulta el volumen de escorrentía superficial de la cuenca de Titijones, en el cálculo del volumen de escorrentía no se consideran el volumen del caudal base.

Cuadro 3.11. Cálculo de Volumen de Escorrentía Superficial

HORA	DIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	02/25-5.0	2,080	5,208	6,304					
2	6	1,884	5,102						
3	7	1,751	4,686				14,026		
4	8	1,751	4,686	6,304	0	0			
5	9	2,140	4,320	7,004	700	700			
6	10	2,420	4,040	8,208	1,904	2,605			
7	11	2,785	3,930	9,369	3,065	5,670	14,346	320	320
8	12	2,635	4,607	9,756	3,452	9,122	15,367	1,341	1,661
9	13	2,560	6,882	9,351	3,047	12,170	20,681	6,655	8,316
10	14	2,420	9,294	8,964	2,660	14,830	29,118	15,092	23,408
11	15	2,350	7,725	8,586	2,282	17,113	30,633	16,608	40,016
12	16	2,420	6,704	8,586	2,282	19,395	25,971	11,945	51,961
13	17	2,420	6,004	8,712	2,408	21,803	22,875	8,849	60,810
14	18	2,490	6,177	8,838	2,534	24,338	21,926	7,901	68,711
15	19	2,420	5,749	8,838	2,534	26,872	21,466	7,441	76,152
16	20	2,635	5,564	9,099	2,795	29,668	20,363	6,338	82,489
17	21	2,490	5,406	9,225	2,921	32,589	19,746	5,720	88,210
18	22	2,140	5,086	8,334	2,030	34,619	18,885	4,860	93,069
19	23	1,986	5,046	7,427	1,123	36,743	18,237	4,211	97,281
20	24	1,918	5,021	7,027	724	36,466	18,120	4,095	101,375
21	02/26-1.00	1,817	4,686	6,723	419	36,886	17,473	3,447	104,822
22	2	1,751	4,529	6,422	119	37,004	16,586	2,560	107,383
23	3	1,653	4,397	6,127			16,065	2,040	109,422
24	4	1,589	4,296	5,836			15,647	1,622	111,044
25	5	1,495	4,053	5,551			15,030	1,004	112,048
26	6	1,433	3,993	5,270			14,484	458	112,506
27	7	1,372	3,896						
Q PICO =		2,785	9,294		Volumen =	37,004		Volumen =	112,506

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21. Hidrogramas de estaciones hidrométricas

**c) Determinación del Número de Curva**

Obtenidos los valores de precipitación media y precipitación efectiva se procede a calcular el número de curva en función del método del Soil Conservation Service, mediante la siguiente fórmula.

De acuerdo al método de abstracciones de Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)} \tag{3.7}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva

P: Precipitación Total

S: máxima diferencia potencial entre la lluvia y la escorrentía

Luego despejando S de la ecuación anterior:

$$S = \frac{(0.8 * Pe + 0.4 * P) \pm \sqrt{(0.8 * Pe + 0.4 * P)^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08} \tag{3.8}$$

También se sabe que la precipitación efectiva o lámina de precipitación de una cuenca se puede obtener de la siguiente expresión:

$$Pe = \frac{\text{Volumen de Escorrentía Directa}}{\text{Área de la cuenca}} \quad [\text{mm}] \quad (3.9)$$

Obtenidas la precipitación media y la precipitación efectiva utilizamos la siguiente fórmula la cual nos permite calcular el número de curva para las condiciones de humedad reales de cada evento analizado.

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right) \quad (3.10)$$

### 3.1.7. CÁLCULO DE TIEMPO DE RETARDO.

El programa WMS® cuenta con 18 fórmulas para calcular el tiempo de retraso y 11 para el cálculo del tiempo de concentración, así también con la opción para ingresar cualquier fórmula, dado que se está trabajando con el hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service, WMS pide escoger la ecuación a emplear para calcular el tiempo de retraso, El método que se utilizó para el cálculo del tiempo de retraso, fue mediante la fórmula del Soil Conservation Service (Victor Mockus, 1950)

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8} (1000 - 9 * CN)^{0.7}}{1900 * CN^{0.7} * Y^{0.5}} \quad (3.11)$$

En el Sistema Inglés, pero transformado al sistema métrico Internacional:

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8} (2540 - 22.86 * CN)^{0.7}}{14,104 * CN^{0.7} * Y^{0.5}} \quad (3.12)$$

y también;

$$T_C = 0.6 * T_{lag} \quad (3.13)$$

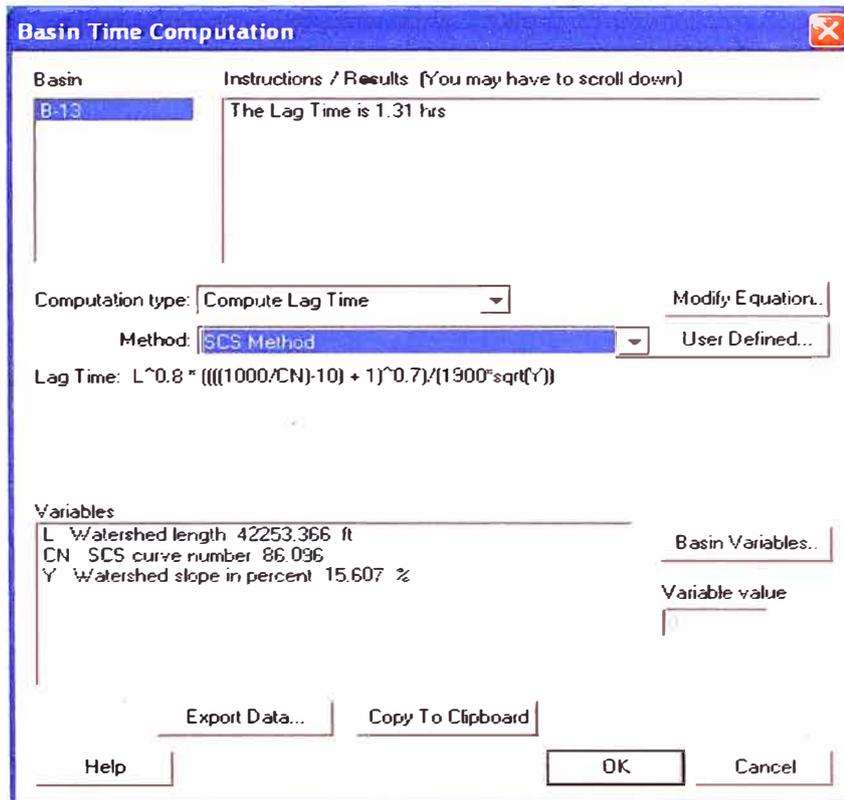
donde;

$T_{Lag}$  : Tiempo de retardo, (horas.)

$T_C$  : Tiempo de concentración, (horas.)

$L$  : Longitud del cauce, en Km.

$Y$  = Pendiente media de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22. Selección del método de tiempo de retardo

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

### 4.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Los resultados obtenidos con la aplicación de herramientas del GIS (Incluidas en el modelo hidrológico WMS®) al ser comparando con los obtenidos mediante el uso de las herramientas del AutoCad® presentan en la mayoría de los parámetros diferencias mínimas, por lo cual se decidió utilizar las herramientas del GIS para generar los parámetros geomorfológicos de las cuencas en el presente estudio.

Las cuencas principales (Arundaya y Titijones) del río Torata presentan una significativa variación de algunos parámetros como el caso de la pendiente y el perímetro de la cuenca.

Cuadro 4.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Titijones

DESCRIPCIÓN	CUENCA TITIJONES		
	(WMS®)	(AutoCad Land®)	Diferencia %
<b>Área :</b> Km <sup>2</sup>	132.44	130.41	3.0
<b>Pendiente Media Cuenca :</b> m/m	0.1821	0.2036	14.1
<b>Longitud :</b> Km	14.39	13.98	5.4
<b>Longitud Máxima :</b> Km	16.20	15.5	4.2
<b>Longitud al Centroides :</b> Km	6.68	7.08	-6.1
<b>Perímetro :</b> Km	69.46	54.78	23.2
<b>Altitud Media de la Cuenca :</b> m.s.n.m.	4727.60	4732.65	0.03
<b>Pendiente del Cauce :</b> m/m	0.0209	0.0260	8.4
<b>Factor de Forma :</b> Adimensional	0.6396	0.6673	-8.5
<b>Coefficiente de Compacidad :</b> Adimensional	1.81	1.34	22.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Arundaya

DESCRIPCIÓN		CUENCA ARUNDAYA		
		(WMS®)	(AutoCad Land®)	Diferencia %
Área :	Km <sup>2</sup>	109.37	106.14	1.5
Pendiente Media Cuenca :	m/m	0.3076	0.2640	-11.8
Longitud :	Km	13.47	12.74	2.8
Longitud Máxima :	Km	18.72	17.85	3.6
Longitud al Centroides :	Km	7.98	8.41	-6.5
Perimetro :	Km	52.99	44.57	26.5
Altitud Media de la Cuenca :	m.s.n.m.	4541.50	4520.12	-0.11
Pendiente del Cauce :	m/m	0.0618	0.057	-23.2
Factor de Forma :	Adimensional	0.6396	0.6539	-4.3
Coefficiente de Compacidad :	Adimensional	1.81	1.21	25.9

Fuente: Elaboración propia

La determinación de los parámetros geomorfológicos dependen de la calidad de información topográfica disponible, por lo cual fue necesario una corrección de la topografía antes del proceso, todas estas correcciones fueron realizadas en la Red de Triangulación Irregular (TIN) para luego con esta información generar el Modelo de Elevación Digital (DEM) el cual permite obtener los valores de los parámetros geomorfológicos de cada cuenca. (VER ANEXO A: Parámetros Geomorfológicos)

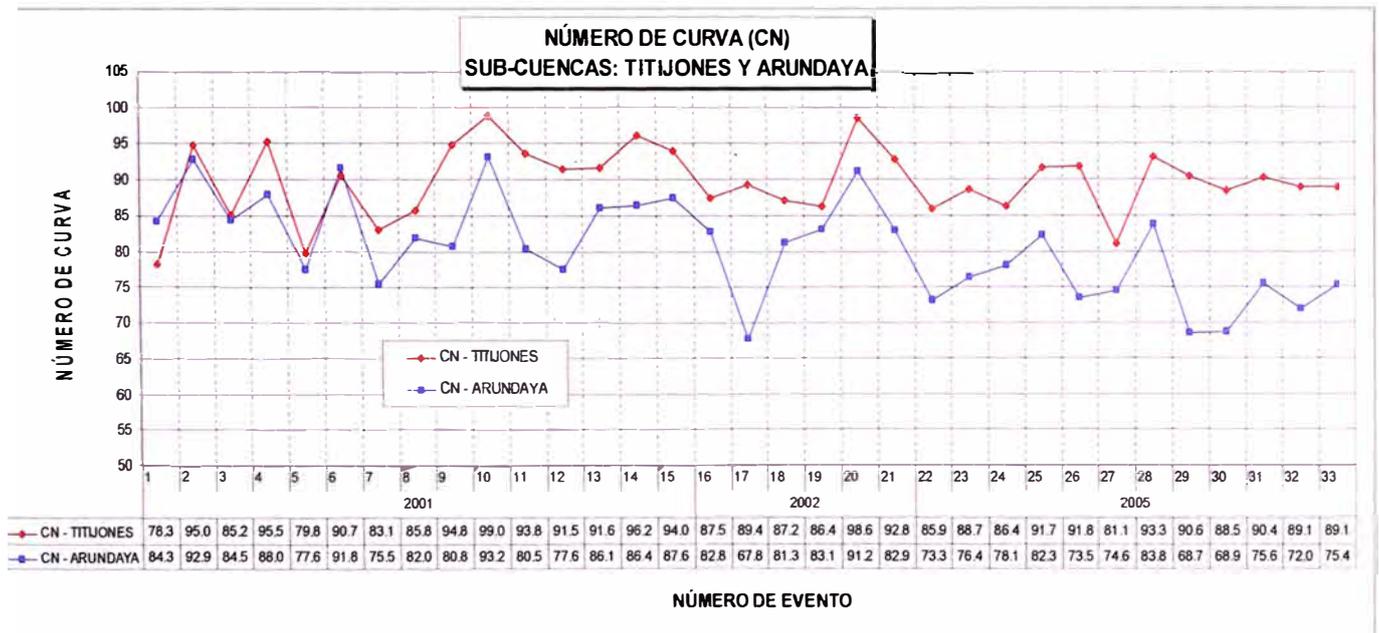
## 4.2 NÚMERO DE CURVA (CN)

Se determinaron los valores del número de curva de dos formas, una mediante el método del Soil Conservation Service, el cuál está en función del Tipo de suelo, cobertura vegetal y grupo hidrológico de suelos (Generados mediante información de mapas ecológicos y geológicos obtenidos de la ONERN e INGEMMET respectivamente); y la otra fue mediante el uso de los hidrogramas de caudales observados en las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya, obteniéndose Números de Curva en diversas condiciones de humedad antecedente, que está en función del evento y período analizado.

En cambio el Número de Curva determinado con el método del Soil Conservation Service solo nos permite analizar un valor de Número de Curva para cada cuenca en condiciones Normales al que hay que aplicarle una modificación para otras condiciones de humedad antecedente al usarlo en el modelamiento hidrológico.

De acuerdo al análisis de los números de curva determinados mediante los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya, se han obtenido un rango de valores entre 68 a 99 en función a la saturación del terreno, para la cuenca alta de Titijones y cuenca baja de Arundaya, como se observa en el cuadro 4.3 adjunto.

Se observa una variación de los Números de Curva de la cuenca Titijones y Arundaya después del evento nº7 que indica una menor saturación del terreno en la cuenca baja de Arundaya el cual es más marcado durante en el año 2005, esto se debería a que el año 2005 fue un año relativamente seco a diferencia del año 2001 y 2002 que fueron años relativamente más húmedos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Números de Curvas por eventos analizados.

Cuadro 4.3. Número de Curvas (CN) obtenidos de hidrogramas observados.

Evento Análizado	AÑO	Fecha	Número de Curva (CN)	
			TITIJONES	ARUNDAYA
1	2001	03-Feb	78.34	84.26
2		04-Feb	94.97	92.86
3		09-Feb	85.20	84.50
4		20-Feb	95.46	88.00
5		24-Feb	79.77	77.62
6		25-Feb	90.68	91.78
7		27-Feb	83.12	75.54
8		02-Mar	85.80	82.01
9		05-Mar	94.83	80.76
10		08-Mar	98.98	93.20
11		09-Mar	93.80	80.47
12		11-Mar	91.50	77.55
13		17-Mar	91.64	86.14
14		18-Mar	96.21	86.44
15		20-Mar	94.02	87.57
16	2002	03-Feb	87.47	82.82
17		04-Feb	89.37	67.77
18		05-Feb	87.21	81.33
19		10-Feb	86.38	83.08
20		17-Feb	98.63	91.22
21		21-Mar	92.84	82.93
22	2005	08-Ene	85.95	73.25
23		09-Ene	88.70	76.41
24		10-Ene	86.40	78.12
25		09-Feb	91.74	82.29
26		19-Feb	91.81	73.51
27		20-Feb	81.14	74.60
28		21-Feb	93.28	83.82
29		25-Feb	90.56	68.73
30		10-Mar	88.47	68.87
31		11-Mar	90.42	75.64
32		27-Mar	89.07	71.97
33		29-Mar	89.07	75.42
<b>Promedio :</b>			<b>89.08</b>	<b>80.6</b>

Cuadro 4.4. Número de Curva (CN), Metodología del Soil Conservation Service

CUENCA	CN(II)	CN(III)	CN(I)	T <sub>lag</sub> CN(III)	T <sub>lag</sub> CN(II)
ARUNDAYA	81.1	90.8	64.3	62.69	89.16
TITIJONES	86.1	93.4	72.2	64.38	86.94

De acuerdo a los resultados de estos métodos se observa que los Números de Curva obtenidos mediante la metodología del Soil Conservation Service se encuentran dentro del rango de los Números de Curva obtenidos mediante los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas.

### 4.3 HIETOGRAMA DE PRECIPITACIONES

Los hietogramas de precipitación es una parte fundamental en el desarrollo del modelamiento, debido al cambio que se produce en la determinación del caudal de escorrentía superficial al realizar un cambio en la distribución de precipitación de cada sub-cuenca.

#### 4.3.1 ALTERNATIVAS DE DISTRIBUCION DE PRECIPITACIÓN

En el caso de la cuenca en estudio se contó con información de algunas estaciones pluviográficas que comenzaron a operar a partir del año 2005 y otra como la de la estación Hidro N°1 con información del año 2000, a partir de la cual se determinó la distribución de precipitación y se adoptó como representativa de la zona de estudio, aunque hubiera sido recomendable contar con la información de distribución de precipitación para cada evento analizado.

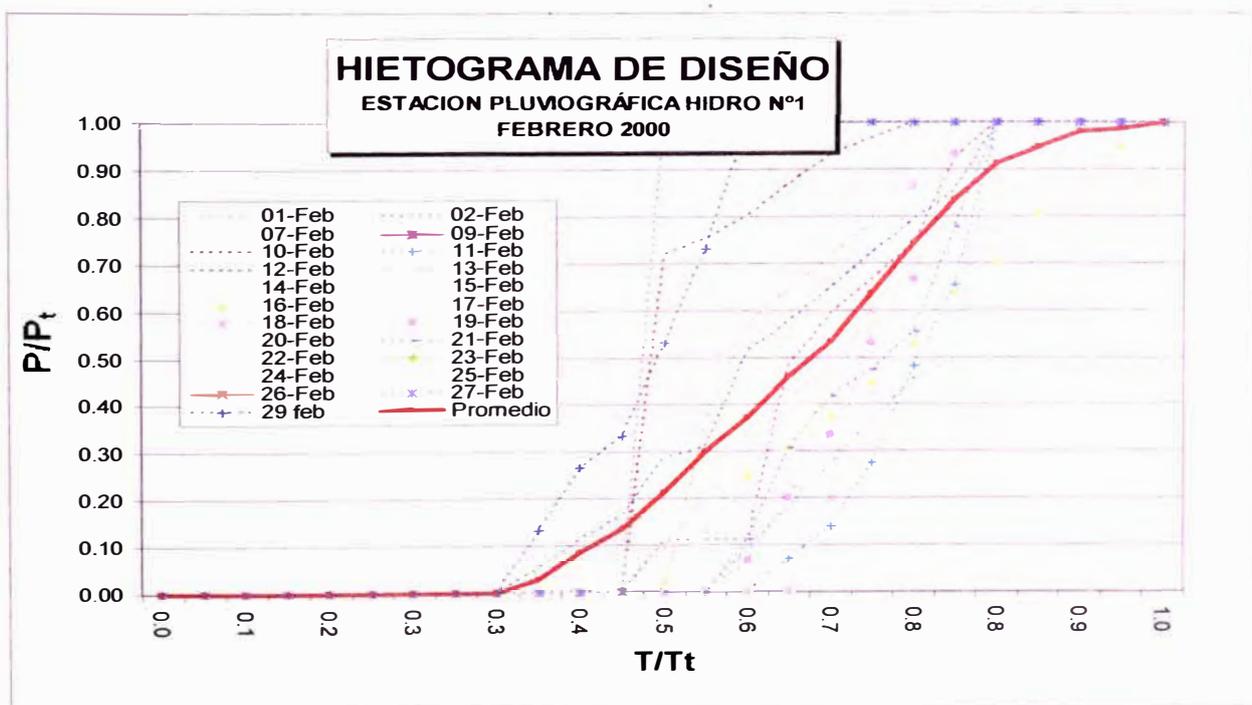


Figura 4.2. Distribución de precipitación Estación HIDRO N°1.

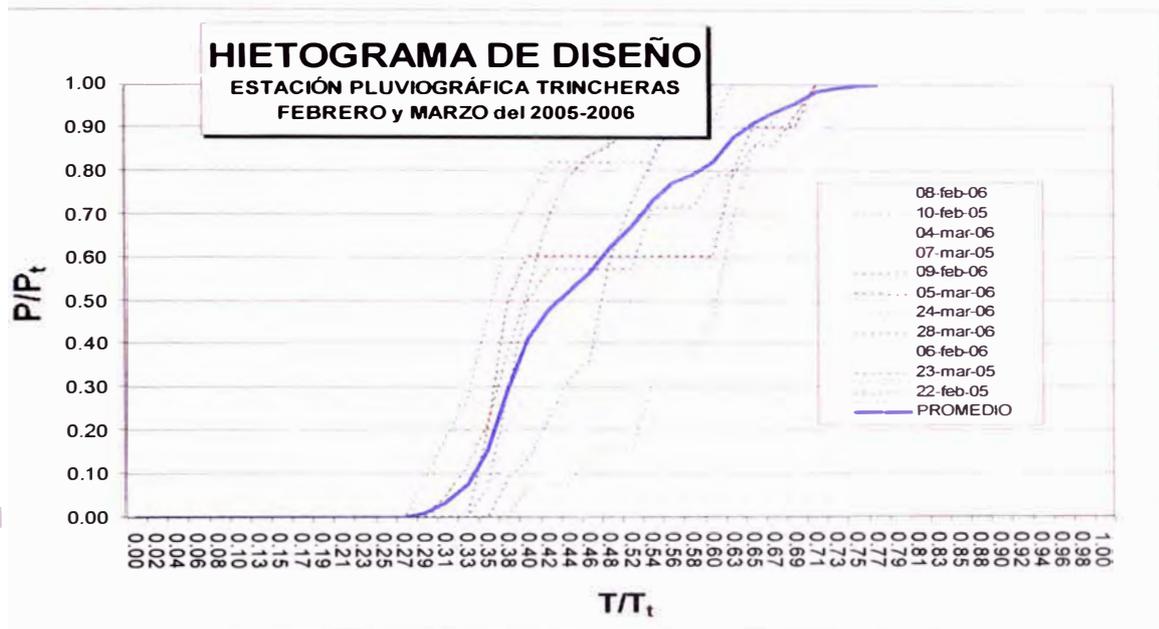


Figura 4.3. Distribución de precipitación Estación TRINCHERAS.

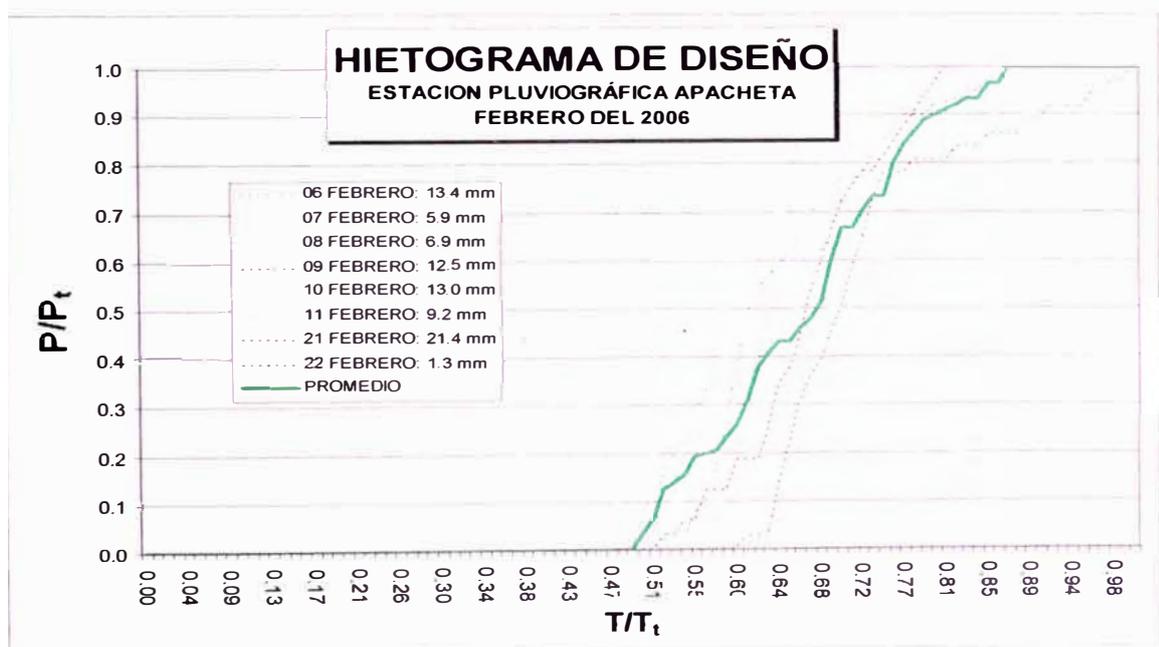


Figura 4.4. Distribución precipitación de Estación APACHETA

También se consideró, como una segunda hipótesis la aplicación de la distribución de precipitación Type II, desarrollada por el Soil Conservation Service, obteniéndose mejores resultados en el modelamiento hidrológico.

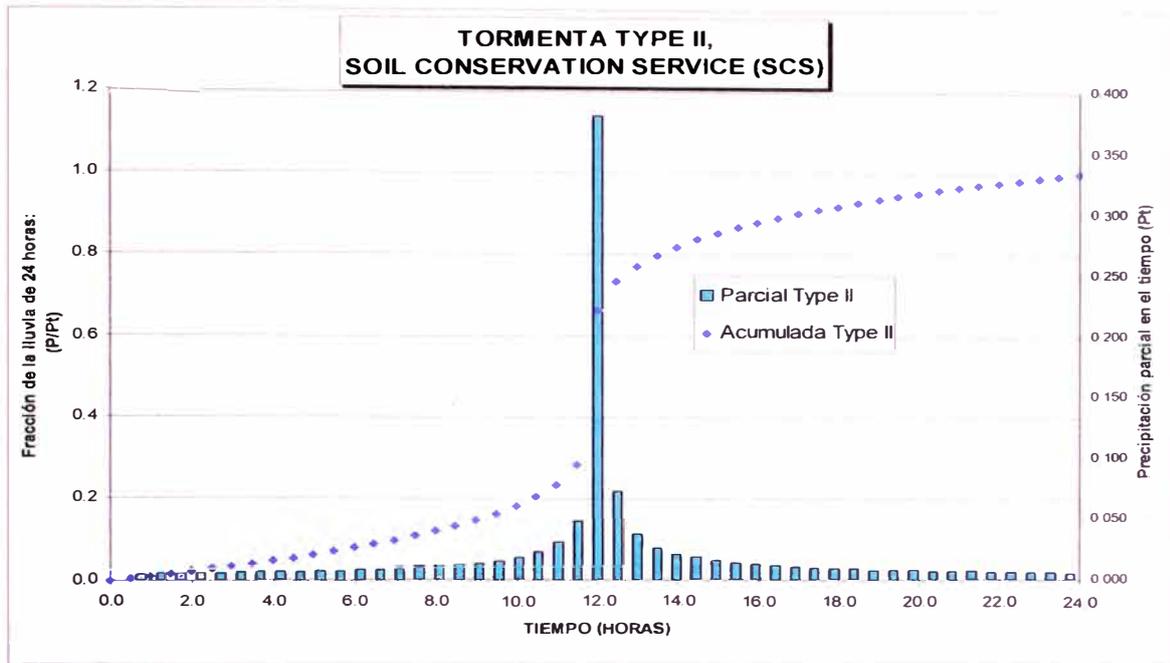


Figura 4.5. Curva Type II de distribución de precipitación del Soil Conservation Service.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los hidrogramas simulados mediante el uso de la distribución de precipitación obtenida de la información pluviográfica disponible a partir del período de lluvias del año 2005, generan una mayor variación en los hidrogramas reales y simulados.

### 4.3.2 ALTERNATIVAS DE HIDROGRAMA UNITARIO

Mediante la información disponible de hidrogramas en las estaciones hidrométricas de Arundaya y Titijones se determinaron los hidrogramas unitarios para la cuenca alta de Titijones y la cuenca baja de Arundaya. (Ver procedimiento de cálculo en ANEXO B). También se considera usar el hidrograma adimensional del SCS, pero luego de comparación y análisis de ambos hidrogramas unitarios adimensionales se determinó que éstas son aproximadamente similares a los usados por el SCS, por lo que se consideró utilizar el hidrograma unitario adimensional del SCS en el modelamiento hidrológico.

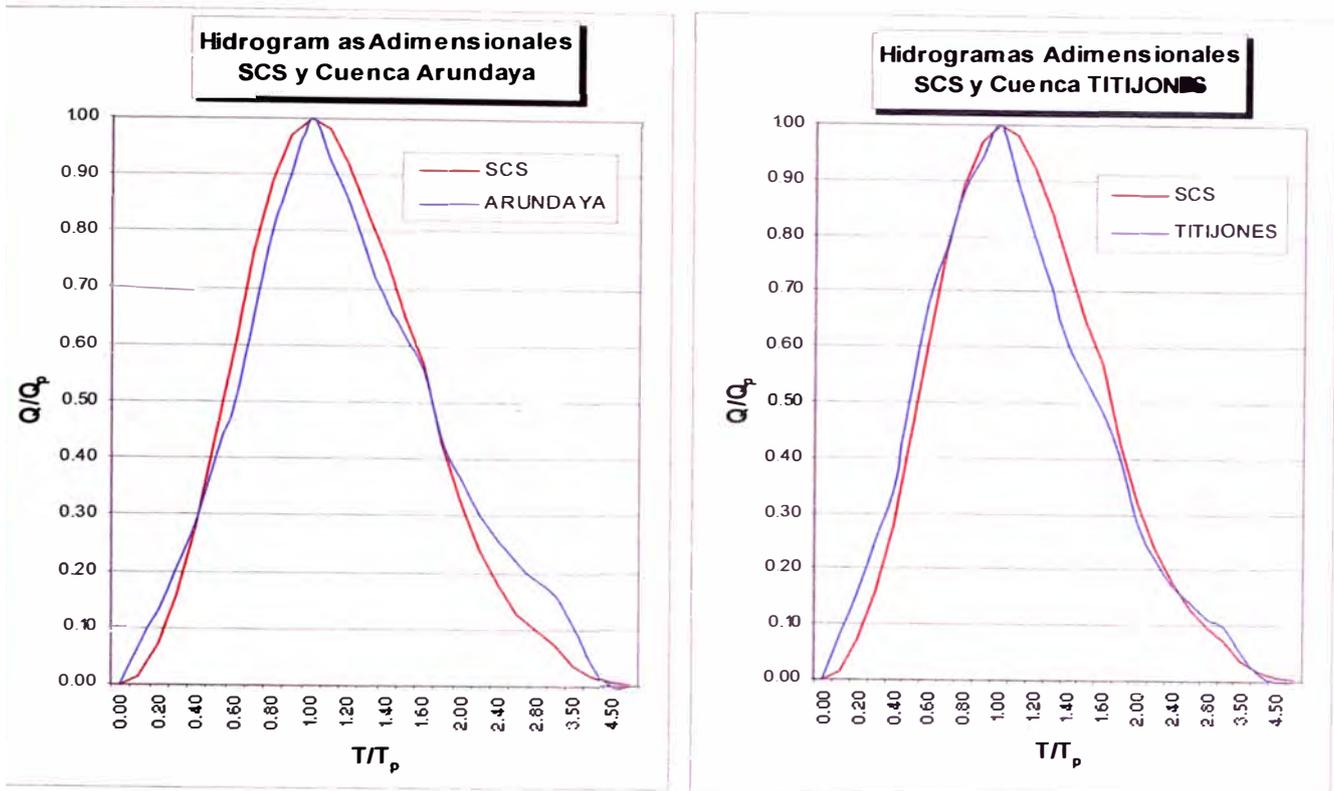


Figura 4.6. Comparación Gráfica de Hidrogramas Adimensionales

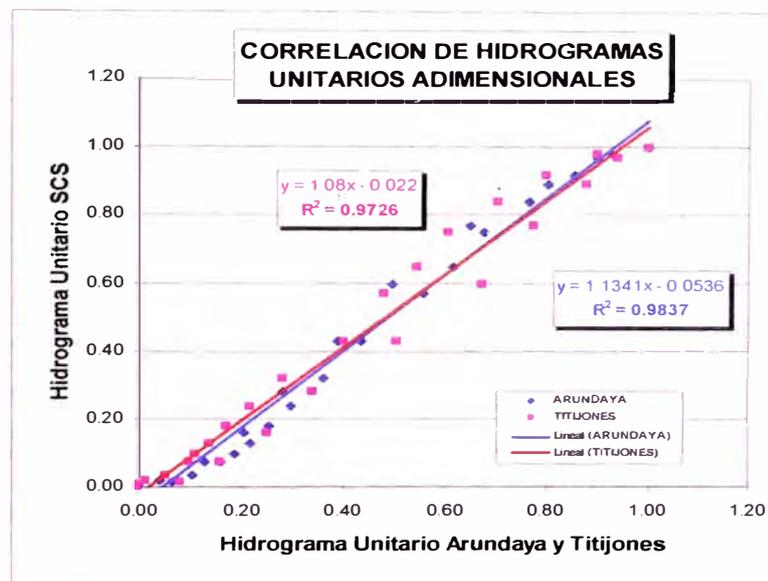


Figura 4.7. Correlación de Hidrogramas Adimensionales

El hidrograma unitario adimensional de SCS tiene una forma predefinida como respuesta a una lluvia unitaria. Esta forma, respecto a su concavidad es invariable, y sólo su amplitud o desarrollo temporal puede ser variado mediante un parámetro ( $T_{lag}$ , Tiempo de retardo, visto en el capítulo anterior y determinado mediante la fórmula de Victor Mockus en 1950) y que representa el tiempo que

transcurre entre el centroide de la lluvia y el pico del hidrograma. En ausencia de otra información se puede considerar  $T_c = 0.6 T_{lag}$  donde  $T_c$  es el tiempo de concentración de la cuenca Titijones y Arundaya, ver cuadro 4.5

Cuadro 4.5. Tiempo de retardo ( $T_{lag}$ )

Evento Análizado	AÑO	Fecha	(CN) TITIJONES	(CN) ARUNDAYA	Tiempo de Retardo: $T_{lag}$ (Horas)	
					TITIJONES	ARUNDAYA
1	2001	03-Feb	78.34	84.26	1.87	1.34
2		04-Feb	94.97	92.86	1.00	0.95
3		09-Feb	85.20	84.50	1.50	1.33
4		20-Feb	95.46	88.00	0.97	1.17
5		24-Feb	79.77	77.62	1.79	1.65
6		25-Feb	90.68	91.78	1.21	1.00
7		27-Feb	83.12	75.54	1.61	1.76
8		02-Mar	85.80	82.01	1.46	1.44
9		05-Mar	94.83	80.76	1.00	1.50
10		08-Mar	98.98	93.20	0.79	0.94
11		09-Mar	93.80	80.47	1.05	1.52
12		11-Mar	91.50	77.55	1.17	1.66
13		17-Mar	91.64	86.14	1.16	1.25
14		18-Mar	96.21	86.44	0.93	1.24
15		20-Mar	94.02	87.57	1.04	1.19
16	2002	03-Feb	87.47	82.82	1.38	1.41
17		04-Feb	89.37	67.77	1.28	2.18
18		05-Feb	87.21	81.33	1.39	1.48
19		10-Feb	86.38	83.08	1.43	1.39
20		17-Feb	98.63	91.22	0.81	1.03
21	21-Mar	92.84	82.93	1.10	1.40	
22	2005	08-Ene	85.95	73.25	1.46	1.88
23		09-Ene	88.70	76.41	1.31	1.71
24		10-Ene	86.40	78.12	1.43	1.63
25		09-Feb	91.74	82.29	1.16	1.43
26		19-Feb	91.81	73.51	1.16	1.86
27		20-Feb	81.14	74.60	1.71	1.81
28		21-Feb	93.28	83.82	1.08	1.36
29		25-Feb	90.56	68.73	1.22	2.12
30		10-Mar	88.47	68.87	1.33	2.12
31		11-Mar	90.42	75.64	1.23	1.75
32		27-Mar	89.07	71.97	1.29	1.95
33	29-Mar	89.07	75.42	1.30	1.77	
<b>Promedio :</b>			<b>89.78</b>	<b>80.62</b>	<b>1.26</b>	<b>1.52</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 TRANSITO DEL HIDROGRAMA

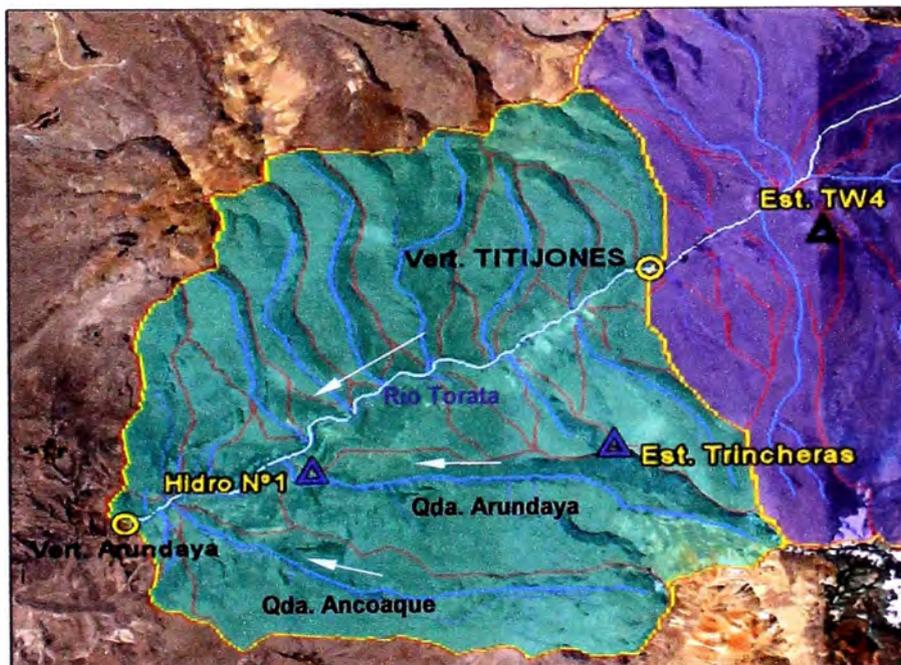
Se usó el método de Muskingum Cunge para evaluar el tránsito del hidrograma desde la salida de la cuenca Titijones a través del cauce natural del río Torata hasta la salida de la cuenca Arundaya en el punto de control de la estación hidrométrica Arundaya.

Cuadro 4.6. Parámetros de características hidráulicas del cauce

Parámetros del Tramo		Valor
Número de Manning	(n)	0.04
Longitud del Tramo (m)	(Lt)	13,410
Pendiente del Tramo (m/m)	(S)	0.045789
Ancho del Cauce (m)	(B)	10.00
Pendiente del Talud (m/m)	(z)	1.00

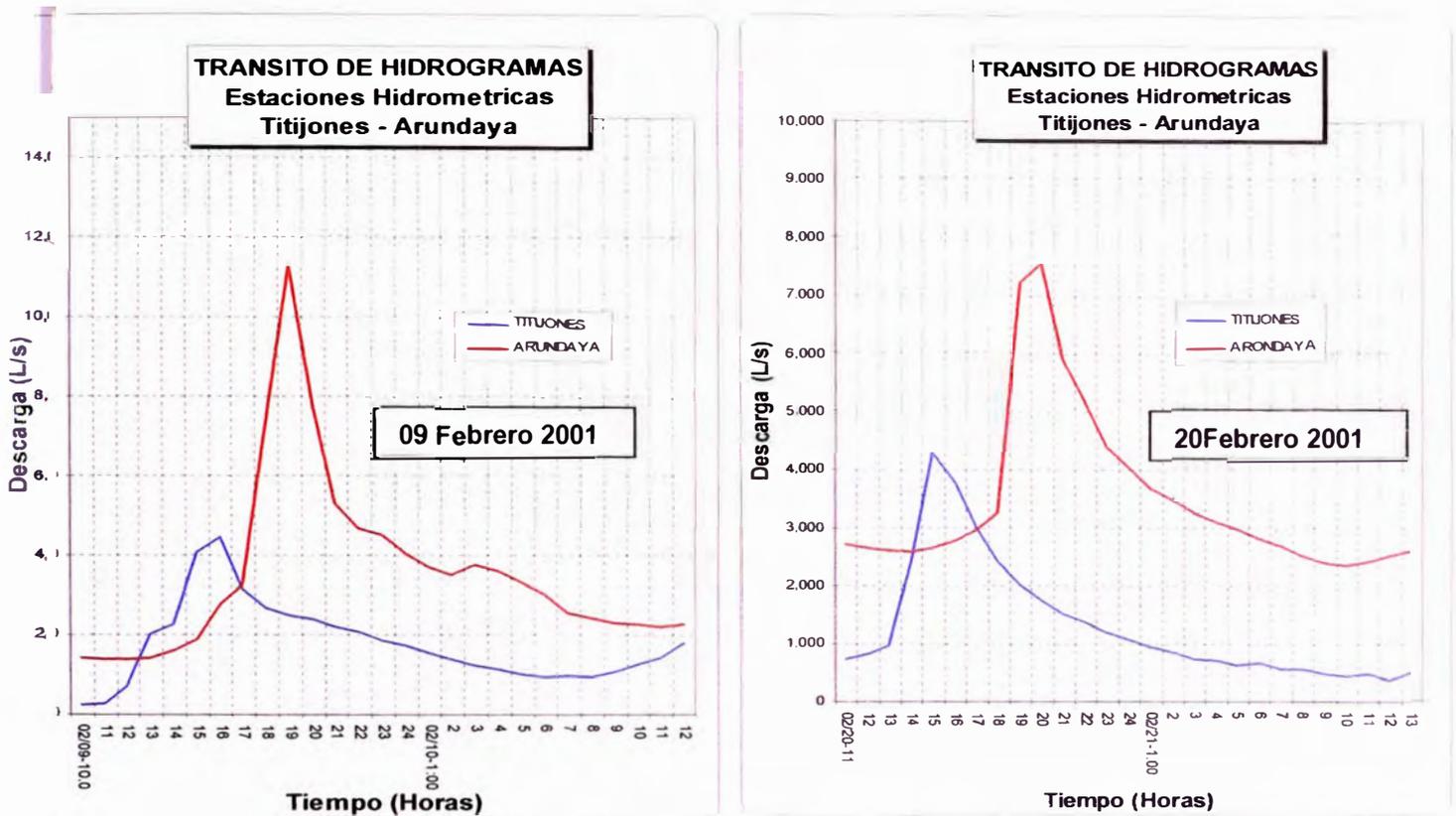
Fuente: Elaboración propia

En casi todos los hidrogramas registrados en la estación hidrométrica de Arundaya se observó que no existe atenuación del hidrograma que viene desde la cuenca alta; por lo contrario, la onda se incrementa debido al aporte lateral de flujos a lo largo de este tramo, sobre todo de las quebradas Ancoaque y Arundaya como se observa en las figuras N° 4.8 y 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8. Quebradas de mayores aportes al tramo del río Torata



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Tránsito de hidrogramas observados

#### 4.5 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA TORATA

Para el modelamiento se contó con la información de los parámetros geomorfológicos determinados mediante el uso de las herramientas del GIS, las alternativas de distribución de precipitación.

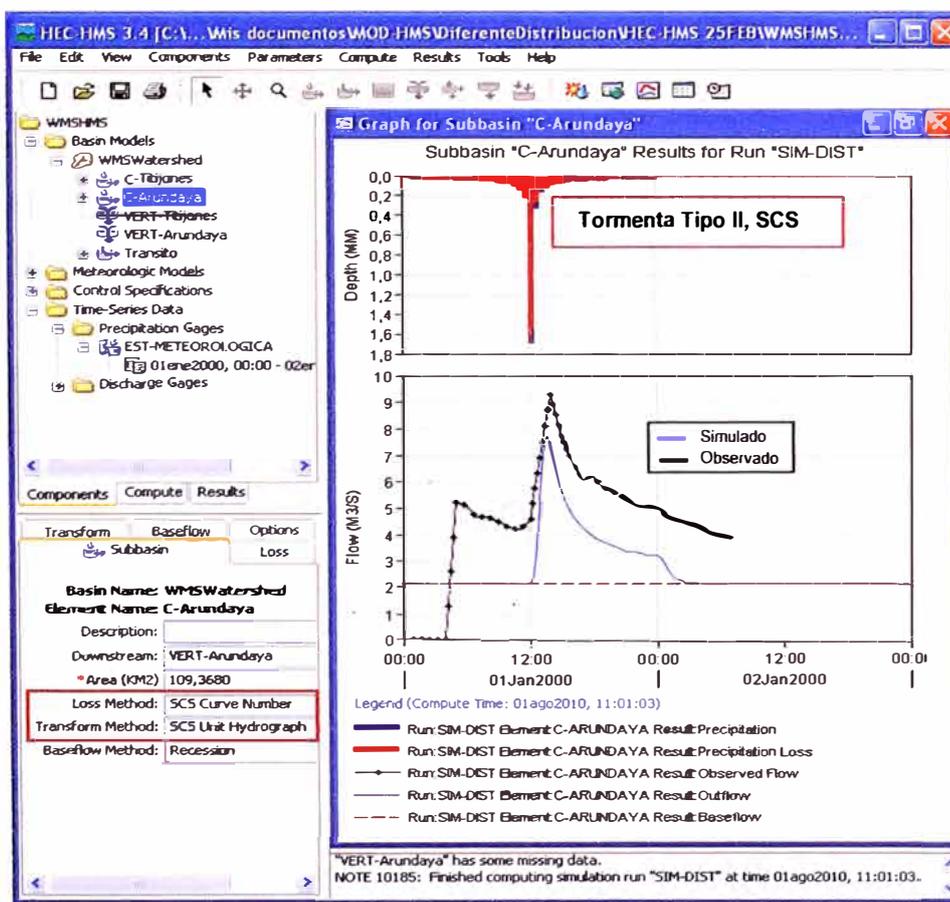
El modelamiento hidrológico consistió en determinar los caudales picos, combinando el método del hidrograma unitario del SCS para estimar el flujo superficial hacia la salida de la cuenca y el método de Muskingum para transitar la onda del flujo en el tramo Titijones-Arundaya, la que puede servir como referencia para cuencas similares carentes de información.

Como consecuencia del modelamiento es posible determinar el rango de valores de los Números de Curva (CN) obtenidos con registros de las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya.

### 4.5.1 GENERACIÓN DE HIDROGRAMAS

Se generaron los hidrogramas utilizando el HEC-HMS®, aplicando el método del Hidrograma Unitario adimensional, el método de abstracciones del Número de Curva del SCS, y el uso de la tormenta tipo II también desarrollada por el SCS.

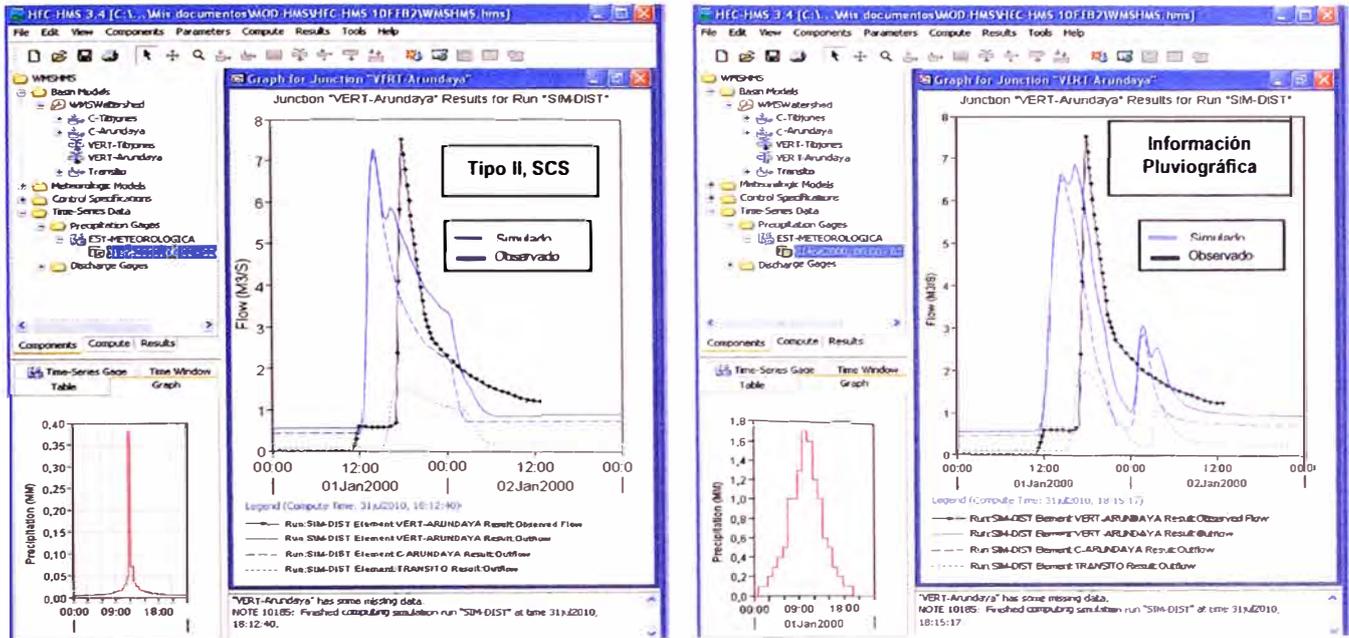
Los hidrogramas simulados al ser comparados con los hidrogramas observados en las estaciones Titijones y Arundaya muestran buena correlación.



Fuente: Elaboración propia

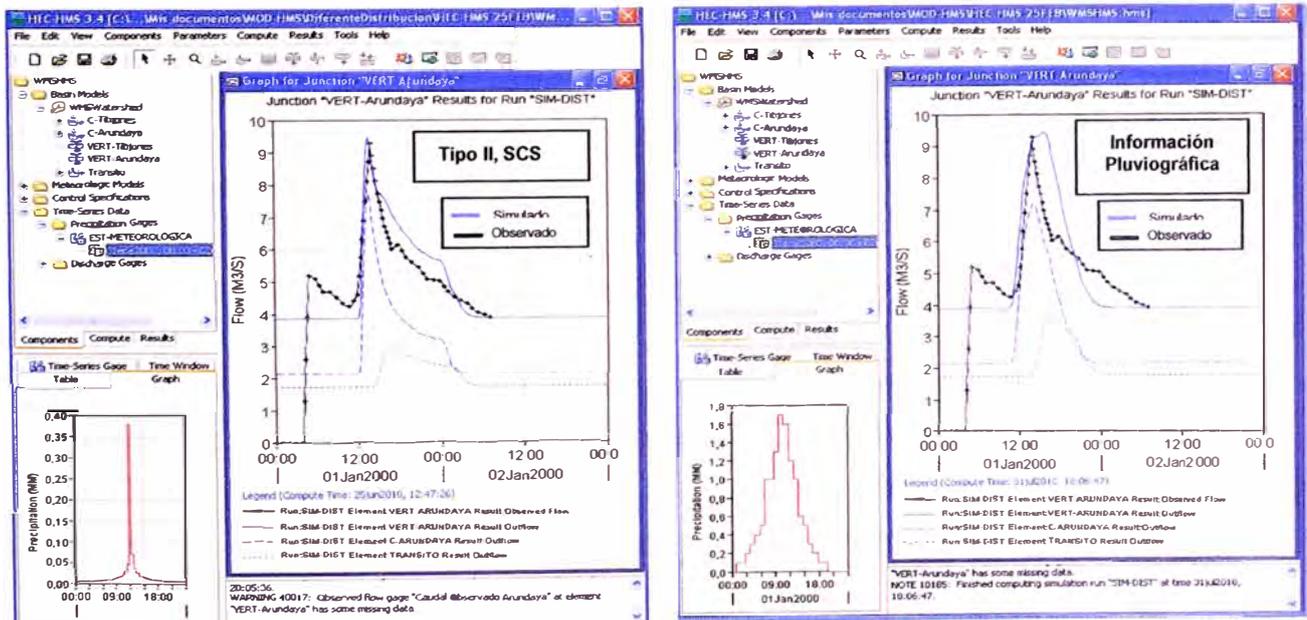
Figura 4.10. Simulación de Hidrogramas mediante método del SCS.

El uso de las distribuciones de precipitación definida por la información de estaciones pluviométricas de años que no pertenecen al período de los eventos analizados presentó una mayor variación por lo que se decidió usar como única distribución para el análisis la tormenta Tipo II del SCS.



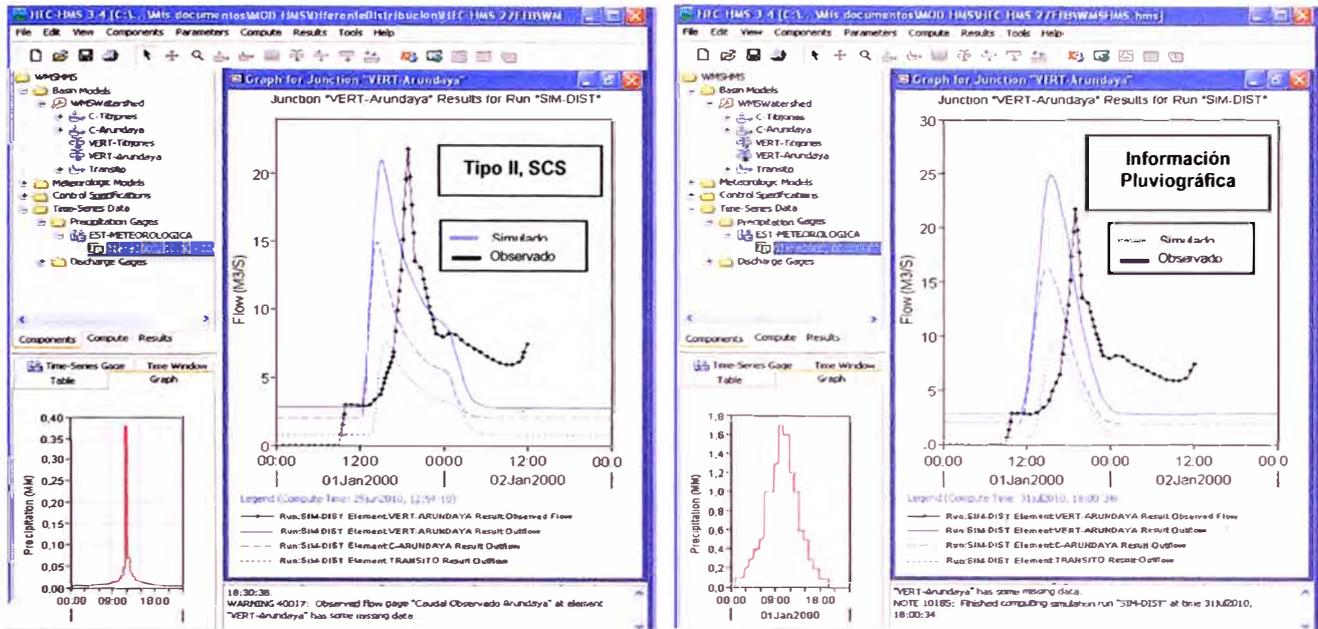
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Hidrogramas simulados y observados, evento 10 Febrero 2001



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12. Hidrogramas simulados y observados, evento 25 Febrero 2001



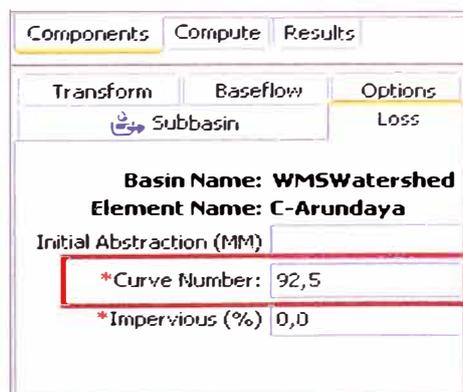
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13. Hidrogramas simulados y observados, evento 27 Febrero 2001

Las figuras muestran que el modelamiento hidrológico mediante el uso del hietograma de la tormenta tipo II del SCS presenta mejores resultados del caudal pico comparado con los determinados mediante el uso de hietogramas generados mediante la información disponible de estaciones pluviográficas de años posteriores a los eventos analizados.

#### 4.5.2 CALIBRACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

La calibración del Número de curva consistió en variar este parámetro hasta obtener el caudal pico simulado igual al observado para cada uno de los eventos obtenidos de los registros de las estaciones hidrométricas de Titijones y Arundaya.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14. Modificación del Número de Curva, HEC-HMS®

Mediante el modelamiento hidrológico se obtuvieron Números de curva para cada evento analizado en este estudio, con una buena correlación con respecto a los Número de curvas determinados mediante los hidrogramas observados.

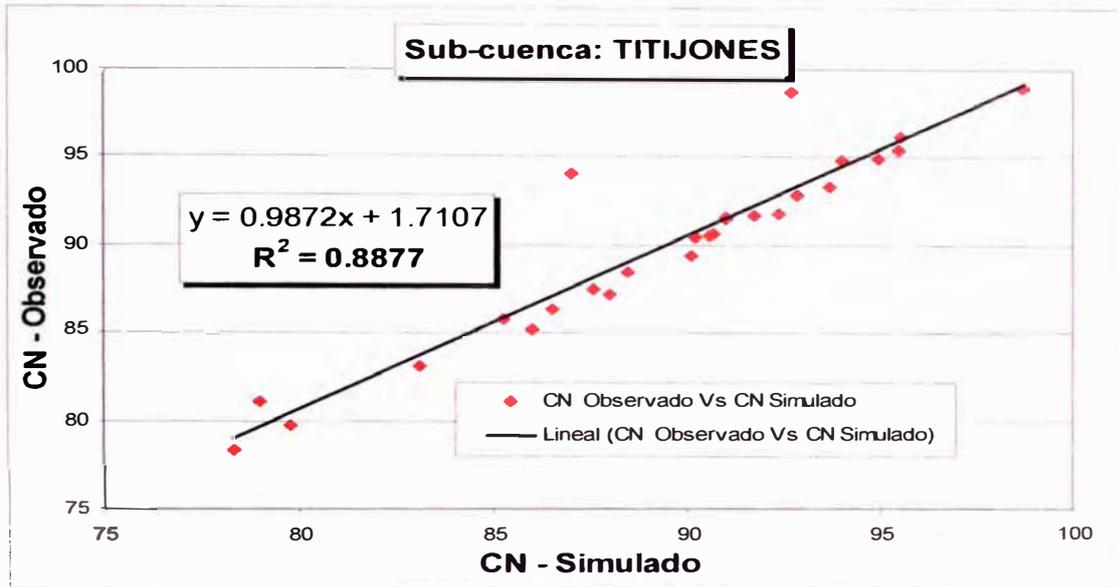


Figura 4.15. Curva Número observado y simulado, sub-cuenca Titijones

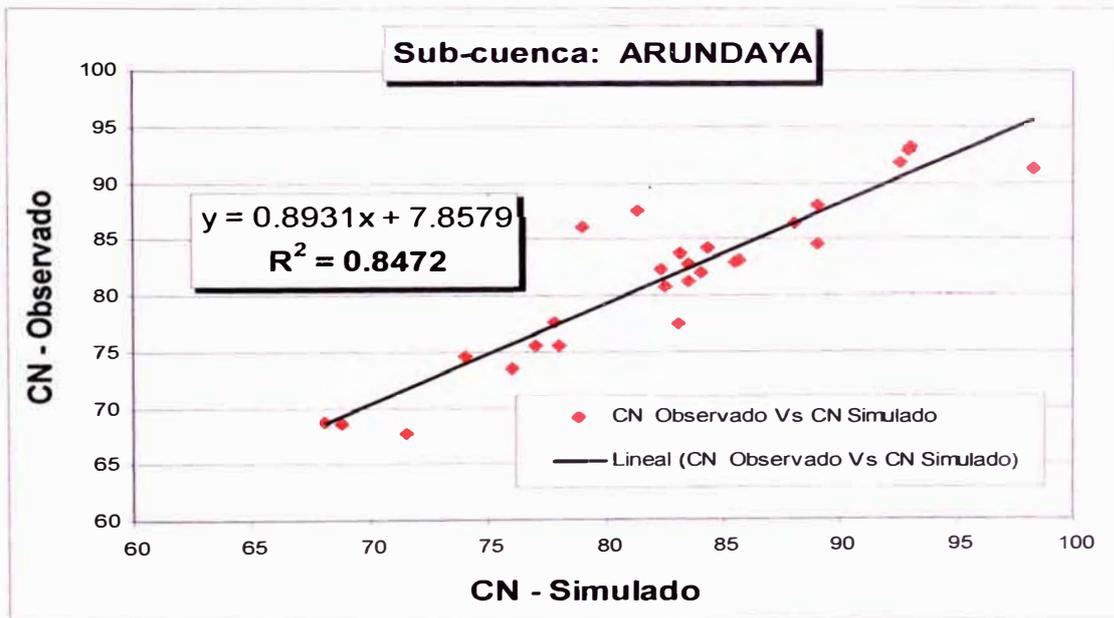


Figura 4.16. Curva Número observado y simulado, sub-cuenca Arundaya

La calibración de los Números de Curva obtenidos con la información de hidrogramas observados se realizó para corregir los errores que puedan tener por la suposición de estaciones imaginarias y el método de caudal base usado.

Los resultados indican que la variación entre el Número de Curva simulado con el Número de Curva determinado con información observada es mínima por lo tanto, las hipótesis asumidas son una buena aproximación para el modelamiento hidrológico y determinación del rango de Número de Curva de los eventos analizados, el Cuadro N° 4.7 muestra los Números de curva calibrados

Cuadro 4.7. Número de Curva Calibrado

Evento Analizado	AÑO	Fecha	Número de Curva (CN )	
			TITIJONES	ARUNDAYA
1	2001	03-Feb	<b>78.34</b>	84.26
2		04-Feb	94.97	<b>92.86</b>
3		09-Feb	86.00	89.00
4		20-Feb	95.46	89.00
5		24-Feb	79.77	77.81
6		25-Feb	90.68	92.50
7		27-Feb	83.12	78.00
8		02-Mar	85.26	84.00
9		05-Mar	94.00	82.50
10		08-Mar	<b>98.70</b>	93.00
11		09-Mar	93.80	80.47
12		11-Mar	91.00	83.00
13		17-Mar	91.00	79.00
14		18-Mar	95.50	88.00
15		20-Mar	87.00	81.33
16	2002	03-Feb	87.60	83.50
17		04-Feb	90.10	71.50
18		05-Feb	88.00	83.50
19		10-Feb	86.50	85.60
20		17-Feb	92.70	98.20
21		21-Mar	92.84	85.50
22	2005	08-Ene	85.95	73.25
23		09-Ene	88.70	76.41
24		10-Ene	86.40	78.12
25		09-Feb	91.74	82.29
26		19-Feb	92.35	76.00
27		20-Feb	79.00	74.00
28		21-Feb	93.70	83.10
29		25-Feb	90.56	68.73
30		10-Mar	88.47	<b>68.00</b>
31		11-Mar	90.20	77.00
32		27-Mar	89.07	71.97
33		29-Mar	89.07	75.42
<b>Promedio :</b>			<b>89.32</b>	<b>81.42</b>

Fuente: Elaboración propia

## 4.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### SENSIBILIDAD DEL NÚMERO DE CURVA

De la calibración del Número de Curva (CN) se obtiene los siguientes rangos de valores:

Cuadro 4.8. Rango de Número de Curva Calibrado

RANGO	NÚMERO DE CURVA	
	TITIJONES	ARUNDAYA
MÁXIMO	98.70	98.20
MÍNIMO	78.34	68.00

Las figuras adjuntas representan las simulaciones generadas con los valores máximos y mínimos del rango de Número de curvas obtenidos, se puede apreciar la sensibilidad en el cálculo de caudales picos.

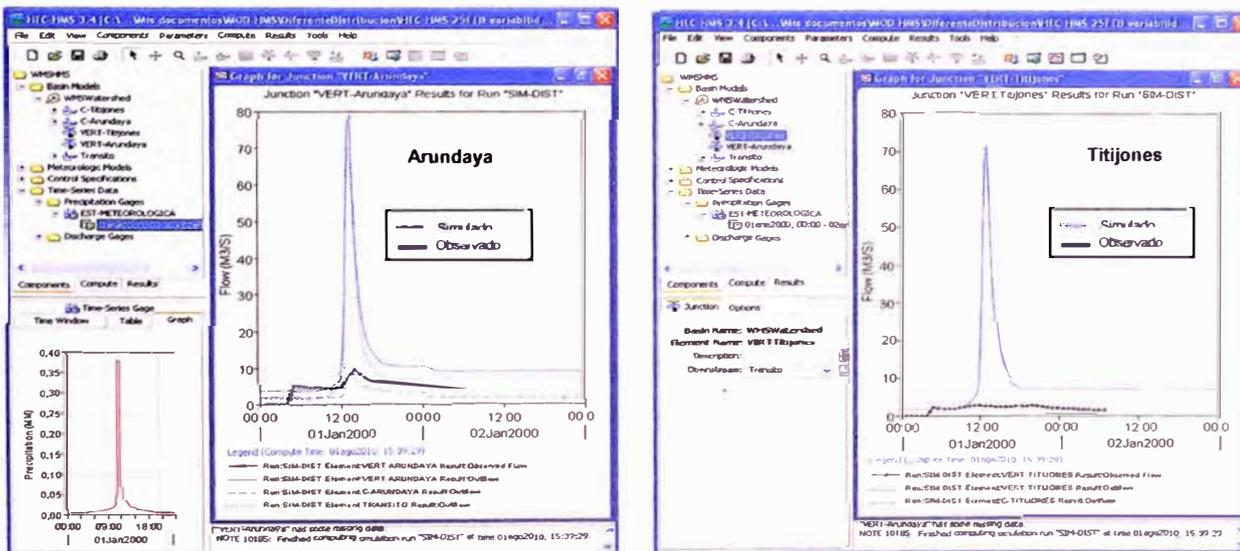


Figura 4.17. Simulación de hidrograma, Número de Curva Máximo

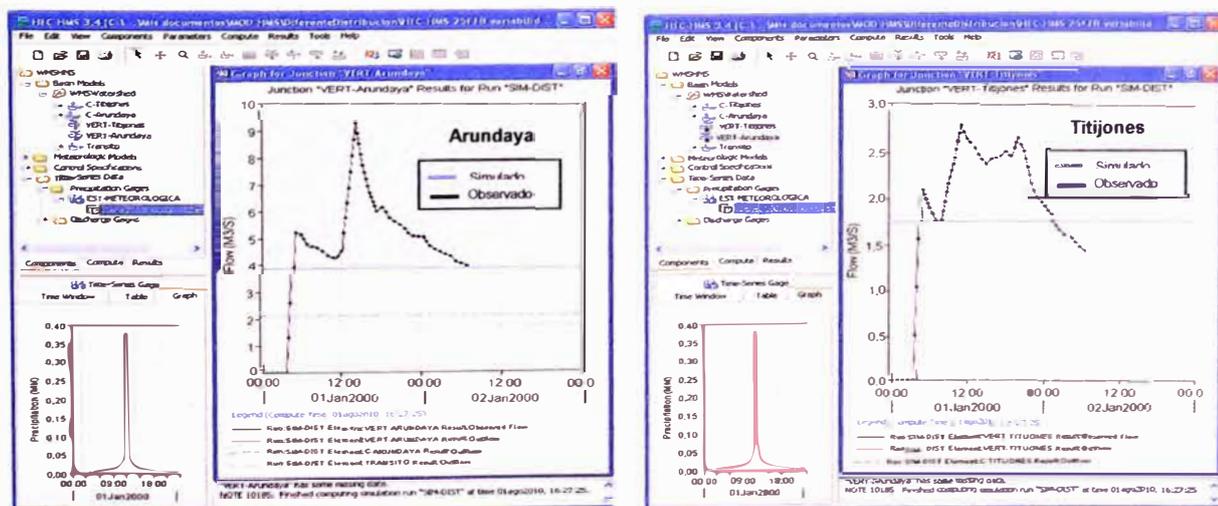
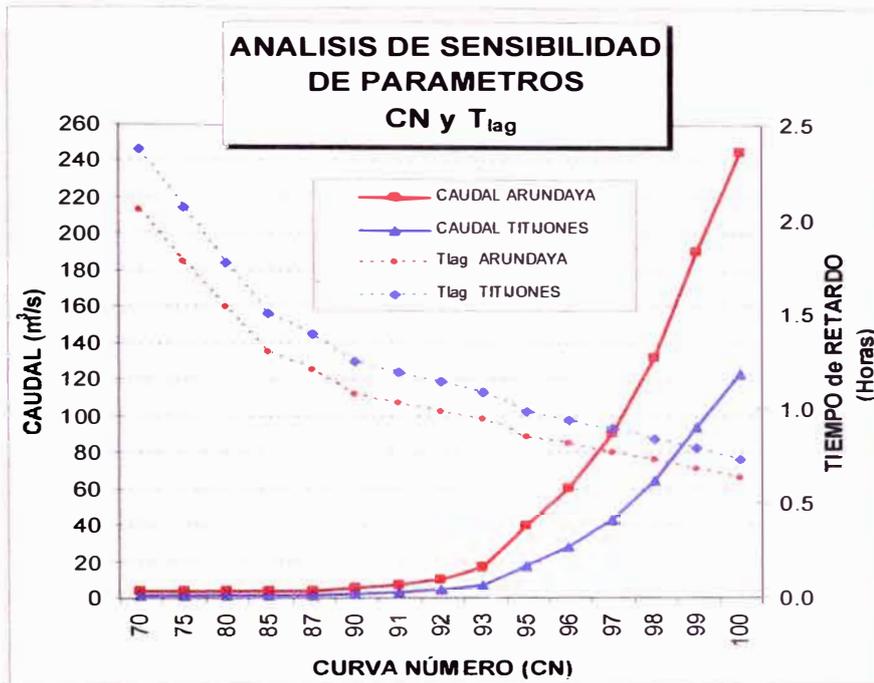


Figura 4.18. Simulación de hidrograma, Número de Curva Mínimo

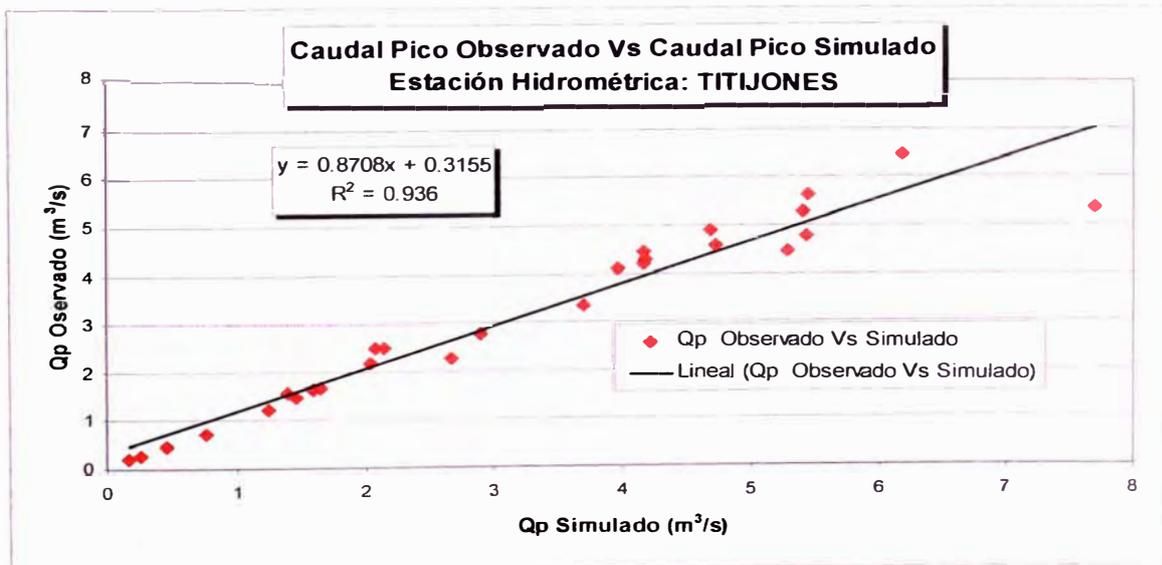
La figura N° 4.19, muestra la sensibilidad que existe al incremento del Número de curva con respecto al caudal y su relación inversa con el tiempo de retardo.



Fuente: Elaboración propia

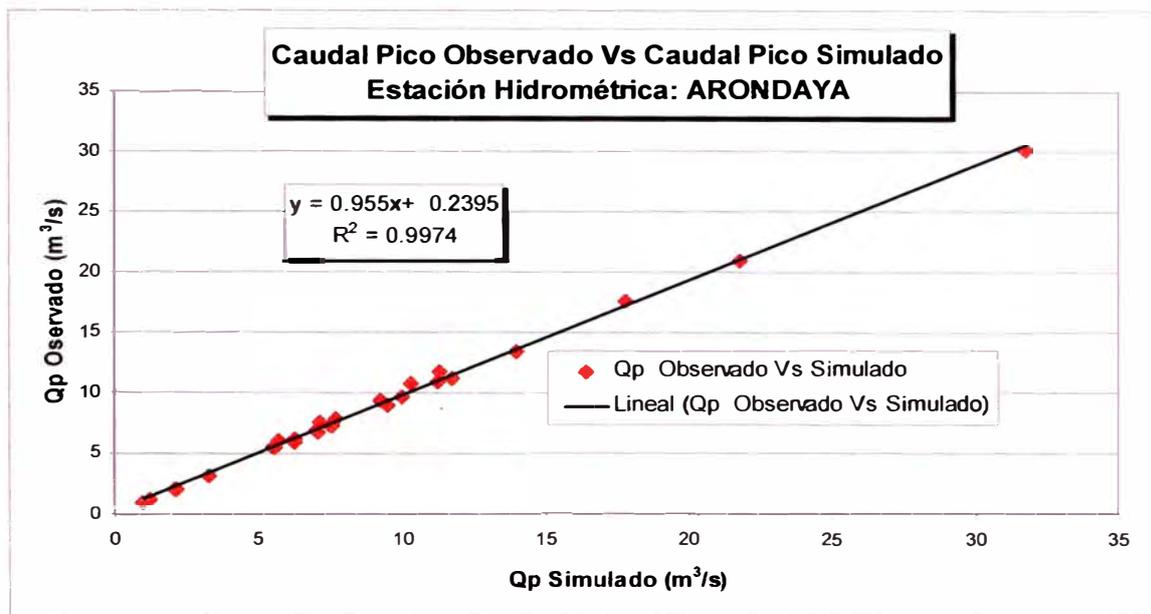
Figura 4.19. Sensibilidad del uso del Número de Curva en el modelamiento hidrológico.

También se muestran las figuras N° 4.20, N° 4.21 observándose una buena correlación entre los caudales picos observados con los caudales simulados con el uso de los valores de Número de Curva calibrados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20. Correlación de caudales pico observado y simulado, Est. Titijones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21. Correlación de caudales pico observado y simulado, Est. Arundaya.

Análizando solo el rango de caudales pico mayores a 10 m<sup>3</sup>/s para obtener un rango de Número de Curva más adecuado a la determinación de caudal pico máximo, con lo que obtenemos el siguiente cuadro:

Cuadro N° 4.9. Número de Curva Calibrado

Evento Analizado	AÑO	FECHA	P <sub>m</sub> (mm) Titijones	P <sub>m</sub> (mm) Arundaya	CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s)		NÚMERO DE CURVA (CN)		
					TITIJONES	ARUNDAYA	TITIJONES	ARUNDAYA	
3	2001	09-Feb	15.7	15.2	4.5	11.3	86.0	89.0	
5		24-Feb	22.1	27.5	5.6	14.0	79.8	77.8	
7		27-Feb	19.4	29.9	5.4	21.8	83.1	78.0	
8		02-Mar	14.6	16.1	6.5	11.8	85.3	84.0	
16	2002	03-Feb	10.5	23.8	1.5	17.8	87.6	83.5	
18		05-Feb	10.9	20.4	2.5	10.0	88.0	83.5	
21		21-Mar	8.2	24.3	5.3	31.8	92.8	85.5	
23	2005	09-Ene	7.0	26.8	0.1	11.1	88.7	76.4	
24		10-Ene	8.5	26.9	0.1	16.1	86.4	78.1	
27		20-Feb	12.7	26.0	0.7	10.3	79.0	74.0	
28		21-Feb	6.3	20.0	4.1	11.4	93.7	83.1	
							<b>Máximo :</b>	<b>93.7</b>	<b>89.0</b>
							<b>Mínimo :</b>	<b>79.0</b>	<b>74.0</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de comparar estos Números de curva con los obtenidos mediante la metodología del Soil Conservation Service, se obtiene pequeñas diferencias.

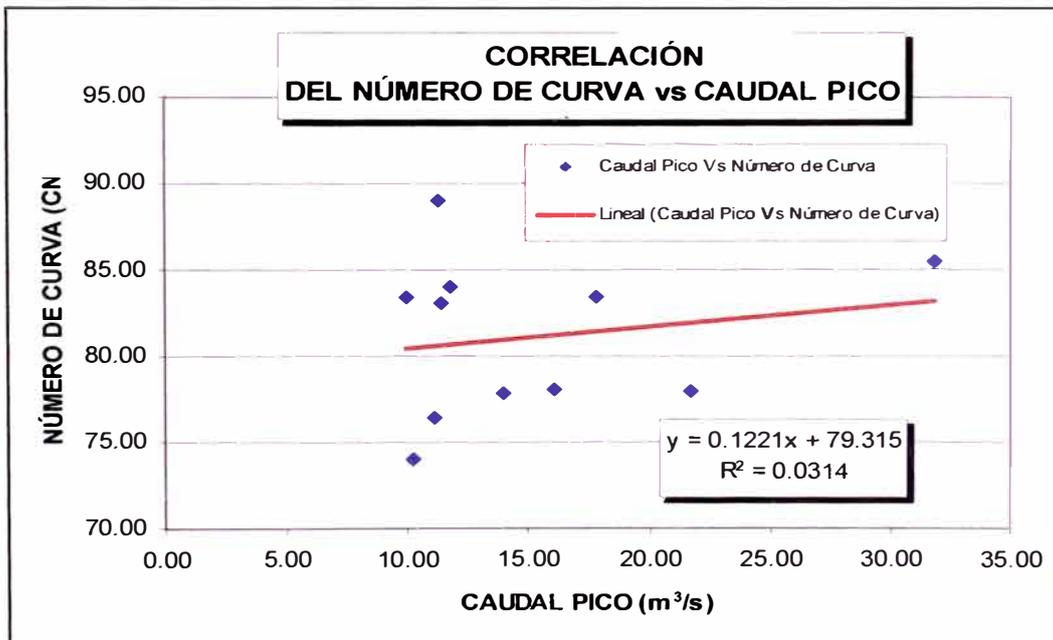
Cuadro 4.10. Variación del Número de Curva

SUB-CUENCA	SCS	OBSERVADO	DIFERENCIA
TITIJONES	93.4	93.7	0.3 %
ARUNDAYA	90.8	89.0	2.0 %

Fuente: Elaboración propia

El cuadro N° 4.1 muestra en resumen las precipitaciones media total, efectiva y caudales pico de cada evento analizado con los cuales se determinaron los Número de Curva calibrado mediante la aplicación de software especializados de modelamiento hidrológicos.

La Figura 4.23 muestra gráficamente la relación existente entre el Número de Curva calibrado y el caudal pico de cada sub-cuenca de cada evento analizado, en la figura 4.22. se muestra que la correlación entre el Número de Curva y el caudal pico es muy baja, esto se debe a que el incremento del caudal pico depende del Número de Curva y de la precipitación media para cada evento, en algunos casos el Número de Curva era alto, pero la precipitación media era baja lo cual generaba un caudal pico menor a comparación a otro evento con la misma magnitud del Número de Curva.



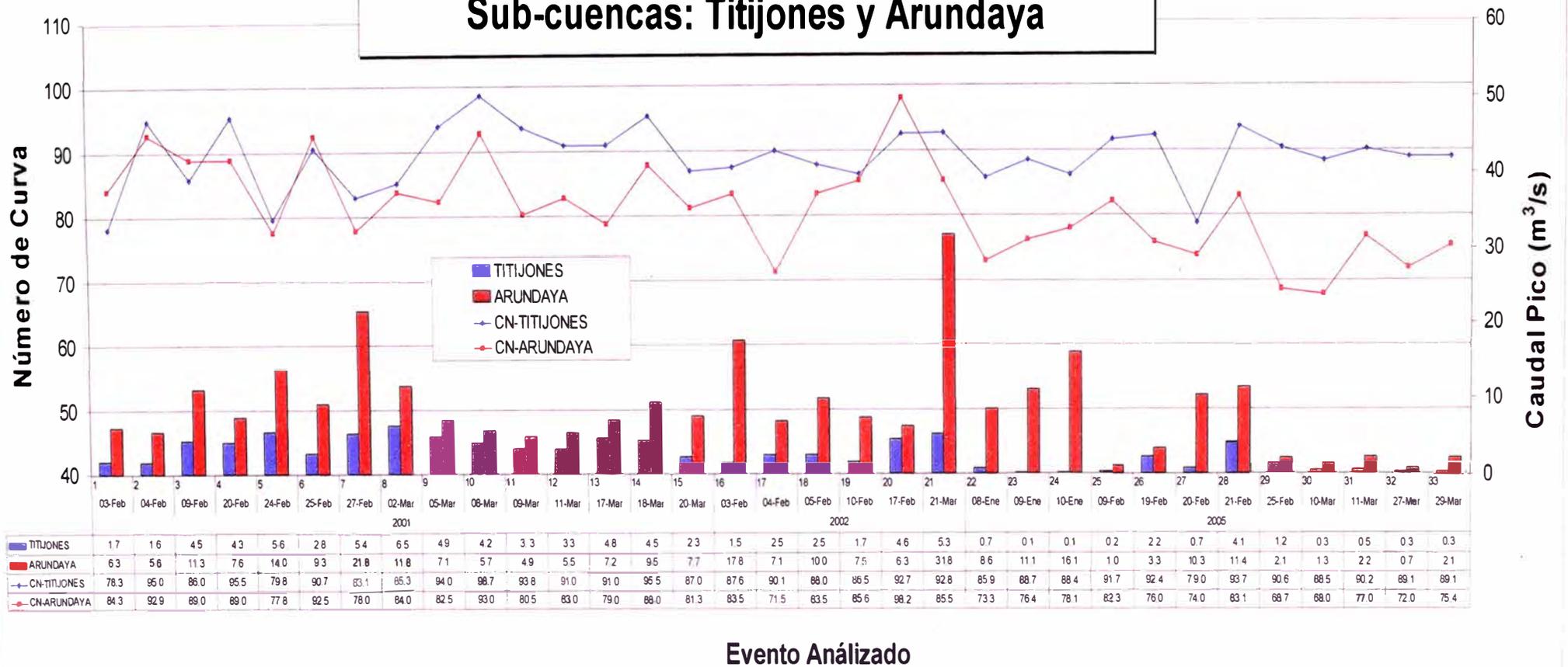
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22. Número de Curva Vs caudales pico, Est. Arundaya.

Cuadro 4.11. Resumen numérico del modelamiento hidrológico

Evento Analizado	AÑO	FECHA	Hora Pico Titijones	Hora Pico Arundaya	P <sub>m</sub> (mm) Titijones	P <sub>e</sub> (mm) Titijones	P <sub>m</sub> (mm) Arundaya	P <sub>e</sub> (mm) Arundaya	CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s)		NÚMERO DE CURVA (CN)	
									TITIJONES	ARUNDAYA	TITIJONES	ARUNDAYA
1	2001	03-Feb	07:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.	19.0	0.326	17.4	1.142	1.7	6.3	78.3	84.3
2		04-Feb	03:00:00 p.m.	04:00:00 p.m.	4.2	0.153	7.6	0.586	1.6	5.6	95.0	92.9
3		09-Feb	04:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.	15.7	0.938	15.2	0.665	4.5	11.3	86.0	89.0
4		20-Feb	03:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	5.1	0.473	9.8	0.223	4.3	7.6	95.5	89.0
5		24-Feb	05:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.	22.1	1.146	27.5	1.907	5.6	14.0	79.8	77.8
6		25-Feb	11:00:00 a.m.	02:00:00 p.m.	8.1	0.279	8.9	0.690	2.8	9.3	90.7	92.5
7		27-Feb	05:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.	19.4	1.362	29.9	1.885	5.4	21.8	83.1	78.0
8		02-Mar	06:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	14.6	0.797	16.1	0.412	6.5	11.8	85.3	84.0
9		05-Mar	03:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.	6.2	0.690	15.0	0.131	4.9	7.1	94.0	82.5
10		06-Mar	04:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.	1.7	0.384	5.4	0.143	4.2	5.7	98.7	93.0
11		09-Mar	05:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	5.9	0.336	13.9	0.038	3.3	4.9	93.8	80.5
12		11-Mar	06:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	8.5	0.511	18.9	0.225	3.3	5.5	91.0	83.0
13		17-Mar	12:00:00 a.m.	04:00:00 a.m.	9.5	0.834	8.9	0.013	4.8	7.2	91.0	79.0
14		18-Mar	03:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.	4.8	0.617	11.4	0.271	4.5	9.5	95.5	88.0
15		20-Mar	04:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.	4.9	0.156	12.4	0.650	2.3	7.7	87.0	81.3
16	2002	03-Feb	06:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.	10.5	0.263	23.8	2.676	1.5	17.8	87.6	83.5
17		04-Feb	06:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	9.0	0.263	32.6	0.553	2.5	7.1	90.1	71.5
18		05-Feb	04:00:00 p.m.	09:00:00 p.m.	10.9	0.287	20.4	1.136	2.5	10.0	88.0	83.5
19		10-Feb	07:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.	12.0	0.363	16.9	0.735	1.7	7.5	86.5	85.6
20		17-Feb	05:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	2.5	0.605	5.9	0.040	4.6	6.3	92.7	98.2
21	21-Mar	04:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.	8.2	0.779	24.3	2.898	5.3	31.8	92.8	85.5	
22	2005	08-Ene	01:00:00 p.m.	01:00:00 p.m.	9.4	0.028	26.9	0.682	0.7	8.6	85.9	73.3
23		09-Ene	03:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.	7.0	0.008	26.8	1.388	0.1	11.1	88.7	76.4
24		10-Ene	04:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.	8.5	0.006	26.9	1.902	0.1	16.1	86.4	78.1
25		09-Feb	01:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.	5.4	0.030	12.5	0.046	0.2	1.0	91.7	82.3
26		19-Feb	01:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.	7.0	0.243	20.3	0.042	2.2	3.3	92.4	76.0
27		20-Feb	12:00:00 p.m.	02:00:00 p.m.	12.7	0.014	26.0	0.792	0.7	10.3	79.0	74.0
28		21-Feb	10:00:00 a.m.	01:00:00 p.m.	6.3	0.336	20.0	1.763	4.1	11.4	93.7	83.1
29		25-Feb	08:00:00 p.m.	11:00:00 p.m.	7.8	0.222	24.1	0.008	1.2	2.1	90.6	68.7
30		10-Mar	09:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.	7.9	0.050	26.7	0.118	0.3	1.3	88.5	68.0
31		11-Mar	09:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.	7.2	0.115	20.2	0.174	0.5	2.2	90.2	77.0
32		27-Mar	12:00:00 a.m.	06:00:00 a.m.	7.7	0.066	20.2	0.002	0.3	0.7	89.1	72.0
33	29-Mar	04:00:00 a.m.	05:00:00 a.m.	8.0	0.090	20.4	0.167	0.3	2.1	89.1	75.4	

## Número de Curva (CN) y Caudal Pico (Qp) Sub-cuencas: Titijones y Arundaya



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23. Relación del CN y caudal pico (Titijones y Arundaya.)

## CONCLUSIONES

- La metodología usada por el Soil Conservation Service de acuerdo al presente estudio presenta buenos resultados asumiendo tanto la distribución de precipitación y el hidrograma unitario adimensional utilizado.
- De acuerdo al análisis de los Números de Curva (CN) obtenidos, éstos no son valores fijos, varían en el tiempo, para diferentes condiciones climatológicas, sea un año húmedo o seco.

En el caso de la cuenca baja de Arundaya presenta una visible variación del número de curva (CN) dentro del rango de 60 a 85 para períodos de años relativamente secos, los cuales se incrementan con la intensidad de la lluvia, llegando hasta un valor máximo de 93 en condiciones húmedas como en el año 2001.

En cambio, la cuenca alta de Titijones tuvo una variación relativamente pequeña, ya que esta cuenca presenta una zona de afloramientos de agua que permiten que su Número de Curva no presente una mayor variación.

- El rango de Números de Curva (CN) obtenido mediante el análisis de los 33 eventos permiten apreciar la variación del número de curva en diferentes escenarios y condiciones de humedad diferentes a la normal, también se observa que el mayor incremento del número de curva se dio en el año 2001, siendo este año el más húmedo del período 2001-2005.
- Se puede determinar el caudal pico con una precisión del 5%, al considerar la distribución de precipitación de la curva type II del Soil Conservation Service, en la zona de estudio.
- A la luz de los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión que el número de curva están en relación directa con la distribución de precipitación que se asuma en el modelamiento hidrológico, por lo tanto al considerar una distribución de precipitación con el tipo II del Soil Conservation Service se obtiene una buena aproximación al valor real del

número de curva obtenido con los hidrogramas observados en las estaciones hidrométricas de Titijones y Arondaya.

- El incremento del caudal en forma exponencial para un Número de Curva mayor a 90 demostró la sensibilidad de este parámetro para precipitaciones mayores a 10 mm, lo cual indica el cuidado que se debe tener al determinar o usar este parámetro en la determinación de los caudales picos.

## RECOMENDACIONES

- Instalar estaciones pluviométricas o pluviográficas en la ubicación de las estaciones hipotéticas asumidas en esta tesis, para mejorar el resultado del modelamiento hidrológico, ya que estas tienen relación con el mejor resultado de las simulaciones hidrológicas.
- Particularmente se recomienda la instalación de una estación pluviográfica en la antigua ubicación de la estación Hidro N°1 y una pluviométrica en el Cerro Trincheras para determinar la distribución de las precipitaciones en el tiempo y así tener una mejor estimación del hidrograma de escorrentía superficial de cada una de las sub-cuencas.
- Usar capas de información con mayor detalle o menor escala a la utilizada.
- Usar curvas de nivel a cada 25m para la generación del Modelo de Elevación Digital (DEM).
- Se recomienda realizar estudios de este tipo en otras cuencas de características similares para verificar la aplicabilidad de la metodología usada.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Aparicio Mijares, Javier.** Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa S.A. de C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES, México D. F, 1996.
2. **Arancibia Samaniego, Ada Liz.** Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de obras civiles. Tesis – UNI Facultad de Ing. Civil, 1998.
3. **Bringham Young University-Environmental Modeling Research Laboratory.** Water Modeling System v.7.2, Tutorial, 2002.
4. **Burns, I.Shea. et al. (n.d.).** “Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) – A GIS-Based Hydrologic Modeling Tool: Documentation and User Manual.” Version 1.4
5. **Cárdenas Gaudry, María Magdalena.** Modelamiento Hidrológico de la cuenca del Río Huancabamba con fines de operación en épocas de avenidas. Tesis – UNALM Facultad de Ing. Agrícola, 1997.
6. **Chow Ven Te, Maidment David R, W. Mays Larry.** Hidrología aplicada. McGRAW-HILL. Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.
7. **Corporación de Rehabilitación y Desarrollo Económico del Dpto. de Moquegua.** Estudio de Reconocimiento de presas y embalses del sistema Moquegua, Marzo, 1971.
8. **De Piérola Canales, José; Choquehuanca Solórzano, Néstor.** Aplicación de un Modelo de prognosis de hidrogramas de crecidas para la operación de un reservorio de control. Ponencia en el XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ayacucho - 2005.
9. **Fonseca Salazar, Sigfredo Ernesto.** Modelamiento Hidrológico con el HEC-HMS y Sistema de información Geográfico. Tesis – UNALM Facultad de Ing. Agrícola, 2002.
10. **Hydrology Research Society of the Ministry of Construction Japan International Cooperation Agency.** Run-Off Calculation Method, 1987

11. **Instituto Nacional de Desarrollo**, Proyecto Especial "Pasto Grande", Hidrología y Climatología Informe Final. Noviembre, 1989.
12. **Instituto Nacional de Planificación**, Informe de Factibilidad. Proyecto de Irrigación Moquegua. Enero, 1966
13. **Linsley Jr, Ray K.; Kohler, Max A.; Paulus, Joseph L. H.**. Hidrología para Ingenieros. McGRAW-HILL Latinoamericana S.A. Bogotá, Colombia, 1977.
14. **Monsalve Sáenz, Germán**. Hidrología en la Ingeniería. Alfa Omega, México D. F, México, 1999.
15. **Ponce, Victor Miguel**. Engineering Hydrology. Principles and Practices. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., U.S.A., 1989.
16. **Southern Peru, Departamento de Recursos Hídrico-Cuajone**, Monitoreo de flujo del río Torata y afluentes. Período de lluvias, Enero-Abril 2001 al 2005
17. **U.S. Army Corps of Engineering**, Hydrologic Engineering Center HEC-1, Flood Hydrograph Package, User's Manual, September, 1990.
18. **U.S. Army Corps of Engineers**, Hydrologic Engineering Center (HEC), Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), User's Manual. Agosto 2009.
19. **U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service**, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, March, 1985.

## ANEXO A

# PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

- **A1.1:** PENDIENTE EQUIVALENTE DEL CAUCE PRINCIPAL
- **A1.2:** PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE MEDIA
- **A1.3:** CURVA HIPSOMÉTRICA Y PÓLIGONOS DE FRECUENCIAS
- **A1.4:** GRÁFICO DE CURVA HIPSOMÉTRICA
- **A1.5:** PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE SUB-CUENCAS DE LA CUENCA ARUNDAYA
- **A1.6:** PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE SUB-CUENCAS DE LA CUENCA TITIJONES

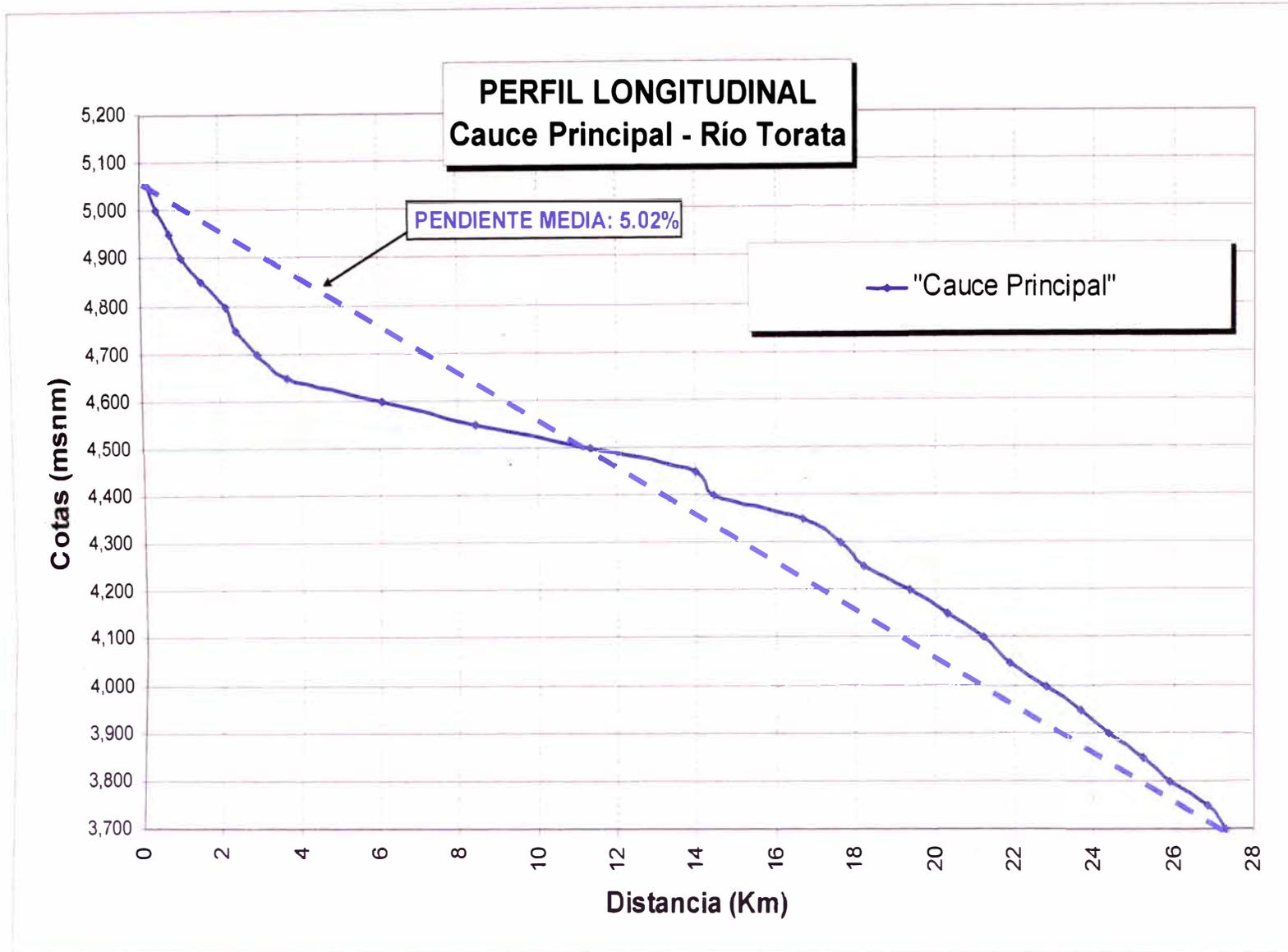
**A1.1. PENDIENTE EQUIVALENTE DEL CAUCE PRINCIPAL**

n°	ΔH	COTA	RANGO	Li	Li. ACUM	Pendiente	SQR(Si)	Li/SQR(Si)
		m.s.n.m.		(m)	(m)	(Si)		
1	0	5,050	5,050 - 5,000	193.1	193	0.26	0.51	379.48
2	50	5,000	5,000 - 4,950	204.7	398	0.24	0.49	414.18
3	50	4,950	4,950 - 4,900	365.3	763	0.14	0.37	987.39
4	50	4,900	4,900 - 4,850	272.5	1,036	0.18	0.43	636.16
5	50	4,850	4,850 - 4,800	494.5	1,530	0.10	0.32	1555.12
6	50	4,800	4,800 - 4,750	606.1	2,136	0.08	0.29	2110.24
7	50	4,750	4,750 - 4,700	272.8	2,409	0.18	0.43	637.21
8	50	4,700	4,700 - 4,650	514.9	2,924	0.10	0.31	1652.34
9	50	4,650	4,650 - 4,600	752.5	3,676	0.07	0.26	2919.27
10	50	4,600	4,600 - 4,550	2,385.4	6,062	0.02	0.14	16476.19
11	50	4,550	4,550 - 4,500	2,393.3	8,455	0.02	0.14	16558.11
12	50	4,500	4,500 - 4,450	2,862.5	11,318	0.02	0.13	21658.74
13	50	4,450	4,450 - 4,400	2,662.6	13,980	0.02	0.14	19430.05
14	50	4,400	4,400 - 4,350	470.3	14,451	0.11	0.33	1442.37
15	50	4,350	4,350 - 4,300	2,237.2	16,688	0.02	0.15	14964.84
16	50	4,300	4,300 - 4,250	911.9	17,600	0.05	0.23	3894.36
17	50	4,250	4,250 - 4,200	616.9	18,217	0.08	0.28	2166.89
18	50	4,200	4,200 - 4,150	1,154.5	19,371	0.04	0.21	5547.61
19	50	4,150	4,150 - 4,100	923.8	20,295	0.05	0.23	3970.84
20	50	4,100	4,100 - 4,050	925.7	21,221	0.05	0.23	3983.09
21	50	4,050	4,050 - 4,000	669.1	21,890	0.07	0.27	2447.66
22	50	4,000	4,000 - 3,950	893.9	22,784	0.06	0.24	3779.62
23	50	3,950	3,950 - 3,900	877.1	23,661	0.06	0.24	3673.57
24	50	3,900	3,900 - 3,850	698.0	24,359	0.07	0.27	2607.94
25	50	3,850	3,850 - 3,800	860.0	25,219	0.06	0.24	3566.67
26	50	3,800	3,800 - 3,750	673.5	25,892	0.07	0.27	2471.85
27	50	3,750	3,750 - 3,700	950.5	26,843	0.05	0.23	4144.22
28	50	3,700	3,700 - 3,680	449.1	27,292	0.04	0.21	2128.14
29	20	3,680	3,680 - -	-	-	-	-	-
30		-	- - -	-	-	-	-	-
<b>Total :</b>	1370 m		<b>Total :</b>	27,292 m		<b>Total :</b>	7.09	146204.16
<b>PENDIENTE MEDIA :</b>				5.02		%		
<b>PENDIENTE EQUIVALENTE :</b>				3.48		%		

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{l_i}{S_i^{0.5}} \right)} \right]^2 * 100 \quad (\%) = 3.48\%$$

Fuente: Elaboración propia

## A1.2. PERFIL LONGITUDINAL Y PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA TORATA

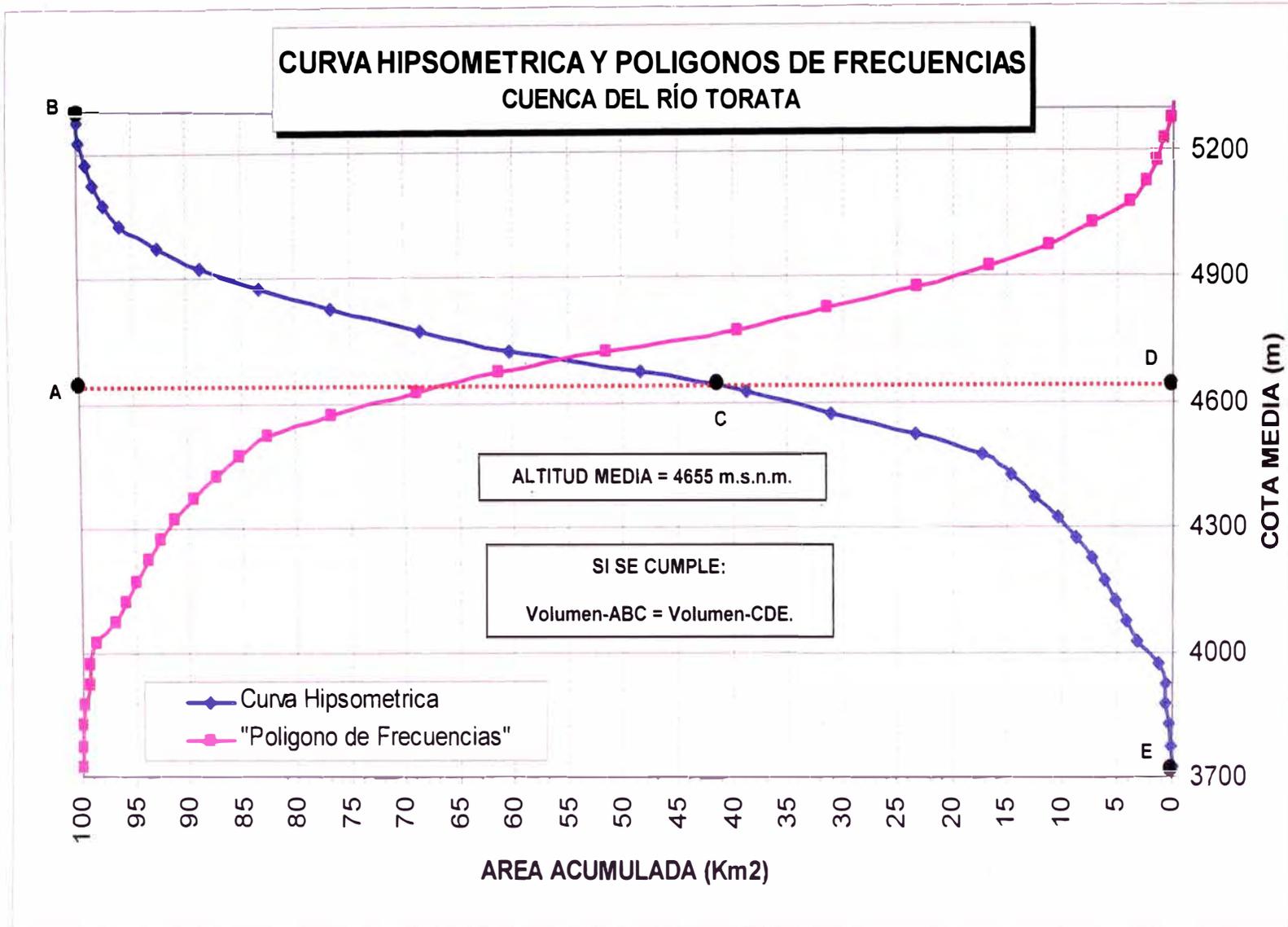


### A1.3. CURVA HIPSOMETRICA Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

RANGO	COTA MEDIA	AREA		CMEDIA*AREA	AREA ACUMULADA POR DEBAJO		AREA ACUMULADA POR ENCIMA	
		km <sup>2</sup>	%	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
700 - 3750	3690	0	0.00	0.00	0.00	0.00	232.55	100.07
750 - 3800	3725	0.05	0.02	0.80	0.05	0.02	232.55	100.07
800 - 3850	3775	0.22	0.09	3.57	0.27	0.12	232.50	100.05
850 - 3900	3825	0.42	0.18	6.91	0.69	0.30	232.28	99.95
900 - 3950	3875	0.88	0.38	14.66	1.57	0.68	231.86	99.77
950 - 4000	3925	0.11	0.05	1.86	1.68	0.72	230.98	99.39
1000 - 4050	3975	1.54	0.66	26.32	3.22	1.38	230.87	99.35
1050 - 4100	4025	4.33	1.86	74.94	7.55	3.25	229.33	98.68
1100 - 4150	4075	2.22	0.95	38.90	9.77	4.20	225.00	96.82
1150 - 4200	4125	2.30	0.99	40.80	12.07	5.19	222.78	95.86
1200 - 4250	4175	2.46	1.06	44.16	14.53	6.25	220.48	94.87
1250 - 4300	4225	2.56	1.10	46.51	17.09	7.35	218.02	93.82
1300 - 4350	4275	3.35	1.44	61.58	20.44	8.79	215.46	92.71
1350 - 4400	4325	3.96	1.70	73.65	24.40	10.49	212.11	91.27
1400 - 4450	4375	5.03	2.16	94.63	29.43	12.66	208.15	89.57
1450 - 4500	4425	4.84	2.08	92.10	34.27	14.74	203.12	87.40
1500 - 4550	4475	6.10	2.62	117.38	40.37	17.36	198.28	85.32
1550 - 4600	4525	13.90	5.98	270.47	54.27	23.34	192.18	82.70
1600 - 4650	4575	18.03	7.75	354.71	72.30	31.09	178.28	76.72
1650 - 4700	4625	17.81	7.66	354.21	90.11	38.75	160.25	68.96
1700 - 4750	4675	22.57	9.71	453.73	112.68	48.45	142.44	61.29
1750 - 4800	4725	27.70	11.91	562.81	140.38	60.37	119.87	51.58
1800 - 4850	4775	19.17	8.24	393.62	159.55	68.61	92.17	39.66
1850 - 4900	4825	18.95	8.15	393.18	178.50	76.76	73.00	31.41
1900 - 4950	4875	15.13	6.51	317.17	193.63	83.26	54.05	23.26
1950 - 5000	4925	12.63	5.43	267.48	206.26	88.69	38.92	16.75
2000 - 5050	4975	9.31	4.00	199.17	215.57	92.70	26.29	11.31
2050 - 5100	5025	7.80	3.35	168.54	223.37	96.05	16.98	7.31
2100 - 5150	5075	3.43	1.47	74.85	226.80	97.53	9.18	3.95
2150 - 5200	5125	2.21	0.95	48.70	229.01	98.48	5.75	2.47
2200 - 5250	5175	1.47	0.63	32.71	230.48	99.11	3.54	1.52
2250 - 5300	5225	1.64	0.71	36.85	232.12	99.82	2.07	0.89
2300 - 5350	5275	0.27	0.12	6.12	232.39	99.93	0.43	0.19
2350 - 5400	5325	0.16	0.07	3.66	232.55	100.00	0.16	0.07
<b>TOTAL :</b>		<b>232.55</b>	<b>100.00</b>	<b>4,676.8</b>				
<b>ALTITUD MEDIA :</b>		<b>4,677</b>	<b>m.s.n.m</b>					

Fuente: Elaboración propia

A1.4. GRÁFICO DE CURVA HIPSOMÉTRICA Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS



Fuente: Elaboración propia

**A1.5. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE SUB-CUENCAS DE LA CUENCA ARUNDAYA**

DESCRIPCIÓN	SUB-CUENCAS PRINCIPALES DE CUENCA ARUNDAYA – OBTENIDOS MEDIANTE EL MODELO WMS®																
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-19	B-20	B-21	B-22	B-23	B-24	B-25
Área : Km <sup>2</sup>	0.4500	4.550	2.590	0.097	5.428	5.391	8.813	3.786	2.524	5.098	1.189	0.135	1.803	1.599	19.480	18.044	0.026
Pendiente Media Cuenca : m/m	0.0590	0.319	0.364	0.205	0.379	0.301	0.342	0.273	0.315	0.319	0.226	0.114	0.334	0.240	0.316	0.229	0.212
Longitud Cauce Principal: Km	11.7700	5.210	3.690	2.790	5.140	5.290	5.140	4.520	3.120	4.110	2.210	3.730	2.810	2.580	9.680	9.890	0.710
Longitud Máxima : Km	13.2100	5.790	4.370	3.040	6.560	6.050	6.550	5.090	3.720	5.430	2.270	4.140	3.330	2.970	10.670	11.210	0.770
Perímetro : Km	72.7600	15.390	11.290	12.130	15.980	16.080	18.160	13.320	9.710	14.620	6.480	16.130	8.990	8.010	29.180	29.460	9.310
Altitud Media de la Cuenca : m.s.n.m.	4062.55	4366.52	4302.29	4315.93	4671.29	4640.94	4652.93	4643.97	4658.73	4765.24	4582.63	4632.75	4672.82	4494.17	4644.33	4512.72	3839.58
Pendiente del Cauce : m/m	0.0517	0.240	0.166	0.205	0.143	0.134	0.098	0.130	0.134	0.102	0.160	0.122	0.224	0.129	0.102	0.111	0.225
Longitud al Centroides : Km	6.6200	2.710	1.820	1.690	3.340	2.890	3.190	2.890	1.970	3.340	0.160	2.050	1.390	0.720	5.550	5.430	0.420
Factor de Forma : Adimensional	0.0032	0.168	0.190	0.012	0.205	0.193	0.334	0.185	0.259	0.302	0.244	0.010	0.228	0.240	0.208	0.184	0.051
Índice de Compacidad : Adimensional	30.37	2.020	1.964	10.918	1.921	1.939	1.713	1.917	1.711	1.813	1.664	12.303	1.875	1.774	1.851	1.942	16.253

Fuente: Elaboración propia

*Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,*

*Caso: Cuenca del Río Torata*

*Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano*

### A1.6. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE SUB-CUENCAS DE LA CUENCA TITIJONES

DESCRIPCIÓN		SUB-CUENCAS PRINCIPALES DE CUENCA TITIJONES- OBTENIDOS MEDIANTE EL MODELO WMS®								
		B-0	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18
Área :	Km <sup>2</sup>	0.123	1.735	16.574	22.549	45.006	27.041	6.519	1.418	3.762
Pendiente Media Cuenca :	m/m	0.029	0.188	0.227	0.1561	0.1705	0.1967	0.2578	0.1597	0.1966
Longitud Cauce Principal:	Km	3.200	3.570	5.490	11.440	9.510	10.180	6.880	3.110	3.700
Longitud Máxima :	Km	3.430	3.890	7.680	12.880	12.410	11.590	7.960	3.340	3.970
Perímetro :	Km	32.540	8.940	23.680	36.890	43.730	33.920	20.350	8.260	11.640
Altitud Media de la Cuenca :	m.s.n.m.	4427.44	4610.21	4697.20	4666.62	4686.35	4898.51	4921.16	4655.10	4699.630
Pendiente del Cauce :	m/m	0.0208	0.0641	0.0449	0.0210	0.0429	0.0504	0.0760	0.0904	0.1149
Longitud al Centroide :	Km	1.7200	1.1400	3.2000	7.4800	5.2900	6.6800	5.3100	0.8700	2.0200
Factor de Forma :	Adimensional	0.0121	0.1362	0.5499	0.1723	0.4976	0.2609	0.1377	0.1467	0.2748
Índice de Compacidad :	Adimensional	25.90	1.90	1.63	2.18	1.83	1.83	2.23	1.94	1.68

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO B

### CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA

- **B1.1 al B1.33:** CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA
- **B1.34:** RESUMEN DE CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA
- **B1.35:** GRÁFICO DE RANGO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN CUENCAS ARONDAYA Y TITIJONES CON CAUDALES OBSERVADOS
- **B1.36:** CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON MÉTODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

**B1.1. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 1 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 03 FEB 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN		
		L/s	L/s	m³	(Qt - Qd)	m³	m³	m³	m³		
1	02/03-12.0	142	827	511							
2	13	219	827	650	139	139					
3	14	363	827	1,048	536	675	2,977				
4	15	443	3,474	1,451	940	1,615	7,741	4,764		4,764	
5	16	529	5,356	1,750	1,238	2,853	15,894	12,917		17,680	
6	17	714	5,398	2,237	1,726	4,579	19,357	16,380		34,060	
7	18	1,195	6,264	3,436	2,925	7,504	20,990	18,013		52,073	
8	19	1,686	4,739	5,166	4,675	12,179	19,823	16,846		68,948	
9	20	1,558	5,307	5,839	5,328	17,507	18,100	15,123		84,042	
10	21	1,372	3,698	5,274	4,763	22,270	16,208	13,231		97,272	
11	22	1,137	3,553	4,516	4,008	26,275	13,050	10,073		107,345	
12	23	971	3,061	3,794	3,283	29,658	11,904	8,926		116,271	
13	24	814	2,925	3,213	2,702	32,260	10,773	7,796		124,067	
14	02/04-1.00	814	2,465	2,930	2,419	34,679	9,701	6,724		130,792	
15	2	739	2,523	2,795	2,284	36,963	8,978	6,001		136,792	
16	3	714	2,510	2,615	2,104	39,067	9,059	6,081		142,874	
17	4	714	2,307	2,570	2,059	41,126	8,671	5,694		148,568	
18	5	714	2,215	2,570	2,059	43,186	8,140	5,162		153,730	
19	6	714	2,153	2,570	2,059		7,862	4,885		158,615	
20	7	714	2,153	2,570	2,059		7,752	4,775		163,389	
21	8	739	2,123	2,615	2,104		7,697	4,720		168,109	
22	9	865	2,111	2,887	2,376		7,621	4,643			
23	10	1,195	2,123	3,708	3,197		7,621	4,643			
24	11	1,372	2,215	4,621	4,109		7,807	4,830			
25	12	1,195	2,925	4,621			9,250	6,273			
26	13	1,312	2,607	4,513			9,956	6,979			
27	14	1,195	4,686								
O PICO =		1,686	6,264			Volumen =	43,186			Volumen =	168,109
O BASE - TITIJONES =		142	L/s								
O BASE - ARONDAYA =		827	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P + \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A <sub>Titj</sub>	132.44	Km²
A <sub>Arundaya</sub>	109.37	Km²
A <sub>Total</sub>	241.80	Km²

P <sub>e Titj</sub>	0.33	mm
P <sub>e Arundaya</sub>	1.14	mm
P <sub>e Total</sub>	0.70	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen (mm)}}{\text{Area Cuenca}}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	Pi x Ai / At
SLC	12.405	0.0937	132.44	14.7	1.4
TW4	66.502	0.5021		22.1	11.1
TAP	42.412	0.3202		15.4	4.9
TRINCH	11.117	0.0839		19.0	1.6
TOTAL =	132.44	1.0000		71.2	19.0

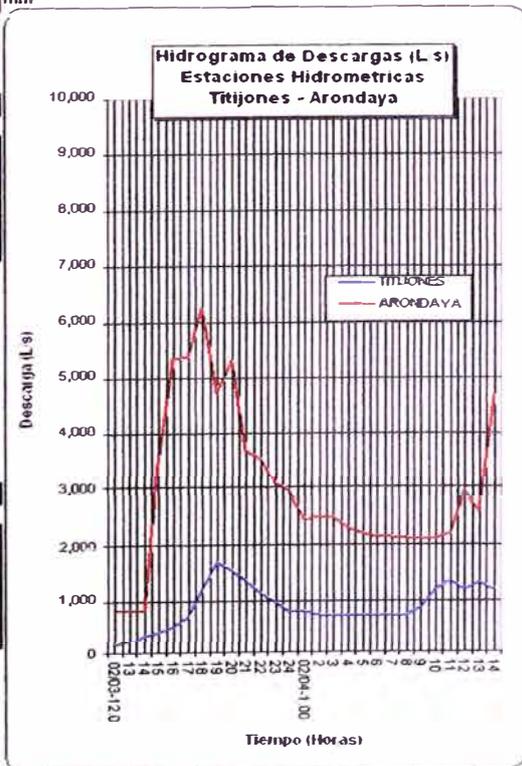
P <sub>m</sub>	19.00	mm
P <sub>e</sub>	0.33	mm
S	70.25	mm
CN	78.34	
Tlag	1.87	Horas
	112.24	min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	Pi x Ai / At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	16.0	9.1
TRINCH	41.481	0.3793		19.0	7.2
TW4	5.427	0.0496		22.1	1.1
TOTAL =	109.37	1.0000		57.1	17.4

P <sub>m</sub>	17.44	mm
P <sub>e</sub>	1.14	mm
S	47.43	
CN	84.26	
Tlag	1.34	Horas
	80.29	min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.2. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 2 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 04 FEB 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA			TITIJONES		ARONDAYA	
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qi - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qi - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	
		L/s	L/s							m³
1	02/04-7 00	714	2.153	2.570						
2	8	739	2.123	2.615	45	45				
3	9	865	2.111	2.887	317	362	7.800			
4	10	1.195	2.123	3.708	1.138	1.499	7.621	21	21	
5	11	1.372	2.215	4.621	2.050	3.550	7.807	208	229	
6	12	1.195	2.925	4.621	2.050	5.600	9.250	1.651	1.880	
7	13	1.312	2.807	4.513	1.942	7.542	9.956	2.357	4.236	
8	14	1.195	4.886	4.513	1.942	9.484	13.126	5.527	9.763	
9	15	1.589	4.845	5.011	2.441	11.925	17.154	9.555	19.318	
10	16	1.372	5.623	5.330	2.759	14.684	18.841	11.241	30.559	
11	17	1.195	4.646	4.621	2.050	16.735	18.484	10.884	41.443	
12	18	1.081	4.451	4.097	1.526	18.261	16.375	8.775	50.218	
13	19	944	4.144	3.645	1.075	19.336	15.470	7.871	58.089	
14	20	839	3.881	3.209	639	19.975	14.446	6.846	64.935	
15	21	739	3.254	2.840	270	20.245	12.845	5.245	70.180	
16	22	714	2.992	2.615	45	20.290	11.244	3.645	73.825	
17	23	866	2.791	2.484			10.409	2.810	76.635	
18	24	642	2.594	2.354			9.692	2.092	78.727	
19	02/05-1.00	619	2.484	2.270			9.140	1.541	80.267	
20	2	519	2.465	2.228			8.909	1.309	81.577	
21	3	596	2.402	2.187			8.760	1.160	82.737	
22	4	573	2.307	2.104			8.476	877	83.614	
23	5	529	2.215	1.984			8.140	540	84.154	
24	6	529	2.153	1.904			7.862	262	84.416	
25	7	507	1.973	1.865			7.427			
26	8	485	1.944	1.786			7.050			
27	9	464	1.902							
Q PICO =		1.589	5.623			Volumen =	20.290		Volumen =	84.416
Q BASE -TITIJONES =		714	L/s							
Q BASE -ARONDAYA =		2.111	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.15	mm
Pe Arundaya =	0.59	mm
Pe Total =	0.35	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	1.4	0.1
TWJ	66.502	0.5021		3.8	1.9
TAP	42.412	0.3202		4.4	1.4
TRINCH	11.117	0.0839		9.0	0.8
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	18.6	4.2

Pm = 4.20 mm

Pe = 0.15 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 13.45 mm  
cN = 94.97  
Tlag = 1.00 Horas  
59.74 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

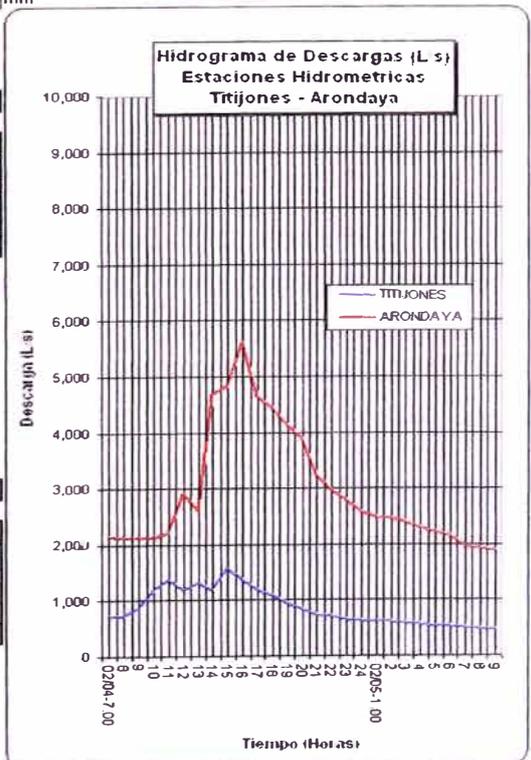
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	7.0	4.0
TRINCH	41.481	0.3793		9.0	3.4
TWJ	5.427	0.0496		3.8	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	19.8	7.6

Pm = 7.60 mm

Pe = 0.59 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 19.54 mm  
cN = 92.86  
Tlag = 0.95 Horas  
57.27 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.3. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 3 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 09 FEB 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES		ARONDAYA	
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN
		L/s	L/s	m³	(Qt - Qb)	ACUMULADO	m³	(Qt - Qb)	ACUMULADO
1	02/09-10.0	253	1,428	911					
2	11	288	1,391	974	63	63			
3	12	739	1,396	1,849	938	1,001	5,008		
4	13	2,020	1,412	4,966	4,055	5,056	5,054	46	46
5	14	2,280	1,629	7,740	6,829	11,885	5,473	466	512
6	15	4,100	1,914	11,484	10,573	22,459	6,377	1,370	1,882
7	16	4,473	2,797	15,431	14,521	36,979	8,481	3,473	5,355
8	17	3,180	3,263	13,775	12,865	49,844	10,918	5,911	11,265
9	18	2,710	2,336	10,602	9,691	59,505	19,088	14,080	25,346
10	19	2,490	11,295	9,360	8,449	67,984	33,535	28,528	53,873
11	20	2,420	7,799	8,638	7,927	75,911	34,369	29,361	83,236
12	21	2,210	5,331	8,334	7,423	83,335	23,635	18,628	101,862
13	22	2,080	4,686	7,722	6,811	90,146	18,031	13,023	114,886
14	23	1,884	4,529	7,135	6,224	96,370	16,586	11,578	126,464
15	24	1,751	4,068	6,543	5,632	102,002	15,475	10,467	136,931
16	02/19-1.00	1,558	3,698	5,956	5,045	107,048	13,979	8,971	145,902
17	2	1,402	3,517	5,328	4,417	111,465	12,985	7,978	153,880
18	3	1,224	3,771	4,727	3,816	115,281	13,117	8,110	161,989
19	4	1,137	3,625	4,250	3,339	118,620	13,312	8,304	170,294
20	5	1,025	3,339	3,892	2,981	121,601	12,534	7,527	177,820
21	6	944	3,054	3,544	2,633	124,234	11,506	6,499	184,319
22	7	998	2,568	3,496	2,585		10,119	5,111	189,430
23	8	960	2,433	3,524	2,614		9,002	3,994	193,425
24	9	1,090	2,326	3,690	2,779		8,567	3,559	196,984
25	10	1,260	2,276	4,230	3,319		8,284	3,277	
26	11	1,420	2,215	4,824	3,913		8,084	3,076	
27	12	1,800	2,276						
Q PICO =		4,473	11,295	Volumen =		124,234	Volumen =		196,984
Q BASE - TITIJONES =		253	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		1,391	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.94	mm
Pe Arundaya =	0.67	mm
Pe Total =	0.81	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen (mm)}}{\text{Area Cuenca}}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	13.0	1.2
TWJ	66,502	0.5021		18.9	9.5
TAP	42,412	0.3202		10.6	3.4
TRINCH	11,117	0.0839		19.6	1.6
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	62.1	15.7

Pm =	15.75	mm
Pe =	0.94	mm
S =	44.14	mm
CN =	85.20	
Tlag =	1.50	Horas
	89.79	min

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

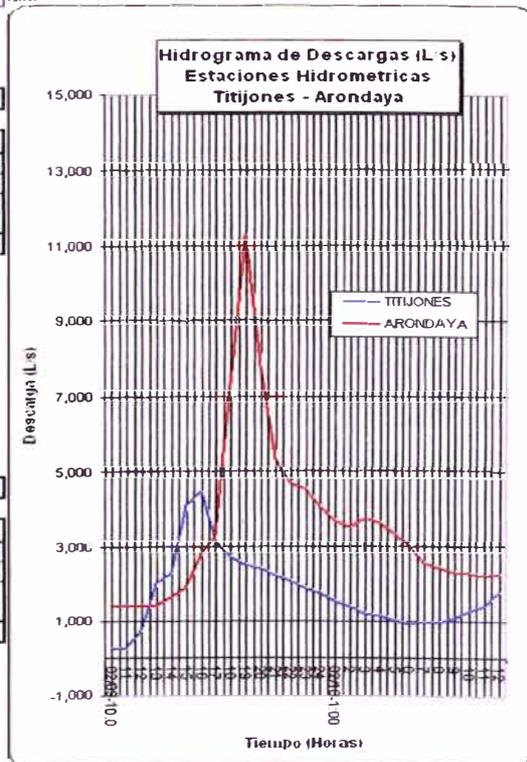
L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	12.0	6.9
TRINCH	41,481	0.3793		19.6	7.4
TWJ	5,427	0.0496		18.9	0.9
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	50.5	15.2

Pm =	15.22	mm
Pe =	0.67	mm
S =	46.58	
CN =	84.50	
Tlag =	1.33	Horas
	79.64	min

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

B1.4. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA

PAGINA : 4 de 33 CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : FECHA : 20 FEB 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>i</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>i</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	02/20-11	739	2,711	2,660							
2	12	814	2,665	2,795	135	135					
3	13	971	2,607	3,213	553	688	9,313				
4	14	2,420	2,587	6,104	3,443	4,131	9,349	36		36	
5	15	4,297	2,659	12,091	9,430	13,561	9,443	130		165	
6	16	3,790	2,777	14,557	11,896	25,457	9,785	472		637	
7	17	3,020	2,965	12,258	9,598	36,055	10,336	1,023		1,660	
8	18	2,420	3,268	9,792	7,132	42,187	11,220	1,907		3,568	
9	19	2,020	7,245	7,992	5,332	47,518	18,923	9,610		13,178	
10	20	1,751	7,576	6,788	4,127	51,646	26,677	17,363		30,541	
11	21	1,526	5,936	5,699	3,238	54,884	24,321	15,008		45,549	
12	22	1,372	5,167	5,216	2,556	57,440	19,986	10,673		56,222	
13	23	1,195	4,412	4,621	1,960	59,400	17,243	7,930		64,152	
14	24	1,081	4,053	4,087	1,436	60,836	15,238	5,924		70,076	
15	02/21-1 00	944	3,698	3,645	985	61,821	13,951	4,638		74,714	
16	2	865	3,502	3,256	596	62,417	12,960	3,646		78,361	
17	3	739	3,268	2,887	227	62,644	12,187	2,874		81,235	
18	4	714	3,132	2,615			11,504	2,190		83,425	
19	5	642	2,992	2,441			11,007	1,693		85,118	
20	6	665	2,837	2,354			10,493	1,180		86,299	
21	7	580	2,692	2,243			9,952	639		86,937	
22	8	560	2,529	2,052			9,397	84		87,021	
23	9	480	2,414	1,872			8,898				
24	10	450	2,358	1,674			8,589				
25	11	480	2,433	1,674			8,623				
26	12	370	2,529	1,530			8,932				
27	13	500	2,626								
Q PICO =		4.297	7.576			Volumen =	62.644			Volumen =	87.921
Q BASE - TITIJONES =		739	L/s								
Q BASE - ARONDAYA =		2.587	L/s								

CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132 44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109 37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241 80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.47	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.22	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.36	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16 080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12 405	0.0937	132 44	0.6	0.1
TW4	66 502	0.5021		6.5	3.3
TAP	42 412	0.3202		2.0	0.6
TRINCH	11 117	0.0839		13.0	1.1
TOTAL =	132.44	1.0000		132.44	22.1

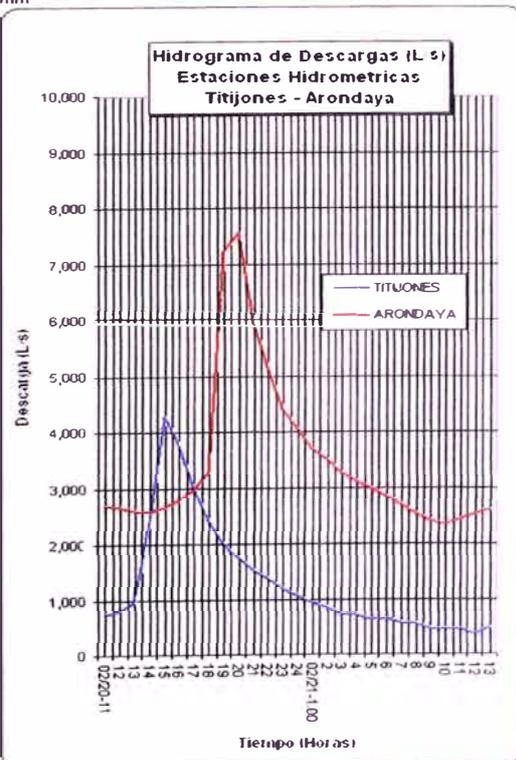
P <sub>m</sub> =	5.05	mm
P <sub>e</sub> =	0.47	mm
S =	12.07	mm
CN =	95.46	
Tlag =	0.97	Horas
	58.25	min

L = 18 630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62 460	0.5711	109 37	8.0	4.6
TRINCH	41 481	0.3793		13.0	4.9
TW4	5 427	0.0496		6.5	0.3
TOTAL =	109 37	1.0000	109 37	27.5	9.8

P <sub>m</sub> =	9.82	mm
P <sub>e</sub> =	0.22	mm
S =	34.65	
CN =	88.00	
Tlag =	1.17	Horas
	70.15	min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.5. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m³	m³
1	02/24-11	507	1.897	1.825							
2	12	529	1.967	1.965	40	40					
3	13	573	2.093	1.984	158	198	6.829				
4	14	865	3.698	2.588	763	961	10.422	3.593	3.593		
5	15	1.558	6.526	4.361	2.536	3.497	18.403	11.574	15.167		
6	16	4.378	4.845	10.685	8.860	12.357	20.468	13.639	28.805		
7	17	5.617	5.749	17.991	16.166	26.523	19.068	12.239	41.045		
8	18	4.336	14.043	17.915	16.090	44.613	35.625	28.796	69.840		
9	19	4.264	12.920	15.480	13.655	58.268	48.532	41.703	111.543		
10	20	4.213	12.920	15.259	13.433	71.701	46.510	39.681	151.224		
11	21	3.895	11.614	14.594	12.769	84.470	44.160	37.331	188.555		
12	22	3.505	8.177	13.320	11.495	95.965	35.623	28.793	217.348		
13	23	3.070	7.245	11.835	10.010	105.975	27.758	20.929	238.277		
14	24	2.860	6.615	10.674	8.849	114.824	24.947	18.118	256.395		
15	02/25-1.00	2.785	5.919	10.161	8.336	123.160	22.561	15.731	272.126		
16	2	2.710	5.749	9.891	8.066	131.225	21.002	14.173	286.299		
17	3	2.560	5.497	9.486	7.661	138.886	20.243	13.414	299.713		
18	4	2.280	5.464	8.712	6.887	145.773	19.730	12.901	312.614		
19	5	2.080	5.208	7.848	6.023	151.796	19.210	12.361	324.995		
20	6	1.884	5.102	7.135	5.310	155.559	11.730	11.730	336.725		
21	7	1.751	4.686	6.543	4.718	17.618	10.789	10.789	347.514		
22	8	1.480	3.630	5.816	3.991		14.968	8.139	355.653		
23	9	1.320	2.750	5.040	3.215		11.484	4.655	360.308		
24	10	1.120	2.190	4.392	2.567		8.892				
25	11	960	1.910	3.744	1.919		7.380				
26	12	760	1.950	3.096	1.271		6.948				
27	13	600	1.860								
Q PICO =		5.617	14.043	Volumen =		151.796	Volumen =		360.308		
Q BASE -TITIJONES =		507	L/s								
Q BASE -ARONDAYA =		1.897	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.08 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.08 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

P <sub>e</sub> Titijones =	1.15	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	1.91	mm
P <sub>e</sub> Total =	1.49	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	18.2	1.7
TW1	66.502	0.5021		17.2	8.6
TAP	42.412	0.3202		27.7	8.9
TRINCH	11.117	0.0839		34.0	2.9
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	97.1	22.1

P<sub>m</sub> = 22.07 mm      P<sub>e</sub> = 1.15 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 64.41 mm  
CN = 79.77  
Tlag = 1.79 Horas  
107.40 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m . Pendiente media de la cuenca

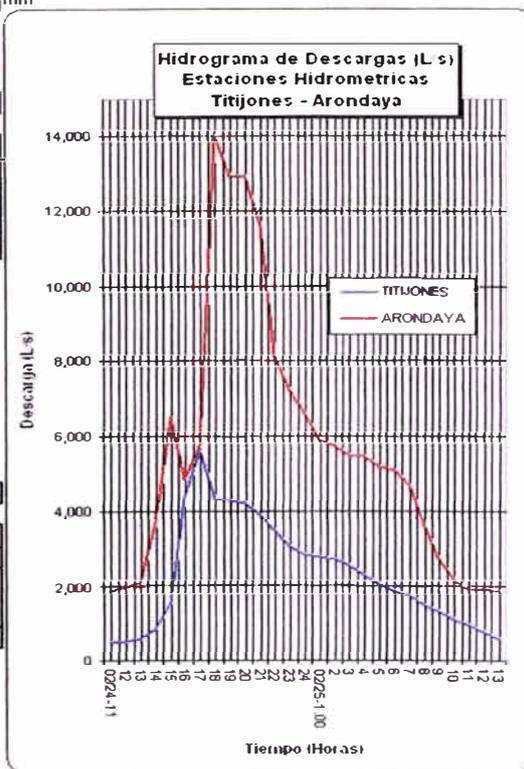
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	24.0	13.7
TRINCH	41.481	0.3793		34.0	12.9
TW1	5.427	0.0496		17.2	0.9
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	75.2	27.5

P<sub>m</sub> = 27.46 mm      P<sub>e</sub> = 1.91 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 73.24 mm  
CN = 77.62  
Tlag = 1.65 Horas  
99.28 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

B1.6. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARONDAYA

PAGINA : 6 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 25 FEB 2001

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA				
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³		
1	02/25-5.0	2,080	5,208	6,304							
2	6	1,884	5,102								
3	7	1,751	4,686				14,026				
4	8	1,751	4,686	6,304	0	0					
5	9	2,140	4,320	7,004	700	700					
6	10	2,420	4,040	8,208	1,904	2,605					
7	11	2,785	3,930	9,369	3,065	5,670	14,346	320	320		
8	12	2,635	4,607	9,756	3,452	9,122	15,367	1,341	1,661		
9	13	2,560	6,882	9,351	3,047	12,170	20,681	6,655	8,316		
10	14	2,420	9,294	8,954	2,660	14,830	29,118	15,092	23,408		
11	15	2,350	7,725	8,586	2,282	17,113	30,633	16,608	40,016		
12	16	2,420	6,704	8,586	2,282	19,395	25,971	11,945	51,961		
13	17	2,420	6,004	8,712	2,408	21,803	22,875	8,849	60,810		
14	18	2,490	6,177	8,838	2,534	24,338	21,926	7,901	68,711		
15	19	2,420	5,749	8,838	2,534	26,872	21,466	7,441	76,152		
16	20	2,635	5,564	9,099	2,795	29,668	20,363	6,338	82,489		
17	21	2,490	5,406	9,225	2,921	32,589	19,746	5,720	88,210		
18	22	2,140	5,086	8,334	2,030	34,619	18,885	4,860	93,069		
19	23	1,986	5,046	7,427	1,123	35,743	18,237	4,211	97,281		
20	24	1,918	5,021	7,027	724	36,466	18,120	4,095	101,375		
21	02/26-1.00	1,817	4,686	6,723	419	36,886	17,473	3,447	104,822		
22	2	1,751	4,529	6,422	119	37,004	16,586	2,560	107,383		
23	3	1,653	4,397	6,127			16,065	2,040	109,422		
24	4	1,589	4,296	5,836			15,647	1,622	111,044		
25	5	1,495	4,053	5,551			15,030	1,004	112,048		
26	6	1,433	3,993	5,270			14,484	458	112,506		
27	7	1,372	3,896								
<b>Q PICO =</b>		<b>2,785</b>	<b>9,294</b>	<b>Volumen =</b>			<b>37,004</b>	<b>Volumen =</b>			<b>112,506</b>
<b>Q BASE - TITIJONES =</b>		1,751	L/s								
<b>Q BASE - ARONDAYA =</b>		3,896	L/s								

CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arondaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.28	mm
Pe Arondaya =	0.69	mm
Pe Total =	0.47	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
SLC	12.405	0.0937	132.44	10.5	1.0
TW4	66.502	0.5021		4.6	2.3
TAP	42.412	0.3202		11.5	3.7
TRINCH	11.117	0.0839		13.0	1.1
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	39.6	8.1

P<sub>m</sub> = 8.07 mm      Pe = 0.28 mm

$$CN = \frac{25400}{S + 254}$$

S = 26.11 mm  
CN = 90.68  
Tlag = 1.21 Horas  
72.78 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

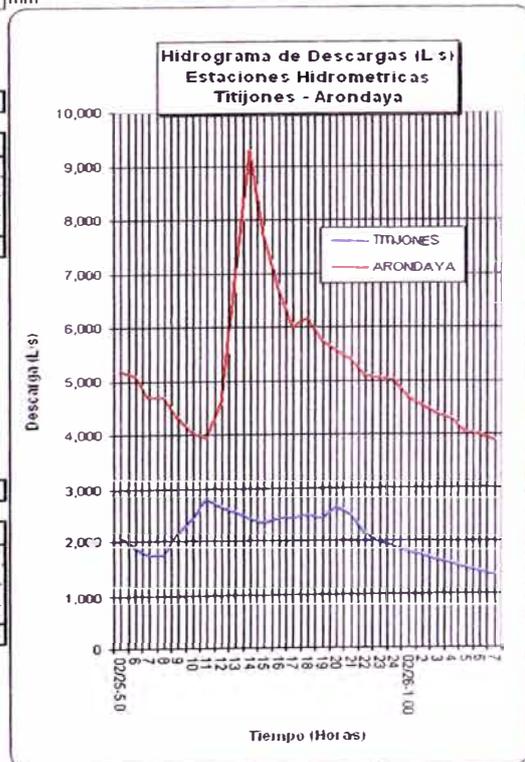
PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	6.5	3.7
TRINCH	41.481	0.3793		13.0	4.9
TW4	5.427	0.0496		4.6	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	24.1	8.9

P<sub>m</sub> = 8.87 mm      Pe = 0.69 mm

$$CN = \frac{25400}{S + 254}$$

S = 22.74 mm  
CN = 91.78  
Tlag = 1.00 Horas  
60.09 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.7. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARONDAYA**

PAGINA : 7 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 27 FEB 2001

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	02/27-10.0	814	3,013	2,930					
2	11	918	3,006	3,118	187	187			
3	12	1,433	2,938	4,232	1,301	1,489	10,357		
4	13	2,350	2,877	6,809	3,879	5,368	10,468	111	111
5	14	2,940	3,268	9,522	6,592	11,959	11,063	705	816
6	15	3,790	3,778	12,114	9,184	21,143	12,684	2,326	3,143
7	16	4,640	5,414	15,174	12,244	33,386	16,546	6,189	9,331
8	17	5,361	6,909	18,002	15,071	48,458	22,182	11,825	21,156
9	18	4,473	12,920	17,701	14,771	63,229	35,892	25,335	46,491
10	19	3,685	21,796	14,684	11,754	74,983	62,487	52,130	98,621
11	20	3,422	13,590	12,793	9,962	84,845	63,693	53,336	151,957
12	21	3,895	12,920	13,171	10,240	95,085	47,717	37,359	189,316
13	22	4,297	10,252	14,746	11,815	106,900	41,710	31,352	220,669
14	23	4,264	8,253	15,410	12,479	119,380	33,309	22,952	243,621
15	24	4,100	7,978	15,055	12,125	131,504	29,215	18,888	262,479
16	02/28-1.00	3,595	8,368	13,851	10,921	142,425	29,422	19,064	281,543
17	2	3,340	9,129	12,483	9,553	151,978	29,694	19,337	300,880
18	3	2,940	7,566	11,304	8,374	160,351	28,252	17,895	318,775
19	4	2,785	7,364	10,305	7,375	167,726	26,874	16,517	335,292
20	5	2,560	6,930	9,621	6,691	174,416	25,728	15,371	350,663
21	6	2,385	6,160	8,901	5,971	180,387	23,562	13,285	363,868
22	7	2,080	5,540	8,037	5,107		21,060	10,703	374,571
23	8	1,400	4,360	6,264	3,334		17,820	7,463	382,034
24	9	1,110	3,880	4,518	1,588		14,832	4,475	386,508
25	10	800	3,400	3,438	508		13,104	2,747	
26	11	690	2,910	2,682	248		11,358	1,001	
27	12	550	2,560						
O PICO =		5,361	21,796			Volumen = 180,387		Volumen = 386,508	
O BASE -TITIJONES =		814	L/s						
O BASE -ARONDAYA =		2,877	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arondaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	1.36	mm
Pe Arondaya =	1.88	mm
Pe Total =	1.60	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	11.8	1.1
TW4	66,502	0.5021		20.0	10.0
TAP	42,412	0.3202		16.1	5.2
TRINCH	11,117	0.0839		37.0	3.1
TOTAL =	132.44	1.0000		84.9	19.4

Pm = 19.11 mm Pe = 1.36 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 51.59 mm  
CN = 83.12  
Tlag = 1.61 Horas  
96.43 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

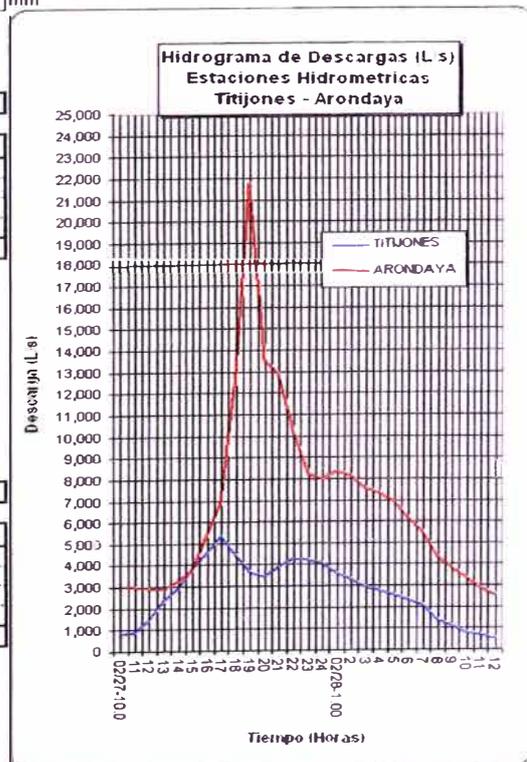
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	26.0	14.8
TRINCH	41,481	0.3793		37.0	14.0
TW4	5,427	0.0496		20.0	1.0
TOTAL =	109.37	1.0000		83.0	29.9

Pm = 29.87 mm Pe = 1.88 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 82.24  
CN = 75.54  
Tlag = 1.76 Horas  
105.54 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.8. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 8 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 02 MARZO 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m³	m³
1	03/02-13:00	3,260	4,930	8,820							
2	14	3,260	5,290	11,736	2,916	2,916					
3	15	3,422	5,450	12,028	3,208	6,124	17,460				
4	16	4,931	5,660	14,855	6,035	12,159	19,998	2,538		2,538	
5	17	6,075	5,876	19,631	10,811	22,970	20,765	3,305		5,843	
6	18	6,493	7,799	22,622	13,802	36,772	24,616	7,156		12,999	
7	19	5,888	9,694	22,286	13,466	50,238	31,487	14,027		27,027	
8	20	5,123	11,753	19,820	11,000	61,238	36,604	21,144		48,171	
9	21	4,701	10,748	17,683	8,863	70,101	40,503	23,043		71,213	
10	22	4,424	9,543	16,425	7,605	77,706	36,525	19,065		90,278	
11	23	4,235	8,415	15,586	6,766	84,472	32,326	14,866		105,144	
12	24	3,895	7,520	14,634	5,814	90,286	28,684	11,224		116,368	
13	03/03-1:00	3,505	6,909	13,320	4,500	94,786	25,973	8,513		124,881	
14	2	3,340	6,668	12,321	3,501	98,287	24,439	6,979		131,860	
15	3	3,180	6,264	11,736	2,916	101,203	23,277	5,817		137,677	
16	4	3,020	5,953	11,160	2,340	103,543	21,990	4,530		142,207	
17	5	3,020	5,724	10,872	2,052	105,595	21,018	3,558		145,766	
18	6	2,860	5,497	10,584	1,764		20,198	2,738		148,503	
19	7	2,785	5,289	10,161			19,596	2,136		150,639	
20	8	2,710	5,315	9,691			19,268				
21	9	2,635	5,225	9,621							
22	10	2,610	5,143	9,441							
23	11	2,490	5,005	9,180							
24	12	2,450	4,970	8,892							
25	13	2,570	4,930	9,036							
26	14	2,530	4,850	9,180							
27	15	2,800	4,850								
Q PICO =		6,493	11,753	Volumen =			105,595	Volumen =			150,639
Q BASE - TITIJONES =		2,450	L/s								
Q BASE - ARONDAYA =		4,850	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.80	mm
Pe Arundaya =	0.41	mm
Pe Total =	0.62	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	14.8	1.4
TW4	66,502	0.5021		11.4	5.7
TAP	42,412	0.3202		17.4	5.6
TRINCH	11,117	0.0839		23.0	1.9
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	66.6	14.6

Pm = 14.61 mm Pe = 0.80 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 42.05 mm  
CN = 85.80 Horas  
Tlag = 1.46 min  
87.90 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

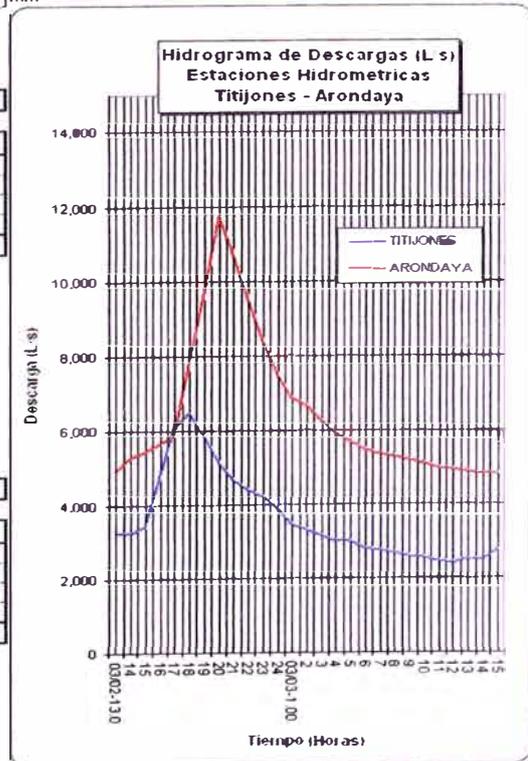
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	12.0	6.9
TRINCH	41,481	0.3793		23.0	8.7
TW4	5,427	0.0496		11.4	0.6
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	46.4	16.1

Pm = 16.14 mm Pe = 0.41 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 55.71 mm  
CN = 82.01 Horas  
Tlag = 1.44 min  
86.58 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.9. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARONDAYA**

PAGINA : 9 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 05 MARZO 2001

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN m³	TITIJONES		VOLUMEN ACUMULADO m³	ARONDAYA	
		L/s	L/s		VOLUMEN (Qr - Qb) m³	VOLUMEN		VOLUMEN (Qr - Qb) m³	VOLUMEN ACUMULADO m³
1	03/05-9:00	1,918	3,993	5,382					
2	10	1,952	3,771						
3	11	1,952	3,712						
4	12	1,884	3,698	6,905	1,523	1,523			
5	13	2,350	3,509	7,621	2,239	3,762			
6	14	4,297	3,567	11,965	6,583	10,345	12,737	1,865	1,865
7	15	4,900	4,144	16,555	11,173	21,517	13,880	3,008	4,873
8	16	4,701	6,004	17,282	11,900	33,417	18,267	7,395	12,268
9	17	4,335	7,099	16,267	10,885	44,302	23,586	12,714	24,982
10	18	4,100	6,882	15,185	9,803	54,104	25,166	14,294	39,276
11	19	3,422	6,777	13,540	6,156	62,262	23,507	12,635	51,911
12	20	3,020	5,497	11,596	6,214	68,476	21,013	10,141	62,052
13	21	2,635	5,029	10,179	4,797	73,273	18,948	8,076	70,128
14	22	2,420	4,686	9,099	3,717	76,990	17,487	6,615	76,743
15	23	2,280	4,490	8,460	3,078	80,068	16,516	5,644	82,387
16	24	2,175	4,197	8,019	2,637	82,705	15,636	4,764	87,151
17	03/06-1:00	2,080	4,008	7,659	2,277	84,982	14,770	3,898	91,049
18	2	1,985	3,911	7,319	1,937	86,918	14,255	3,383	94,431
19	3	1,884	3,785	6,966	1,584	88,502	13,854	2,982	97,413
20	4	1,817	3,712	6,652	1,280	89,782	13,496	2,624	100,037
21	5	1,685	3,524	6,305	923	90,706	13,025	2,153	102,190
22	6	1,589	3,402	5,895	513	91,219	12,467	1,595	103,785
23	7	1,495	3,261	5,551	169	91,388	11,995	1,123	104,907
24	8	1,558	3,122	5,495	113		11,491	619	105,526
25	9	1,751	3,013	5,956	574		11,043	171	105,698
26	10	1,952	3,020	6,665	1,283		10,858		
27	11	2,020	3,150						
Q PICO =		4,900	7,099						
Q BASE - TITIJONES =		1,495	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		3,020	L/s						
				Volumen =	91,388		Volumen =	105,698	

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arondaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.69	mm
Pe Arondaya =	0.13	mm
Pe Total =	0.44	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
SLC	12.405	0.0937	132.44	0.8	0.1
TW4	66.502	0.5021		7.3	3.7
TAP	42.412	0.3202		1.2	0.4
TRINCH	11.117	0.0839		25.0	2.1
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	34.3	6.2

Pm = 6.22 mm Pe = 0.69 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 13.84 mm  
CN = 94.83  
Tlag = 1.00 Horas  
60.16 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

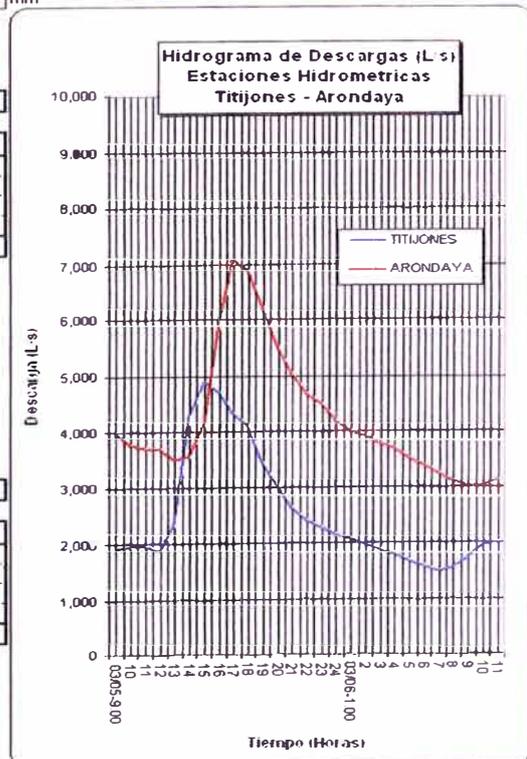
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	9.0	5.1
TRINCH	41.481	0.3793		25.0	9.5
TW4	5.427	0.0496		7.3	0.4
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	41.3	15.0

Pm = 14.98 mm Pe = 0.13 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 60.52 mm  
CN = 80.76  
Tlag = 1.50 Horas  
90.14 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.10. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 10 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 08 MARZO 2001

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN m³	TITIJONES		VOLUMEN ACUMULADO m³	ARONDAYA	
		L/s	L/s		VOLUMEN (Q <sub>t</sub> - Q <sub>b</sub> ) m³	VOLUMEN m³		VOLUMEN (Q <sub>t</sub> - Q <sub>b</sub> ) m³	VOLUMEN m³
1	03/08/11.0	1.589	3.185	5.720					
2	12	1.817	3.143	6.131	410	410			
3	13	2.020	3.233	6.907	1.186	1.597	11.466		
4	14	2.245	3.610	7.677	1.957	3.553	12.319	853	853
5	15	2.635	4.381	8.784	3.064	6.617	14.385	2.919	3.771
6	16	4.201	4.521	12.305	6.584	13.201	16.024	4.558	8.329
7	17	3.998	4.765	14.758	9.038	22.239	16.714	5.248	13.577
8	18	3.340	5.373	13.208	7.488	29.727	18.248	6.782	20.359
9	19	2.785	5.749	11.025	5.305	35.032	20.019	8.553	28.912
10	20	2.560	5.167	9.621	3.901	38.932	19.650	8.184	37.096
11	21	2.350	4.725	8.838	3.118	42.050	17.807	6.341	43.436
12	22	2.140	4.373	8.082	2.362	44.411	16.378	4.912	48.348
13	23	1.986	4.228	7.427	1.706	46.118	15.482	4.016	52.364
14	24	1.884	3.993	6.966	1.246	47.363	14.797	3.331	56.695
15	03/09/1.00	1.817	3.785	6.652	941	48.305	14.002	2.536	58.231
16	2	1.784	3.698	6.482	761	49.066	13.469	2.003	60.234
17	3	1.751	3.560	6.363	643	49.709	13.063	1.697	61.831
18	4	1.751	3.488	6.304	583	50.292	12.686	1.220	63.051
19	5	1.718	3.445	6.244	524	50.816	12.479	1.013	64.064
20	6	1.686	3.402	6.127	407		12.325	859	64.924
21	7	1.686	3.353	6.070	349		12.159	693	65.617
22	8	1.653	3.303	6.010	290		11.981	515	66.132
23	9	1.621	3.261	5.893	173		11.817	351	66.483
24	10	1.589	3.233	5.778	58		11.691	225	
25	11	1.495	3.192	5.551	-169		11.565	99	
26	12	1.464	3.157	5.326	-394		11.428		
27	13	1.464	3.164						
<b>Q PICO =</b>		<b>4.201</b>	<b>5.749</b>			<b>Volumen =</b>	<b>50.816</b>	<b>Volumen =</b>	<b>66.483</b>
<b>Q BASE - TITIJONES =</b>		1.589	L/s						
<b>Q BASE - ARONDAYA =</b>		3.185	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.38	mm
Pe Arundaya =	0.14	mm
Pe Total =	0.27	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
SLC	12.405	0.0937	132.44	1.0	0.1
TW4	66.502	0.5021		1.8	0.9
TAP	42.412	0.3202		1.0	0.3
TRINCH	11.117	0.0839		5.0	0.4
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>8.8</b>	<b>1.7</b>

Pm = 1.74 mm Pe = 0.38 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 2.62 mm  
CN = 98.98  
Tlag = 0.79 Horas  
47.53 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

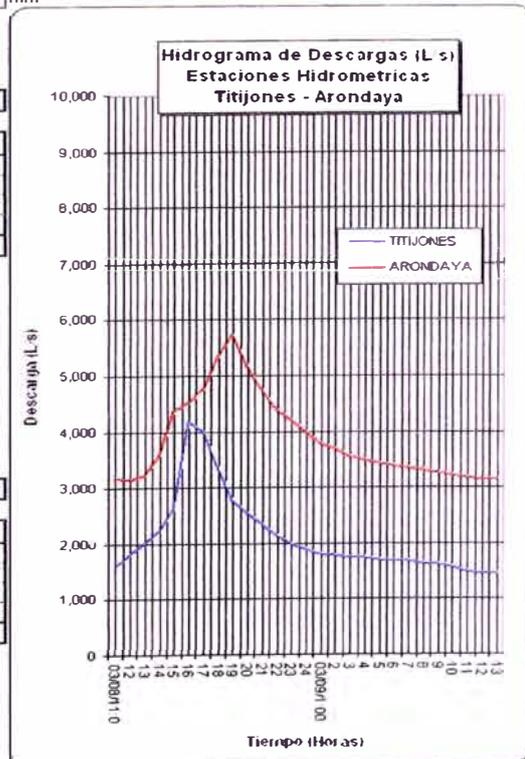
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	6.0	3.4
TRINCH	41.481	0.3793		5.0	1.9
TW4	5.427	0.0496		1.8	0.1
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>12.8</b>	<b>5.4</b>

Pm = 5.41 mm Pe = 0.14 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 18.55  
CN = 93.20  
Tlag = 0.94 Horas  
56.38 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.11. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 11 de 33      CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :      FECHA : 09 MARZO 2001

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN m³	TITIJONES		VOLUMEN ACUMULADO m³	ARONDAYA	
		CAUDAL			VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN		VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN
		L/s	L/s		m³	m³		m³	m³
1	03/09-11:0	1,495	3,192	5,382					
2	12	1,464	3,157	5,326					
3	13	1,464	3,164	5,270					
4	14	1,686	3,625	5,670	288	288	11,491	728	728
5	15	2,080	3,567	6,779	1,397	1,685	12,945	1,454	2,182
6	16	2,710	3,647	8,622	3,240	4,925	12,984	1,493	3,675
7	17	3,340	3,683	10,890	5,508	10,433	13,193	1,702	5,377
8	18	3,260	4,373	11,880	6,498	16,931	14,501	3,010	8,388
9	19	2,940	4,765	11,160	5,778	22,709	16,449	4,958	13,345
10	20	2,635	4,949	10,035	4,653	27,362	17,485	5,993	19,339
11	21	2,385	4,765	9,036	3,654	31,016	17,485	5,993	25,332
12	22	2,210	4,451	8,271	2,889	33,905	16,588	5,097	30,429
13	23	2,050	4,266	7,668	2,286	36,191	15,690	4,199	34,626
14	24	1,918	3,941	7,142	1,760	37,951	14,772	3,281	37,909
15	03/10-1:00	1,817	3,771	6,723	1,341	39,292	13,881	2,390	40,298
16	2	1,751	3,660	6,422	1,040	40,333	13,390	1,899	42,198
17	3	1,718	3,574	6,244	862	41,195	13,037	1,545	43,743
18	4	1,718	3,509	6,185	803	41,998	12,750	1,259	45,002
19	5	1,686	3,474	6,127	745	42,743	12,559	1,078	46,080
20	6	1,653	3,417	6,010	628	43,371	12,402	911	46,991
21	7	1,621	3,381	5,893	511	43,882	12,236	745	47,736
22	8	1,589	3,303	5,778	396	44,278	12,032	541	48,277
23	9	1,526	3,261	5,607	225	44,503	11,817	326	48,603
24	10	1,495	3,199	5,438	56	44,559	11,628	137	48,740
25	11	1,433	3,136	5,270	-112		11,403	-88	
26	12	1,372	3,150	5,049	-333		11,315		
27	13	1,253	3,268						
<b>Q PICO =</b>		<b>3.340</b>	<b>4.919</b>			<b>Volumen = 44.559</b>		<b>Volumen = 18.740</b>	
<b>Q BASE -TITIJONES =</b>		1,495	L/s						
<b>Q BASE -ARONDAYA =</b>		3,192	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.34	mm
Pe Arundaya =	0.04	mm
Pe Total =	0.20	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m      Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	4.0	0.4
TW4	66.502	0.5021		4.2	2.1
TAP	42.412	0.3202		5.2	1.7
TRINCH	11.117	0.0839		21.0	1.8
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>		<b>34.4</b>	<b>5.9</b>

Pm = 5.91 mm      Pe = 0.34 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 16.80 mm  
CN = 93.80  
Tlag = 1.05 Horas  
63.30 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m      Pendiente media de la cuenca

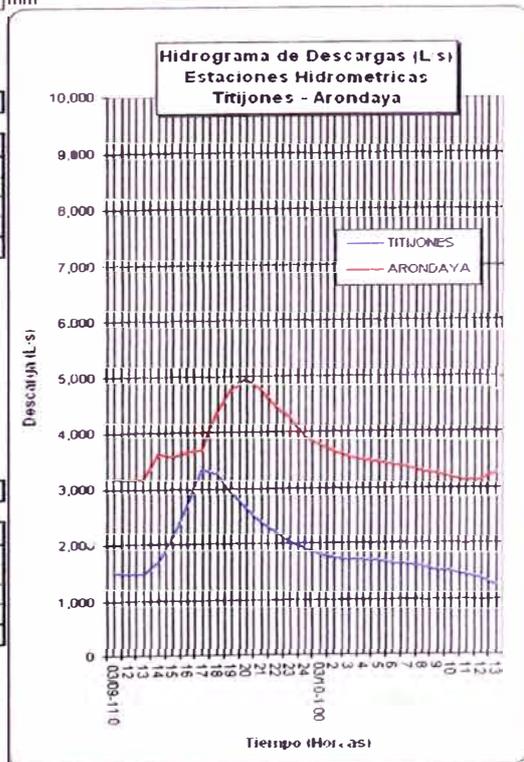
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	52.460	0.5711	109.37	10.0	5.7
TRINCH	41.481	0.3793		21.0	8.0
TW4	5.427	0.0496		4.2	0.2
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>		<b>35.2</b>	<b>13.9</b>

Pm = 13.88 mm      Pe = 0.04 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 61.65  
CN = 80.47  
Tlag = 1.52 Horas  
90.97 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.12. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARONDAYA**

PAGINA : 12 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 11 MARZO 2001 |

HORA ACUMULADA	FECHA-HORA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m³	m³
1	03/11-11.0	1.224	2.784	4.406							
2	12	1.402	2.777	4.727	320	320					
3	13	1.433	2.791	5.103	697	1.017	10.022				
4	14	2.210	2.898	6.557	2.151	3.168	10.239	216	216		
5	15	2.635	3.220	8.721	4.315	7.483	11.011	988	1.205		
6	16	3.020	3.963	10.179	5.773	13.255	12.929	2.907	4.112		
7	17	2.635	4.765	10.179	5.773	19.028	15.711	5.688	9.800		
8	18	3.340	5.086	10.755	6.349	25.376	17.732	7.709	17.509		
9	19	3.180	5.431	11.736	7.330	32.706	18.930	8.908	26.417		
10	20	2.785	5.531	10.737	6.331	39.037	19.730	9.708	36.125		
11	21	2.490	5.266	9.495	5.089	44.125	19.433	9.411	45.536		
12	22	2.245	5.005	8.523	4.117	48.242	18.487	8.465	54.001		
13	23	2.080	4.529	7.785	3.379	51.620	17.161	7.138	61.139		
14	24	1.918	4.167	7.196	2.790	54.410	15.652	5.629	66.768		
15	03/12-1.00	1.850	3.889	6.782	2.376	56.786	14.500	4.478	71.246		
16	2	1.751	3.749	6.482	2.075	58.862	13.748	3.725	74.971		
17	3	1.585	3.589	6.187	1.780	60.642	13.207	3.185	78.156		
18	4	1.521	3.481	5.953	1.546	62.188	12.725	2.702	80.858		
19	5	1.558	3.409	5.722	1.316	63.504	12.402	2.380	83.238		
20	6	1.495	3.325	5.495	1.089	64.593	12.121	2.099	85.337		
21	7	1.464	3.261	5.326	920	65.513	11.855	1.832	87.170		
22	8	1.433	3.178	5.215	808	66.321	11.591	1.568	88.738		
23	9	1.402	3.095	5.103	697	67.018	11.291	1.268	90.006		
24	10	1.312	3.061	4.895	479	67.496	11.080	1.057	91.064		
25	11	1.253	2.950	4.617	211	67.767	10.819	797	91.861		
26	12	1.195	2.884	4.406			10.501	479	92.340		
27	13	1.195	2.837								
● PICO =		3.340	5.531	Volumen = 67.707			Volumen = 92.340				
○ BASE - TITIJONES =		1.224	L/s								
○ BASE - ARONDAYA =		2.784	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S^2}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arondaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.51	mm
Pe Arondaya =	0.23	mm
Pe Total =	0.38	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	9.2	0.9
TW4	66.502	0.5021		5.4	2.7
TAP	42.412	0.3202		8.7	2.8
TRINCH	11.117	0.0839		25.0	2.1
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	48.3	8.5

Pm = 8.46 mm Pe = 0.51 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 23.60 mm  
Cm = 91.50 Horas  
Tlag = 1.17 Horas  
70.28 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

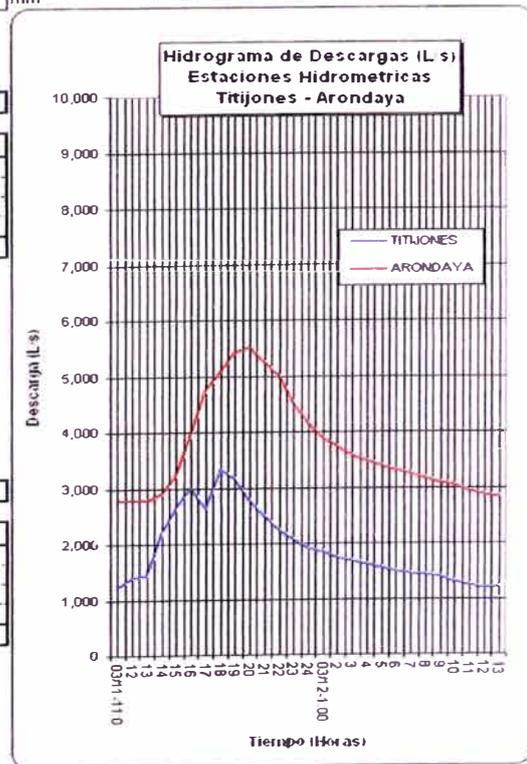
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	16.0	9.1
TRINCH	41.481	0.3793		25.0	9.5
TW4	5.427	0.0496		5.4	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	46.4	18.9

Pm = 18.89 mm Pe = 0.23 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 73.52 mm  
Cm = 77.55 Horas  
Tlag = 1.66 Horas  
99.48 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.13. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA: 13 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA: | FECHA: 17 MARZO 2001

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN m³	TITIJONES		VOLUMEN ACUMULADO m³	ARONDAYA	
		CAUDAL			VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN (Q - Qb)		VOLUMEN (Q - Qb)	
		L/s	L/s		m³	m³		m³	
1	03/17-14.0	1.621	4.083	5.836					
2	15	1.884	3.948						
3	16	1.817	3.844						
4	17	2.140	3.852	7.123	1.287	1.287			
5	18	3.300	3.659	9.792	3.956	5.243	13.880	41	41
6	19	4.340	4.183	13.752	7.916	13.160	14.474	636	677
7	20	4.010	4.435	15.030	9.194	22.354	15.511	1.672	2.350
8	21	3.600	5.167	13.698	7.862	30.217	17.265	3.446	5.796
9	22	3.240	6.633	12.312	6.476	36.693	21.240	7.402	13.198
10	23	3.940	6.264	12.924	7.088	43.781	23.213	9.375	22.572
11	24	4.765	5.749	15.689	9.833	53.615	21.623	7.784	30.357
12	03/18-1.00	4.270	5.176	16.263	10.427	64.042	19.664	5.826	36.182
13	2	3.920	5.389	14.742	8.906	72.949	19.017	5.178	41.361
14	3	3.630	6.272	13.590	7.754	80.703	20.991	7.153	48.513
15	4	3.330	7.172	12.528	6.692	87.395	24.199	10.361	58.874
16	5	3.070	6.447	11.520	5.684	93.080	24.514	10.675	69.549
17	6	2.785	5.876	10.539	4.703	97.783	22.182	8.344	77.893
18	7	2.635	5.422	9.756	3.920	101.704	20.338	6.499	84.392
19	8	2.490	5.208	9.225	3.389	105.093	19.135	5.297	89.689
20	9	2.350	5.046	8.712	2.876	107.969	18.457	4.618	94.308
21	10	2.245	4.861	8.271	2.435	110.405	17.831	3.992	98.300
22	11	2.245	4.853				17.483	3.645	101.945
23	12	2.230	4.591				16.999	3.160	105.106
24	13	2.230	4.451				16.276	2.437	107.543
25	14		4.428				15.981	2.143	109.686
26	15		4.451				15.981	2.143	111.828
27	16								
Q PICO =		4.765	7.172						
Q BASE - TITIJONES =		1.621	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		3.844	L/s						
				Volumen =	110.405			Volumen =	111.828

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.83	mm
Pe Arundaya =	0.01	mm
Pe Total =	0.46	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
SLC	12.405	0.0937	132.44	12.4	1.2
TW4	66.502	0.5021		7.4	3.7
TAP	42.412	0.3202		10.4	3.3
TRINCH	11.117	0.0839		15.0	1.3
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	45.2	9.5

Pm = 9.47 mm Pe = 0.83 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 23.18 mm  
CN = 91.64  
Tlag = 1.16 Horas  
69.85 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

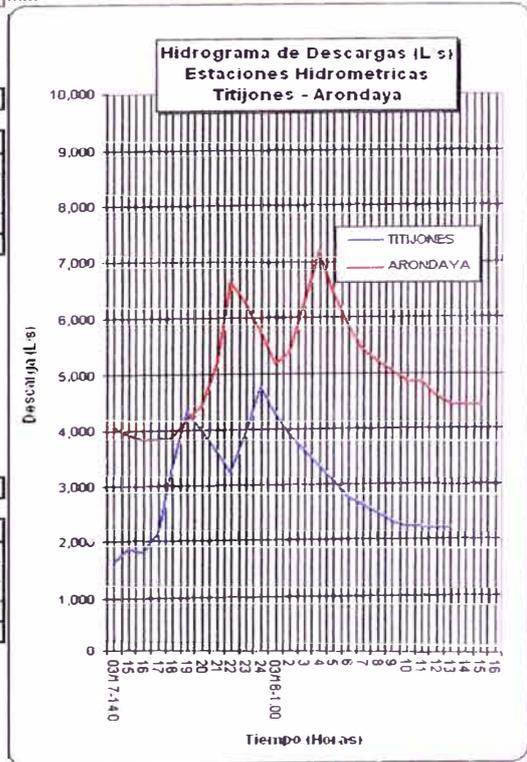
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	5.0	2.9
TRINCH	41.481	0.3793		15.0	5.7
TW4	5.427	0.0496		7.4	0.4
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	27.4	8.9

Pm = 8.91 mm Pe = 0.01 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 40.88  
CN = 86.14  
Tlag = 1.25 Horas  
75.17 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.14. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 14 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 18 MARZO 2001 |

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA		
		L/s	L/s	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qd)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qd)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	03/18-13.0	3.070	4.591	7.150					
2	13	3.340	4.451	11.538	4.388	4.388			
3	14	4.473	4.428	14.063	6.914	11.302	16.528		
4	15	4.336	4.451	15.856	8.707	20.009	15.981		
5	16	4.213	9.096	15.388	8.239	28.247	24.385	7.857	7.857
6	17	4.201	8.637	15.145	7.996	36.243	31.920	15.393	23.250
7	18	3.595	9.503	14.033	6.883	43.126	32.653	16.125	39.375
8	19	3.340	7.799	12.483	5.333	48.460	31.144	14.617	53.992
9	20	3.070	7.153	11.538	4.388	52.848	26.915	10.387	64.379
10	21	2.860	5.802	10.674	3.524	56.372	25.119	8.592	72.971
11	22	3.020	6.177	10.584	3.434	59.807	23.361	6.934	79.865
12	23	3.180	5.919	11.160	4.010	63.817	21.772	5.245	85.049
13	24	3.070	5.589	11.250	4.100	67.918	20.714	4.187	89.236
14	03/19-1.00	2.940	5.439	10.818	3.668	71.586	19.851	3.323	92.559
15	2	2.710	5.414	10.170	3.020	74.606	19.536	3.008	95.567
16	3	2.490	5.564	9.360	2.210	76.817	19.761	3.233	98.800
17	4	2.350	5.481	8.712	1.562	78.379	19.880	3.353	102.153
18	5	2.280	5.307	8.334	1.184	79.564	19.417	2.890	105.042
19	6	2.210	5.143	8.082	932	80.496	18.810	2.282	107.324
20	7	2.140	4.965	7.830	680	81.176	18.194	1.666	108.991
21	8	2.050	4.885	7.542	392	81.569	17.729	1.201	110.192
22	9	2.020	4.765	7.326	176	81.745	17.369	841	111.033
23	10	1.918	4.631	7.088			16.912	384	111.417
24	11	1.918	4.536	6.905			16.501		
25	12	2.080	4.490	7.196			16.247		
26	13	1.986	4.505				16.191		
27	14	2.785	4.466						
Q PICO =		4.473	9.503	Volumen = 81.745			Volumen = 111.417		
Q BASE - TITIJONES =		1.986	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		4.591	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

P <sub>e</sub> Titijones =	0.62	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.27	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.46	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	5.0	0.5
TW4	66.502	0.5021		3.4	1.7
TAP	42.412	0.3202		4.3	1.4
TRINCH	11.117	0.0839		15.0	1.3
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	27.7	4.8

Pm = 4.81 mm

Pe = 0.62 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 10.00 mm  
CN = 96.21  
Tlag = 0.93 Horas  
55.97 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

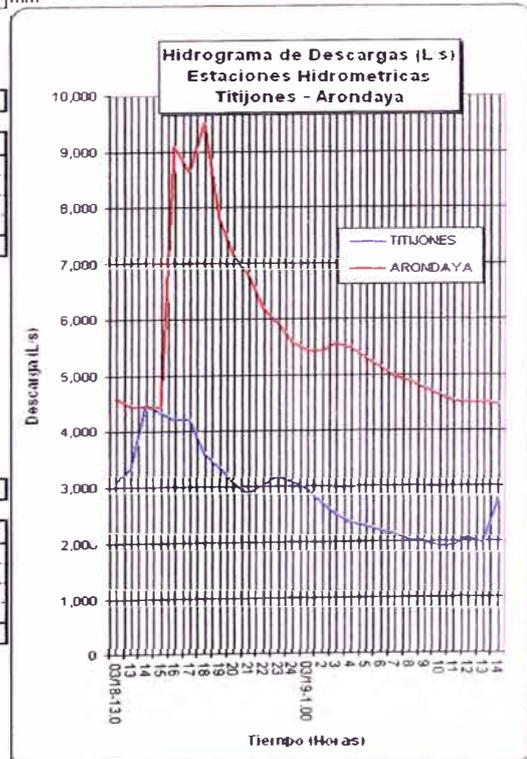
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	9.7	5.5
TRINCH	41.481	0.3793		15.0	5.7
TW4	5.427	0.0496		3.4	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	28.1	11.4

Pm = 11.40 mm

Pe = 0.27 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 39.85  
CN = 86.44  
Tlag = 1.24 Horas  
74.35 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

B1.15. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA

PAGINA: 15 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA: | FECHA: 20 FEB 2001

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES		ARONDAYA	
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	03/20-09:00	2.140	4.008	6.070					
2	10	2.080	3.956	7.596	1.526	1.526			
3	11	2.020	4.076	7.380	1.310	2.837	14.429		
4	12	1.952	4.373	7.150	1.080	3.917	15.209	780	780
5	13	2.020	4.397	7.150	1.080	4.997	15.786	1.357	2.137
6	14	2.210	4.350	7.614	1.544	6.541	15.744	1.315	3.453
7	15	2.245	6.430	8.019	1.949	8.491	19.404	4.975	8.428
8	16	2.280	6.935	8.145	2.075	10.566	23.337	8.908	17.335
9	17	2.210	7.706	8.082	2.012	12.578	25.634	11.205	28.541
10	18	2.080	6.927	7.722	1.652	14.231	26.340	11.911	40.452
11	19	1.986	6.298	7.319	1.249	15.480	23.806	9.378	49.829
12	20	1.884	5.842	6.966	896	16.376	21.853	7.424	57.254
13	21	1.884	5.414	6.782	713	17.089	20.261	5.833	63.086
14	22	1.850	5.184	6.721	652	17.741	19.076	4.647	67.734
15	23	1.817	5.005	6.601	531	18.272	18.340	3.911	71.645
16	24	1.817	4.861	6.541	472	18.743	17.758	3.329	74.974
17	03/21-1:00	1.817	4.773	6.541	472	19.215	17.340	2.911	77.885
18	2	1.817	4.749	6.541	472	19.687	17.139	2.711	80.596
19	3	1.784	4.529	6.482	412	20.099	16.700	2.271	82.867
20	4	1.751	4.458	6.363	293	20.392	16.177	1.748	84.615
21	5	1.718	4.451	6.244	175	20.567	16.037	1.608	86.223
22	6	1.686	4.435	6.127	58	20.624	15.995	1.566	87.789
23	7	1.686	4.404	6.070			15.911	1.482	89.272
24	8	1.686	4.220	6.070			15.524	1.095	90.367
25	9	1.653	4.200	6.010			15.156	727	91.094
26	10	1.589	4.140				15.012	583	91.677
27	11	1.558	4.060						
Q PICO =		2.280	7.706	Volumen =		20.624	Volumen =		91.677
Q BASE - TITIJONES =		1.686	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		4.008	L/s						

CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.16	mm
Pe Arundaya =	0.66	mm
Pe Total =	0.38	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
SLC	12.405	0.0937	132.44	2.8	0.3
TWJ	66.502	0.5021		4.2	2.1
TAP	42.412	0.3202		3.3	1.1
TRINCH	11.117	0.0839		17.5	1.5
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	27.8	4.9

Pm = 4.90 mm

Pe = 0.16 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 16.16 mm  
CN = 94.02  
Tlag = 1.04 Horas  
62.62 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA

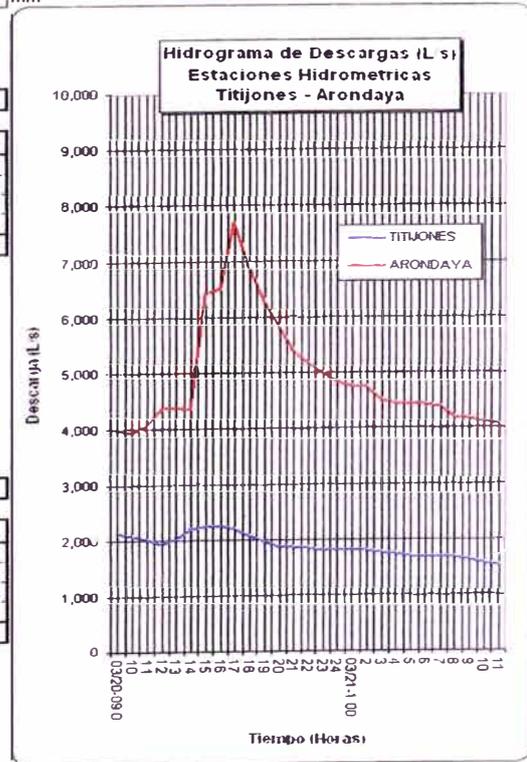
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	9.7	5.5
TRINCH	41.481	0.3793		17.5	6.6
TWJ	5.427	0.0496		4.2	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	31.4	12.4

Pm = 12.39 mm

Pe = 0.65 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 36.05 mm  
CN = 87.57  
Tlag = 1.19 Horas  
71.29 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.16. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA: 16 de 33

CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA:

FECHA: 03 FEB 2002

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN m <sup>3</sup>	TITIJONES		VOLUMEN ACUMULADO m <sup>3</sup>	ARONDAYA		
		L/s	L/s		VOLUMEN (Qr - Qb) m <sup>3</sup>	VOLUMEN		VOLUMEN (Qr - Qb) m <sup>3</sup>	VOLUMEN ACUMULADO m <sup>3</sup>	
1	02/03-12.0	324	231	1,166				832		
2	13	324	355	1,166	0	0	0	1,055	223	223
3	14	363	3,996	1,237	70	70	70	7,833	7,001	7,224
4	15	443	3,802	1,451	284	355	355	14,037	13,205	20,429
5	16	422	9,819	1,557	391	745	745	24,517	23,685	44,114
6	17	464	17,785	1,595	428	1,174	1,174	49,686	48,854	92,968
7	18	619	8,361	1,949	783	1,957	1,957	47,063	46,231	139,200
8	19	1,025	9,589	2,959	1,793	3,749	3,749	32,311	31,480	170,679
9	20	1,495	5,741	4,536	3,370	7,119	7,119	27,594	26,782	197,442
10	21	1,433	5,220	5,270	4,104	11,223	11,223	19,729	18,897	216,339
11	22	1,372	4,671	5,849	3,883	15,106	15,106	17,803	16,971	233,310
12	23	1,224	4,056	4,673	3,506	18,612	18,612	15,708	14,877	248,187
13	24	1,053	3,553	4,099	2,932	21,544	21,544	13,697	12,865	261,052
14	02/04-1.00	918	3,112	3,548	2,381	23,926	23,926	11,997	11,165	272,217
15	2	814	2,841	3,118	1,951	25,877	25,877	10,715	9,884	282,100
16	3	739	2,579	2,795	1,629	27,506	27,506	9,757	8,925	291,026
17	4	690	2,361	2,572	1,406	28,912	28,912	8,893	8,061	299,087
18	5	619	2,115	2,366	1,190	30,101	30,101	8,058	7,226	306,313
19	6	596	2,013	2,187	1,021	31,122	31,122	7,430	6,599	312,911
20	7	551	1,588	2,065	898	32,020	32,020	6,482	5,650	318,561
21	8	529	1,464	1,944	778	32,798	32,798	5,495	4,663	323,225
22	9	485	1,404	1,825	659	33,457	33,457	5,163	4,331	327,556
23	10	464	1,356	1,708	542	33,998	33,998	4,968	4,136	
24	11	443	1,256	1,633	466	34,465	34,465	4,702		
25	12	422	1,070	1,557	391	34,855	34,855	4,187		
26	13	402	800	1,483				3,366		
27	14	402	750							
<b>Q PICO =</b>		<b>1,495</b>	<b>17,785</b>	<b>Volumen =</b>		<b>34,855</b>	<b>Volumen =</b>		<b>327,556</b>	
Q BASE TITIJONES =		324	L/s							
Q BASE ARONDAYA =		231	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.08 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.08 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

Pe Titijones =	0.26	mm
Pe Arundaya =	2.68	mm
Pe Total =	1.35	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	10.2	1.0
TW4	66,502	0.5021		9.3	4.7
TAP	42,412	0.3202		6.6	2.1
TRINCH	11,117	0.0839		33.0	2.8
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>59.1</b>	<b>10.5</b>

Pm = 10.51 mm

Pe = 0.26 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 36.40 mm  
CN = 87.47 Horas  
Tlag = 1.38 Horas  
82.67 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

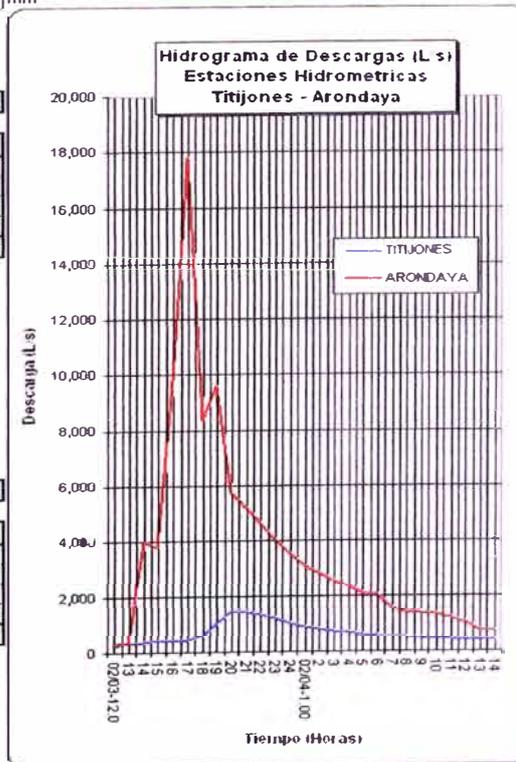
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	19.0	10.9
TRINCH	41,481	0.3793		33.0	12.5
TW4	5,427	0.0496		9.3	0.5
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>61.3</b>	<b>23.8</b>

Pm = 23.83 mm

Pe = 2.68 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 52.70 mm  
CN = 82.82 Horas  
Tlag = 1.41 Horas  
84.31 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.17. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 17 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 04 FEB 2002

HORA	DIA	CAUDAL		VOLUMEN			VOLUMEN ACUMULADO			
		TITIJONES	ARONDAYA	TITIJONES	ARONDAYA	TITIJONES	ARONDAYA	TITIJONES	ARONDAYA	
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³	
1	02/04-14.0	402	1,370	1,447			3,618			
2	15	443	1,420	1,521	74	74	5,022	1,404	1,404	
3	16	1,025	1,450	2,642	1,195	1,269	5,166	1,548	2,952	
4	17	1,718	1,480	4,937	3,490	4,759	5,274	1,656	4,608	
5	18	2,020	1,594	6,728	5,281	10,040	5,534	1,916	6,524	
6	19	1,850	4,404	6,966	5,519	15,559	10,797	7,179	13,703	
7	20	1,558	7,067	6,134	4,687	20,246	20,647	17,029	30,732	
8	21	1,224	4,943	5,008	3,560	23,807	21,617	17,999	48,731	
9	22	998	3,183	4,000	2,552	26,359	14,625	11,007	59,738	
10	23	739	2,690	3,127	1,679	28,039	10,572	6,954	66,692	
11	24	714	2,411	2,615	1,168	29,207	9,183	5,565	72,257	
12	02/05-1.00	666	2,185	2,484	1,037	30,244	8,273	4,655	76,912	
13	2	642	2,040	2,354	907	31,151	7,604	3,986	80,898	
14	3	619	1,898	2,270	823	31,973	7,089	3,471	84,369	
15	4	573	1,728	2,146	698	32,672	6,528	2,910	87,279	
16	5	573	1,588	2,063	616	33,287	5,969	2,351	89,630	
17	6	529	1,458	1,984	536	33,824	5,484	1,866	91,496	
18	7	507	1,332	1,865	418	34,241	5,023	1,405	92,901	
19	8	485	1,239	1,786	338	34,580	4,628	1,010	93,911	
20	9	464	1,170	1,708	261	34,841	4,336	718	94,630	
21	10	464	1,086	1,670			4,062	444	95,074	
22	11	485	1,032	1,708			3,812	194	95,268	
23	12	507	1,005	1,786						
24	13	739	999	2,243						
25	14	1,137	994	3,377						
26	15	2,050	1,109	5,737						
27	16	2,490	1,159							
Q PICO =		2,020	7,067	Volumen =			31,811	Volumen = 95,268		
Q BASE - TITIJONES =		402	L/s							
Q BASE - ARONDAYA =		1,005	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.26	mm
Pe Arundaya =	0.55	mm
Pe total =	0.39	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16,080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	7.0	0.7
TWJ	66,502	0.5021		6.1	3.1
TAP	42,412	0.3202		6.0	1.9
TRINCH	11,117	0.0839		40.0	3.4
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	59.1	9.0

Pm = 9.00 mm Pe = 0.26 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 30.22 mm  
CN = 89.37  
Tlag = 1.28 Horas  
76.80 min

L = 18,630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

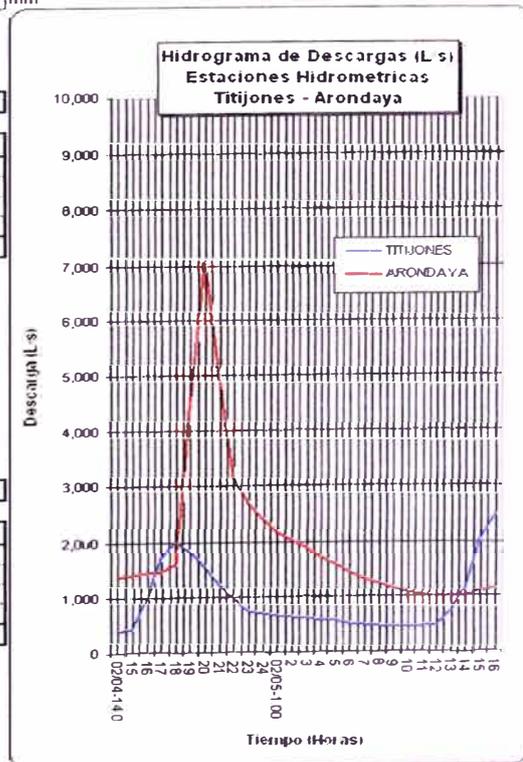
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	30.0	17.1
TRINCH	41,481	0.3793		40.0	15.2
TWJ	5,427	0.0496		6.1	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	76.1	32.6

Pm = 32.61 mm Pe = 0.55 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 120.78  
CN = 67.77  
Tlag = 2.18 Horas  
130.76 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.18. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 18 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 05 FEB 2002

HORA	OIA	TITIJONES		ARONDAYA			TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s									
1	02:05-11:0	485	1.032	1.746			3.578					
2	12	507	1.005	1.786	40	40	3.665	87	87			
3	13	739	999	2.243	497	536	3.607	28	115			
4	14	1.137	994	3.377	1.631	2.167	3.587	9	124			
5	15	2.050	1.104	5.737	3.994	6.158	3.784	206	330			
6	16	2.490	1.159	8.172	6.426	12.584	4.081	503	833			
7	17	2.020	1.227	8.118	6.372	18.956	4.295	717	1.549			
8	18	1.751	3.310	5.788	5.042	23.998	8.167	4.589	6.138			
9	19	1.372	4.581	5.621	3.875	27.873	14.204	10.625	16.763			
10	20	1.053	6.679	4.365	2.619	30.492	20.267	16.689	33.452			
11	21	891	10.060	3.499	1.753	32.245	30.111	26.532	59.984			
12	22	814	8.253	3.069	1.323	33.568	32.944	29.365	89.350			
13	23	739	5.983	2.795	1.049	34.618	25.624	22.045	111.395			
14	24	690	4.404	2.572	826	35.444	18.696	15.118	126.513			
15	02:06-1:00	642	3.390	2.398	652	36.095	14.029	10.451	136.964			
16	2	619	2.469	2.270	524	36.619	10.547	6.969	143.933			
17	3	596	2.047	2.187	441	37.060	8.129	4.550	148.483			
18	4	573	1.979	2.104	358	37.418	7.246	3.688	152.151			
19	5	551	1.813	2.023	277	37.696	6.825	3.246	155.397			
20	6	529	1.651	1.944	198	37.894	6.235	2.657	158.054			
21	7	507	1.594	1.865	119	38.012	5.842	2.264	160.318			
22	8	485	1.483	1.786	40	38.052	5.539	1.961	162.278			
23	9	464	1.464	1.708								
24	10	464	1.410	1.670								
25	11	443	1.362	1.633								
26	12	422	1.315	1.557								
27	13	402	1.250									
D PICO =		2.490	10.050	Volumen =			38.052	Volumen =			162.278	
Q BASE -TITIJONES =		485	L/s									
Q BASE -ARONDAYA =		994	L/s									

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.08 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.08 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

P <sub>e</sub> Titijones =	0.29	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	1.14	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.67	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACIÓN PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	4.0	0.4
TW4	66.502	0.5021		9.0	4.5
TAP	42.412	0.3202		10.8	3.5
TRINCH	11.117	0.0839	132.44	30.0	2.5
TOTAL =	132.44	1.0000		53.8	10.9

P<sub>m</sub> = 10.87 mm

P<sub>e</sub> = 0.29 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 37.26 mm  
CN = 87.21  
T<sub>lag</sub> = 1.39 Horas  
83.48 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACIÓN PROMEDIO ARONDAYA**

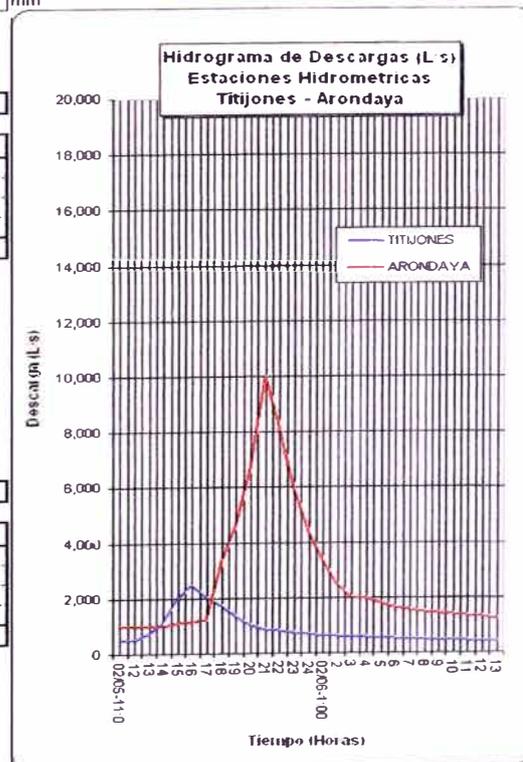
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A1
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	15.0	8.6
TRINCH	41.481	0.3793		30.0	11.4
TW4	5.427	0.0496		9.0	0.4
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	54.0	20.4

P<sub>m</sub> = 20.39 mm

P<sub>e</sub> = 1.14 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 58.32 mm  
CN = 81.33  
T<sub>lag</sub> = 1.48 Horas  
88.52 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenca Mediana.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.19. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 19 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 10 FEB 2002

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	02/10-12.0	128	588	414			2,052		
2	13	115	584	437	23	23			
3	14	128	575	437	23	47			
4	15	288	570	749	335	382	2,061	9	9
5	16	485	570	1,391	977	1,359	2,053	1	11
6	17	739	676	2,203	1,789	3,148	2,243	191	202
7	18	1,137	7,515	3,377	2,963	6,111	14,743	12,691	12,893
8	19	1,653	6,032	5,022	4,608	10,719	24,384	22,332	35,225
9	20	1,559	4,626	5,780	5,366	16,085	19,184	17,132	52,357
10	21	1,342	3,310	5,220	4,806	20,891	14,284	12,232	64,589
11	22	1,137	2,728	4,462	4,048	24,939	10,868	8,816	73,405
12	23	1,081	2,506	3,992	3,578	28,517	9,421	7,369	80,774
13	24	1,053	2,318	3,841	3,427	31,945	8,684	6,632	87,405
14	02/11-1.00	918	2,150	3,548	3,134	35,078	8,043	5,991	93,396
15	2	814	1,965	3,118	2,704	37,782	7,407	5,355	98,751
16	3	714	1,865	2,750	2,336	40,118	6,895	4,843	103,595
17	4	595	1,754	2,358	1,944	42,062	6,515	4,463	108,057
18	5	551	1,651	2,065	1,651	43,713	6,129	4,077	112,135
19	6	529	1,569	1,944	1,530	45,243	5,797	3,745	115,880
20	7	507	1,499	1,865	1,451	46,694	5,505	3,453	119,333
21	8	485	1,434	1,786	1,372	48,065	5,261	3,209	122,543
22	9	464	1,150	1,708			4,651	2,599	125,142
23	10	485	1,020	1,708			3,906	1,854	126,996
24	11	839	910	2,383			3,474	1,422	128,418
25	12	1,025	800	3,355					
26	13	1,195	880	3,996					
27	14								
Q PICO =		1,653	7,515	Volumen = 48,065			Volumen = 128,418		
Q BASE - TITIJONES =		115	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		570	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.36	mm
Pe Arundaya =	0.73	mm
Pe Total =	0.53	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	11.6	1.1
TWJ	66.502	0.5021		11.2	5.6
TAP	42.412	0.3202		10.0	5.2
TRINCH	11.117	0.0839		25.0	2.1
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	57.8	12.0

Pm = 12.01 mm

Pe = 0.36 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 40.06 mm  
CN = 86.38  
Tlag = 1.43 Horas  
86.08 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

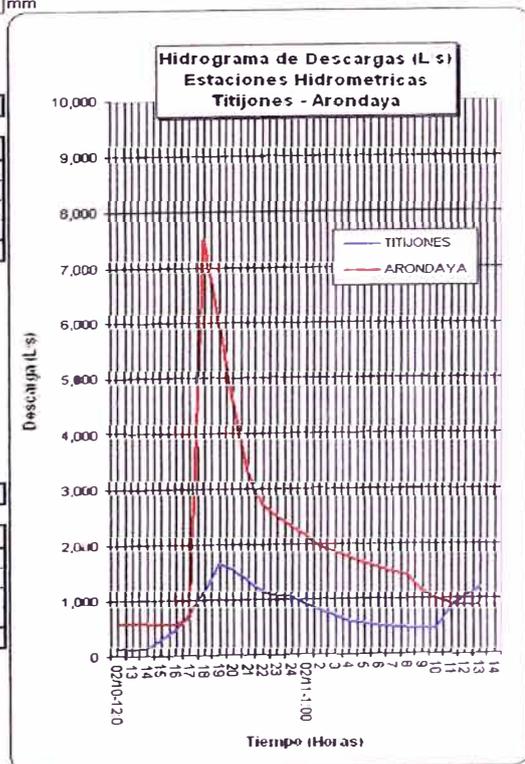
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	12.0	6.9
TRINCH	41.481	0.3793		25.0	9.5
TW4	5.427	0.0496		11.2	0.6
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	48.2	16.9

Pm = 16.89 mm

Pe = 0.73 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 51.74  
CN = 83.08  
Tlag = 1.39 Horas  
83.59 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.20. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 20 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 17 FEB 2002

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA		
		L/s	L/s	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
				m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	02/17-13:0	739	1.256	2.660					
2	14	739	1.268	2.660	0	0			
3	15	2.420	1.245	5.686	3.026	3.026			
4	16	3.180	1.557	10.080	7.420	10.445	5.043	-562	-562
5	17	4.982	1.342	13.972	11.311	21.767	5.308	-297	-860
6	18	4.336	1.392	16.052	13.392	35.149	5.011	-594	-1.454
7	19	3.790	4.223	14.627	11.966	47.115	10.117	4.512	3.058
8	20	2.785	6.298	11.835	9.175	56.290	18.948	13.343	16.400
9	21	2.140	5.407	8.865	6.205	62.494	21.069	15.464	31.864
10	22	1.751	4.492	7.004	4.343	66.838	17.819	12.214	44.078
11	23	1.433	3.886	5.731	3.071	69.909	15.081	9.475	53.553
12	24	1.282	2.995	4.887	2.227	72.135	12.386	6.780	60.334
13	02/18-1:00	1.195	3.073	4.459	1.798	73.933	10.921	5.316	65.650
14	2	1.109	2.766	4.147	1.487	75.420	10.509	4.903	70.553
15	3	1.025	2.255	3.841	1.181	76.601	9.036	3.431	73.985
16	4	998	2.115	3.641	981	77.682	7.866	2.261	76.245
17	5	944	2.101	3.496	835	78.417	7.590	1.985	78.230
18	6	918	2.101	3.352	691	79.108	7.565	1.960	80.191
19	7	865	1.979	3.209	549	79.657	7.345	1.739	81.930
20	8	814	1.913	3.022	362	80.019	7.003	1.398	83.328
21	9	739	1.845	2.795	135	80.154	6.763	1.158	84.486
22	10	739	1.747	2.660	0		6.467	862	
23	11	714	1.374	2.615	-45		5.619	13	
24	12	714	1.344	2.570	-90		4.893	-713	
25	13	739	1.338	2.615	-45		4.828	-777	
26	14	690	1.582	2.572	-88		5.256	-349	
27	15	714	1.594						
Q PICO =		4.582	6.298	Volumen = 80.154			Volumen = 84.486		
Q BASE - TITIJONES =		739	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		1.557	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.08 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.08 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.61	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.04	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.35	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	0.4	0.0
TWJ	66.502	0.5021		3.5	1.8
TAP	42.412	0.3202		0.1	0.0
TRINCH	11.117	0.0839		8.0	0.7
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	12.0	2.5

Pm = 2.50 mm

Pe = 0.61 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 3.52 mm  
CN = 98.63  
Tlag = 0.81 Horas  
48.59 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

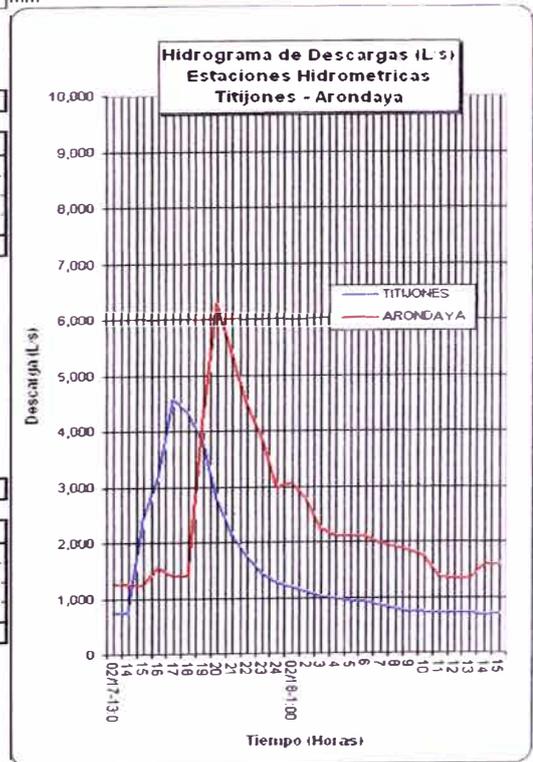
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	4.7	2.7
TRINCH	41.481	0.3793		8.0	3.0
TWJ	5.427	0.0496		3.5	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	16.2	5.9

Pm = 5.89 mm

Pe = 0.04 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 24.44  
CN = 91.22  
Tlag = 1.03 Horas  
61.57 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenca Mediana.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.21. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 21 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 21 MARZO 2002 |

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA				
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³		
1	03/22-11.0	839	1.793	3.020			6.174				
2	12	839	1.760	3.020	0	0					
3	13	865	1.728	3.067	47	47					
4	14	2.280	1.715	5.661	2.641	2.687	6.198	24	24		
5	15	4.201	31.766	11.666	8.645	11.333	60.267	54.093	54.117		
6	16	5.276	22.730	17.059	14.038	25.371	98.094	91.920	146.037		
7	17	5.045	12.957	18.580	15.559	40.930	64.237	58.063	204.100		
8	18	4.640	10.166	17.435	14.414	55.345	41.621	35.447	239.547		
9	19	3.340	9.362	14.364	11.344	66.688	35.150	28.976	268.523		
10	20	2.860	8.691	11.160	8.140	74.828	32.495	26.321	294.843		
11	21	2.350	7.822	9.378	6.358	81.185	29.723	23.549	318.392		
12	22	2.080	6.780	7.974	4.954	86.139	26.204	20.110	338.502		
13	23	1.751	5.789	6.896	3.875	90.014	22.624	16.450	354.952		
14	24	1.558	5.127	5.956	2.936	92.950	19.648	13.474	368.426		
15	03/23-1.00	1.402	4.581	5.328	2.308	95.258	17.474	11.300	379.726		
16	2	1.312	4.396	4.885	1.865	97.123	16.141	9.967	389.693		
17	3	1.253	3.923	4.617	1.597	98.719	14.966	8.792	398.485		
18	4	1.195	3.553	4.406	1.386	100.105	13.466	7.292	405.778		
19	5	1.137	3.995	4.198	1.177	101.282	11.786	5.612	411.390		
20	6	1.081	3.918	3.992	972	102.254	10.643	4.469	415.859		
21	7	1.081	3.841	3.892	871	103.126	10.366	4.192	420.051		
22	8	1.081	2.690	3.892							
23	9	1.081	2.918	3.892							
24	10	1.025	2.690	3.791							
25	11	998	2.995	3.541							
26	12	971	3.175	3.544							
27	13	944	3.334								
<b>Q PICO =</b>		<b>5.276</b>	<b>31.766</b>	<b>Volumen =</b>			<b>103.126</b>	<b>Volumen =</b>			<b>120.051</b>
<b>Q BASE -TITIJONES =</b>		839	L/s								
<b>Q BASE -ARONDAYA =</b>		1.715	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.78	mm
Pe Arundaya =	2.90	mm
Pe Total =	1.74	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACIÓN PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	3.4	0.3
TWJ	66.502	0.5021		7.2	3.6
TAP	42.412	0.3202		4.8	1.5
TRINCH	11.117	0.0839		33.0	2.8
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>48.4</b>	<b>8.2</b>

Pm = 8.23 mm

Pe = 0.78 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 19.59 mm

CN = 92.84

Tlagj = 1.10 Horas

66.20 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACIÓN PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	20.0	11.4
TRINCH	41.481	0.3793		33.0	12.5
TWJ	5.427	0.0496		7.2	0.4
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>60.2</b>	<b>24.3</b>

Pm = 24.30 mm

Pe = 2.90 mm

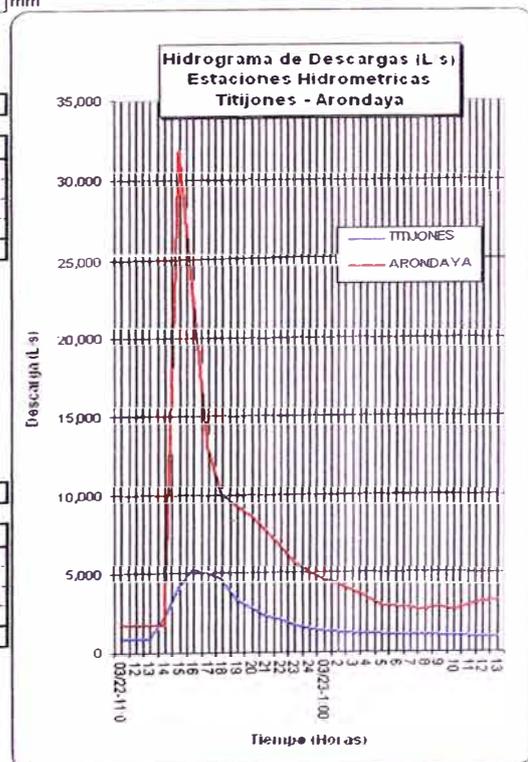
$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 52.27

CN = 82.93

Tlagj = 1.40 Horas

83.99 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.22. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 22 de 33

CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :

FECHA : 08 ENERO 2005

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN		VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	
		L/s	L/s	m³	m³						m³
1	01/08-09.0	55	513	198				1,786			
2	9	55	509	198				1,840	55	55	
3	10	55	500	198				1,817	31	86	
4	11	55	496	198				1,793	8	94	
5	12	66	509	218	20	20		1,809	23	117	
6	13	739	8,597	1,449	1,251	1,271		16,391	14,606	14,723	
7	14	157	6,438	1,613	1,415	2,686		27,064	25,278	40,001	
8	15	77	4,975	421	223	2,909		20,544	18,759	58,760	
9	16	77	1,143	277	79	2,988		11,012	9,226	67,986	
10	17	77	922	277	79	3,067		3,716	1,930	69,916	
11	18	77	767	277	79	3,146		3,040	1,254	71,170	
12	19	77	708	277	79	3,226		2,654	869	72,039	
13	20	77	1,131	277	79	3,305		3,310	1,524	73,563	
14	21	77	767	277	79	3,384		3,416	1,631	75,194	
15	22	66	669	257	59	3,443		2,685	799	75,994	
16	23	66	599	238	40	3,483			497	76,490	
17	24	66	590	238	40	3,523		2,139	363	76,844	
18	01/09-1.00	66	590	238	40	3,562		2,122	337	77,181	
19	2	66	576	238	40	3,602		2,098	312	77,493	
20	3	66	549	238	40	3,641		2,024	239	77,731	
21	4	55	540	218	20	3,661		1,960	174	77,905	
22	5	55	531	198	0	3,661		1,928	142	78,047	
23	6	55	531	198	0	3,661		1,912	126	78,173	
24	7	55	531	198	0	3,661		1,912	126	78,299	
25	8	55	531	198				1,912			
26	9	55	522	198				1,896			
27	10	66	518					1,872			
Q PICO =		739	8,597	Volumen =		3,661	Volumen =		78,299		
Q BASE -TITIJONES =		55	L/s								
Q BASE -ARONDAYA =		496	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.03	mm
Pe Arundaya =	0.68	mm
Pe Total =	0.32	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16 080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	6.6	0.6
TWJ	66.502	0.5021		5.3	2.7
TAP	42.412	0.3202		8.6	2.8
TRINCH	11.117	0.0839		40.0	3.4
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	60.5	9.4

Pm = 9.39 mm Pe = 0.03 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 41.53 mm  
CN = 85.95  
Tlag = 1.46 Horas  
87.42 min

L = 18 630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

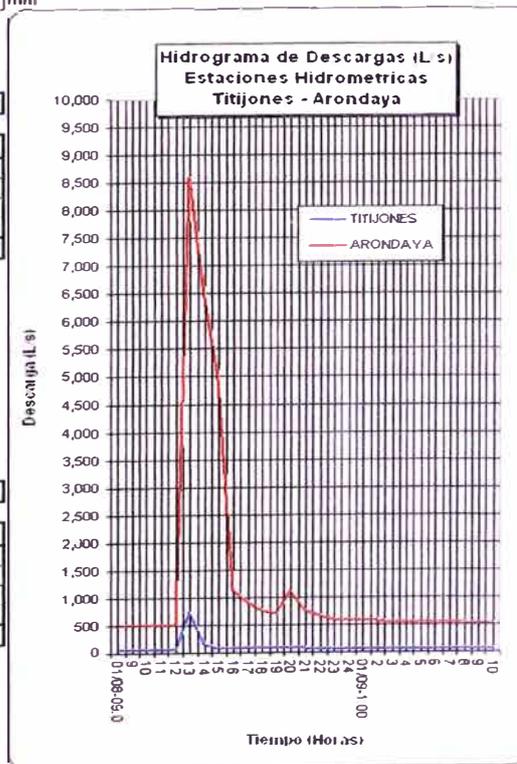
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi Ar
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	20.0	11.4
TRINCH	41.481	0.3793		40.0	15.2
TWJ	5.427	0.0496		5.3	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	65.3	26.9

Pm = 26.86 mm Pe = 0.68 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 92.76 mm  
CN = 73.25  
Tlag = 1.88 Horas  
112.66 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.23. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 23 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 09 ENERO 2005

HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m³	m³
1	01/09-09 0	55	522	198				1,817			
2	10	66	518	218				1,872	55	55	
3	11	77	505	257				1,840	24	79	
4	12	77	509	277				1,825	8	87	
5	13	66	1,030	257	59	59		2,771	954	1,040	
6	14	66	732	238	40	99		3,155	1,338	2,378	
7	15	66	11,150	238	40	139		21,370	19,553	21,931	
8	16	66	9,140	238	40	178		36,521	34,705	56,635	
9	17	77	7,481	257	59	238		29,918	28,101	84,737	
10	18	77	5,937	277	79	317		24,152	22,335	107,072	
11	19	77	3,644	277	79	396		17,245	15,428	122,500	
12	20	77	2,836	277	79	475		11,664	9,847	132,346	
13	21	77	1,893	277	79	564		8,512	6,695	139,041	
14	22	77	1,629	277	79	634		6,338	4,522	143,563	
15	23	66	1,259	257	59	693		5,197	3,381	146,943	
16	24	66	869	238	40	733		3,830	2,013	148,957	
17	01/10-1 00	66	767	238	40	772		2,945	1,128	150,085	
18	2	66	869	238	40	812		2,585	768	150,853	
19	3	66	613	238	40	851		2,307	490	151,343	
20	4	66	590	238	40	891		2,164	347	151,690	
21	5	66	576	238	40	931		2,098	281	151,971	
22	6	66	549	238	40	970		2,024	208	152,179	
23	7	66	599	238	40	1,010		2,066	249	152,427	
24	8	66	869	238	40	1,049		2,282	465	152,893	
25	9	66	869	238				2,769			
26	10	66		238				1,564			
27	11	66						0			
Q PICO =		77	11,150	Volumen =			1,049	Volumen =			152,893
Q BASE - TITIJONES =		55	L/s								
Q BASE - ARONDAYA =		505	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.01	mm
Pe Arundaya =	1.39	mm
Pe Total =	0.63	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16,080 Km  
So = 0.18210 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12,405	0.0937	132.44	1.0	0.1
TWJ	66,502	0.5021		4.8	2.4
TAP	42,412	0.3202		3.5	1.1
TRINCH	11,117	0.0839		40.0	3.4
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	49.3	7.0

Pm = 6.98 mm

Pe = 0.01 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 32.36 mm  
CN = 88.70  
Tlag = 1.31 Horas  
78.85 min

L = 18,630 Km  
So = 0.3075 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

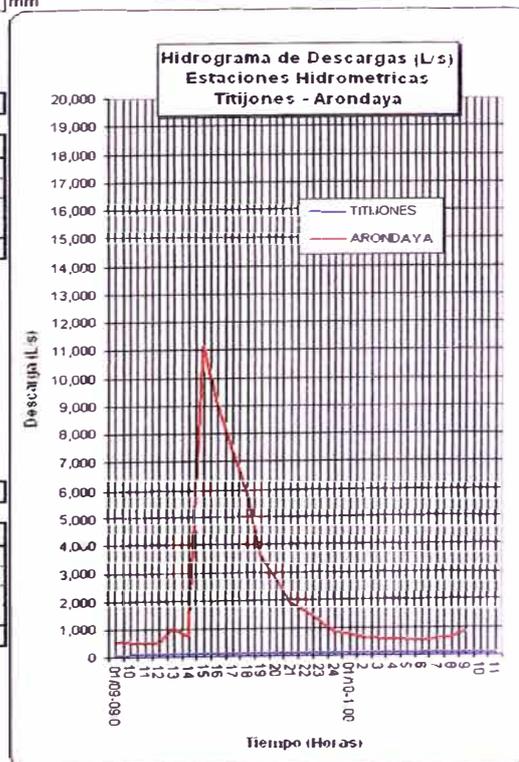
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62,460	0.5711	109.37	20.0	11.4
TRINCH	41,481	0.3793		40.0	15.2
TWJ	5,427	0.0496		4.8	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	64.8	26.8

Pm = 26.83 mm

Pe = 1.39 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 78.40  
CN = 76.41  
Tlag = 1.71 Horas  
102.90 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.25. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 25 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 09 FEB 2005

HORA	DIA	CAUDAL		TITIJONES			ARONDAYA		
		L/s	L/s	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>a</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>a</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO
				m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	02/09-9:00	27	617	97			2,171		
2	10	36	612	113	16	16			
3	11	77	608	203	106	122			
4	12	186	603	473	376	499	2,179	8	8
5	13	235	603	758	661	1,159	2,170	0	8
6	14	172	608	733	636	1,795	2,179	8	16
7	15	128	646	540	443	2,237	2,257	86	102
8	16	128	690	461	364	2,601	2,405	234	336
9	17	102	735	414	317	2,918	2,566	395	731
10	18	89	958	344	247	3,164	3,047	876	1,607
11	19	77	1,002	299	202	3,366	3,527	1,356	2,963
12	20	77	930	277	180	3,546	3,478	1,307	4,270
13	21	66	856	257	160	3,706	3,212	1,041	5,311
14	22	55	797	218	121	3,827	2,972	801	6,113
15	23	55	849	198	101	3,928	2,963	792	6,905
16	24	55	725	198	101	4,028	2,834	663	7,567
17	02/10-1:00	45	696	180	83		2,566	385	7,953
18	2	45	675	162	65		2,467	296	8,249
19	3	45	661	162	65		2,405	234	8,482
20	4	45	651	162	65		2,361	190	8,672
21	5	45	636	162	65		2,317	146	8,818
22	6	45	627	162			2,274	103	8,921
23	7	45	612	162			2,230	60	8,981
24	8	45	608	162			2,196	25	9,006
25	9	45	608	162					
26	10	36	603	146					
27	11	36	603						
Q PICO =		235	1,002	Volumen = 4,028			Volumen = 9,006		
Q BASE -TITIJONES =		27	L/s						
Q BASE -ARONDAYA =		603	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.03	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.05	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.04	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	5.0	0.5
TW4	66.502	0.5021		3.9	2.0
TAP	42.412	0.3202		2.8	0.9
TRINCH	11.117	0.0839		25.0	2.1
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	36.7	5.4

P<sub>m</sub> = 5.42 mm      P<sub>e</sub> = 0.03 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 22.86 mm  
CN = 91.74  
Tlag = 1.16 Horas  
69.54 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

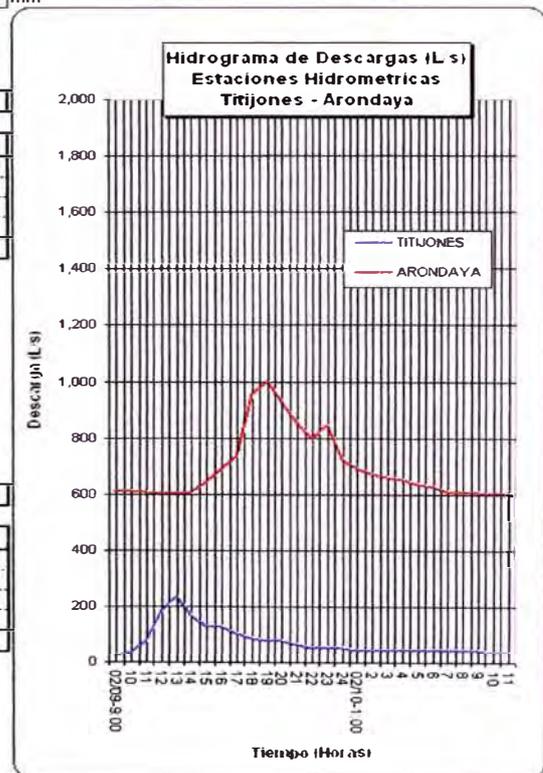
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	5.0	2.9
TRINCH	41.481	0.3793		25.0	9.5
TW4	5.427	0.0496		3.9	0.2
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	33.9	12.5

P<sub>m</sub> = 12.53 mm      P<sub>e</sub> = 0.05 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 54.65 mm  
CN = 82.29  
Tlag = 1.43 Horas  
85.79 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.26. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 26 de 33		CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :					FECHA : 19 FEB 2005		
HORA	DIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qt - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	02/19-4 00	551	1,363	1,984			5,202		
2	5	529	1,432	1,944					
3	6	573	1,426	1,984	0	0			
4	7	714	1,369	2,317	333	333			
5	8	739	1,357	2,615	632	965			
6	9	839	1,369	2,840	857	1,822			
7	10	971	1,445	3,258	1,274	3,096			
8	11	1,312	1,451	4,109	2,126	5,222	5,212	10	10
9	12	1,751	1,464	5,513	3,530	8,752	5,246	44	54
10	13	2,175	1,692	7,067	5,083	13,835	5,680	478	532
11	14	1,817	2,072	7,186	5,202	19,037	6,775	1,573	2,105
12	15	1,495	1,827	5,962	3,978	23,015	7,019	1,817	3,922
13	16	1,195	2,037	4,842	2,858	25,873	6,955	1,753	5,675
14	17	971	2,554	3,899	1,915	27,788	8,262	3,060	8,735
15	18	739	3,315	3,078	1,094	28,883	10,563	5,361	14,096
16	19	714	2,669	2,615	632	29,515	10,772	5,570	19,668
17	20	690	2,402	2,527	544	30,059	9,128	3,926	23,592
18	21	690	2,180	2,484	500	30,559	8,248	3,046	26,638
19	22	666	2,037	2,441	457	31,016	7,590	2,388	29,026
20	23	714	1,896	2,484	500	31,516	7,079	1,877	30,903
21	24	739	1,692	2,615	632	32,148	6,458	1,236	32,159
22	02/20-1 00	839	1,606	2,840			5,936	734	32,893
23	2	865	1,573	3,067			5,722	520	33,413
24	3	918	1,639	3,209			5,781	579	33,992
25	4	891	1,645	3,256			5,911	709	34,702
26	5	814	1,712	3,069			6,043	841	35,543
27	6	739	1,841				6,395	1,193	36,736
Q PICO =		2,175	3,315		Volumen =	32,148		Volumen =	36,736
Q BASE -TITIJONES =		551	L/s						
Q BASE -ARONDAYA =		1,445	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.24	mm
Pe Arundaya =	0.04	mm
Pe Total =	0.15	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16 080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12 405	0.0937	132.44	1.8	0.2
TWJ	66 502	0.5021		6.8	3.4
TAP	42 412	0.3202		2.8	0.9
TRINCH	11 117	0.0839		30.0	2.5
TOTAL =	132.44	1.0000		132.44	41.4

Pm = 7.00 mm Pe = 0.24 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 22.65 mm  
CN = 91.81  
Tlag = 1.16 Horas  
69.32 min

L = 18 630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

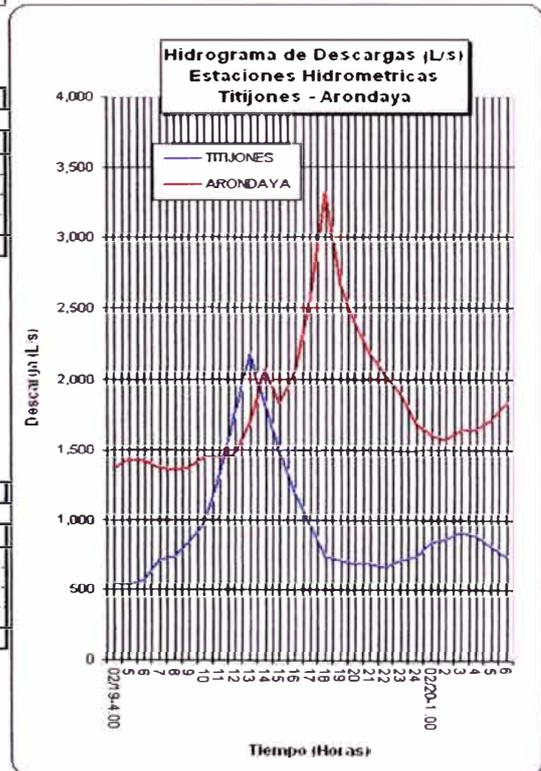
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62 460	0.5711	109.37	15.0	8.6
TRINCH	41 481	0.3793		30.0	11.4
TWJ	5 427	0.0496		6.8	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	51.8	20.3

Pm = 20.28 mm Pe = 0.04 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 91.51 mm  
CN = 73.51  
Tlag = 1.86 Horas  
111.83 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas.

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.27. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 27 de 33		CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :					FECHA : 20 FEB 2005			
HORA	DIA	TITIJONES		ARONDAYA		TITIJONES			ARONDAYA	
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	
		L/s	L/s	m <sup>3</sup>	(Qr - Qb) m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	(Qr - Qb) m <sup>3</sup>	ACUMULADO m <sup>3</sup>	
1	02/20-7:00	714	1.759	2.398				5.501		
2	8	739	1.773	2.615	218	218				
3	9	739	1.759	2.660	263	481				
4	10	714	1.820	2.615	218	698	6.443	942	942	
5	11	714	1.626	2.570	173	871	6.203	702	1.644	
6	12	739	1.528	2.615	218	1.089	5.676	175	1.819	
7	13	739	3.785	2.660	263	1.352	9.563	4.062	5.881	
8	14	714	10.349	2.615	218	1.570	25.442	19.941	25.822	
9	15	690	5.660	2.527	130	1.699	26.817	23.316	49.138	
10	16	690	3.961	2.484	86	1.786	17.318	11.817	60.956	
11	17	666	2.936	2.441	43	1.829	12.433	6.932	67.887	
12	18	666	2.364	2.398	0	1.829	9.559	4.058	71.945	
13	19	739	2.477	2.529	131		6.715	3.214	75.159	
14	20	865	2.290	2.887	490		8.582	3.081	78.240	
15	21	944	2.515	3.256	859		8.650	3.149	81.389	
16	22	1.053	2.180	3.595	1.197		8.452	2.951	84.341	
17	23	1.137	1.966	3.942	1.544		7.463	1.962	86.303	
18	24	1.195	2.253	4.198	1.800		7.595	2.094	88.397	
19	02/21-1:00	1.253	2.708	4.406	2.009		6.951			
20	2	1.312	2.417	4.617	2.219		9.725			
21	3	1.342	2.631	4.777	2.380		9.885			
22	4	1.312	2.747	4.777			9.688			
23	5	1.558	2.866	5.166			10.104			
24	6	1.402	3.027	5.328			10.607			
25	7	1.558	3.802	5.328			12.293			
26	8	1.884	3.526	6.196			13.191			
27	9	2.315	3.190				12.089			
Q PICO =		739	10.349	Volumen =		1.829	Volumen =		88.397	
● BASE - TITIJONES =		666	L/s							
○ BASE - ARONDAYA =		1.528	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

Pe Titijones =	0.01	mm
Pe Arundaya =	0.79	mm
Pe Total =	0.37	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
SLC	12.405	0.0937	132.44	17.6	1.6
TW4	66.502	0.5021		6.5	3.3
TAP	42.412	0.3202		16.5	5.3
TRINCH	11.117	0.0839		30.0	2.5
TOTAL =	132.44	1.0000		70.6	12.7

Pm = 12.71 mm Pe = 0.01 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 59.03 mm  
CN = 81.14  
Tlag = 1.71 Horas  
102.85 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

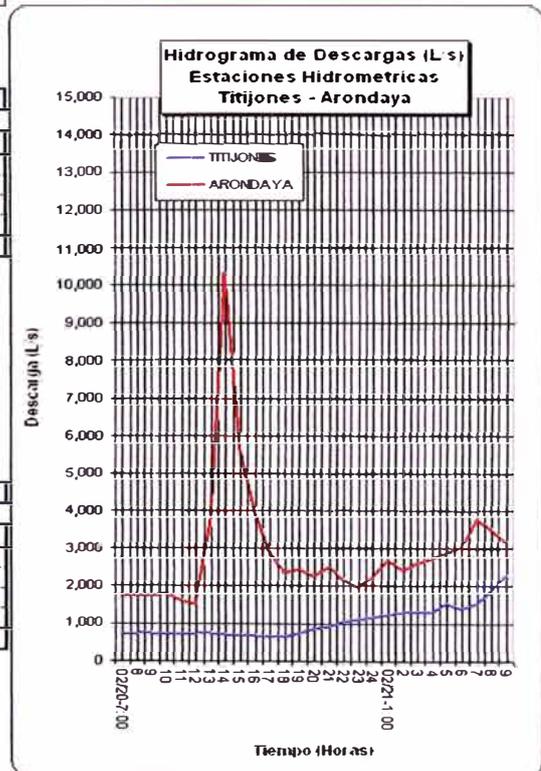
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	25.0	14.3
TRINCH	41.481	0.3793		30.0	11.4
TW4	5.427	0.0496		6.5	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000	61.5	26.0	

Pm = 25.98 mm Pe = 0.79 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 86.49  
CN = 74.60  
Tlag = 1.81 Horas  
108.45 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.28. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 28 de 33		CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :					FECHA : 21 FEB 2005		
HORA	OIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>x</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>x</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	02/21-7:00	1,558	2,960	4,511			10,656		
2	8	1,884	3,100	6,196	1,685	1,685			
3	9	2,315	3,190	7,568	3,047	4,732			
4	10	4,100	3,961	11,547	7,036	11,768	12,872	2,216	2,216
5	11	3,422	3,612	13,540	9,029	20,797	13,631	2,975	5,191
6	12	2,860	3,190	11,308	6,797	27,594	12,244	1,588	6,779
7	13	2,420	11,354	9,504	4,993	32,587	26,180	15,524	22,303
8	14	2,140	9,733	8,208	3,697	36,284	37,956	27,300	49,603
9	15	1,751	9,024	7,004	2,493	38,777	33,761	23,105	72,708
10	16	1,526	6,900	5,899	1,368	40,165	28,662	18,006	90,715
11	17	1,402	5,760	5,270	760	40,925	22,788	12,132	102,847
12	18	1,433	4,598	5,103	-592	41,517	18,644	7,988	110,836
13	19	1,621	4,140	5,497	986	42,503	15,727	5,071	115,907
14	20	1,495	4,230	5,689	1,098	43,601	15,865	4,409	120,316
15	21	1,372	10,459	5,161	650	44,251	26,441	15,785	136,101
16	22	1,253	8,791	4,725	214	44,465	34,651	23,995	160,096
17	23	1,195	8,106	4,406	-104		30,416	19,760	179,856
18	24	1,195	7,007	4,302	-209		27,204	16,548	196,404
19	02/22-1:00	1,195	4,975	4,302	-209		21,568	10,912	207,317
20	2	1,137	4,505	4,198	-313		17,065	6,409	213,725
21	3	1,025	4,321	3,892	-619		15,886	5,230	218,956
22	4	971	4,230	3,593			15,392	4,736	223,691
23	5	971	3,961	3,496			14,744	4,088	227,779
24	6	971	3,785	3,496			13,943	3,287	231,066
25	7	944	3,612	3,447			13,314	2,658	233,724
26	8	839	3,441	3,209			12,695	2,039	235,762
27	9	814	3,315				12,161	1,505	237,267
Q PICO =		4,100	11,354			Volumen = 44,465		Volumen = 237,267	
Q BASE - TITIJONES =		1,253	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		2,960	L/s						

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.34	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	1.76	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.98	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
SLC	12.405	0.0937	132.44	6.6	0.6
TW4	66.502	0.5021		1.6	0.8
TAP	42.412	0.3202		7.4	2.4
TRINCH	11.117	0.0839		30.0	2.5
TOTAL =	132.44	1.0000	132.44	45.6	6.3

P<sub>m</sub> = 6.31 mm      P<sub>e</sub> = 0.34 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 18.29 mm  
CN = 93.28  
T<sub>lag</sub> = 1.08 Horas  
64.86 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

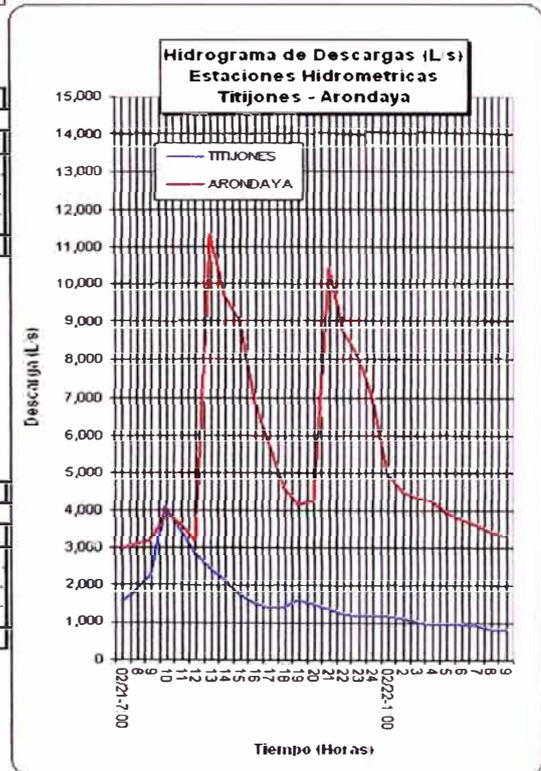
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi AT
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	15.0	8.6
TRINCH	41.481	0.3793		30.0	11.4
TW4	5.427	0.0496		1.6	0.1
TOTAL =	109.37	1.0000	109.37	46.6	20.0

P<sub>m</sub> = 20.02 mm      P<sub>e</sub> = 1.76 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 49.02  
CN = 83.82  
T<sub>lag</sub> = 1.36 Horas  
81.52 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

B1.29. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA

PAGINA : 29 de 33 | CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 25 FEB 2005

HORA	DIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA		
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO
		L/s	L/s	m³	m³	m³	m³	m³	m³
1	02/25-11:0	382	1.307	1.375			4.446		
2	10	402	1.301	1.411	36	36			
3	11	422	1.289	1.483	108	144			
4	12	443	1.265	1.557	182	326			
5	13	507	1.253	1.710	335	661			
6	14	551	1.247	1.904	529	1.190			
7	15	971	1.235	2.740	1.364	2.554			
8	16	1.053	1.235	3.643	2.268	4.822	4.444	-2	-2
9	17	1.195	1.247	4.046	2.671	7.493	4.466	20	19
10	18	1.224	1.307	4.354	2.979	10.472	4.597	151	170
11	19	1.224	1.419	4.406	3.031	13.504	4.908	462	632
12	20	1.224	1.445	4.406	3.031	16.535	5.155	709	1.341
13	21	1.137	1.966	4.250	2.875	19.409	6.139	1.693	3.034
14	22	1.025	2.037	3.892	2.516	21.926	7.204	2.758	5.792
15	23	918	2.108	3.497	2.122	24.048	7.460	3.014	8.806
16	24	739	2.072	2.983	1.607	26.655	7.524	3.078	11.885
17	02/26-1:00	666	2.051	2.529					
18	2	619	2.037	2.313	938	27.747	7.357	2.911	17.771
19	3	551	1.896	2.106	731	28.478	7.079	2.633	20.404
20	4	507	1.820	1.904	529	29.007	6.690	2.244	22.648
21	5	485	1.685	1.786	410	29.417	6.310	1.864	24.512
22	6	485	1.626	1.746			5.959	1.513	26.025
23	7	485	1.528	1.746			5.676	1.230	27.255
24	8	485	1.496	1.746			5.442	996	28.250
25	9	464	1.432	1.708			5.269	823	29.074
26	10	443	1.407	1.639			5.109	663	29.737
27	11	402	1.369				4.997	551	30.288
Q PICO =		1.224	2.108	Volumen = 29.117			Volumen = 30.288		
Q BASE - TITIJONES =		382	L/s						
Q BASE - ARONDAYA =		1.235	L/s						

CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.22	mm
Pe Arundaya =	0.01	mm
Pe Total =	0.13	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m Pendiente media de la cuenca

PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937	132.44	1.8	0.2
TW4	66.502	0.5021		6.9	3.4
TAP	42.412	0.3202		2.8	0.9
TRINCH	11.117	0.0839		40.0	3.4
TOTAL =	132.44	1.0000		51.4	7.8

Pm = 7.84 mm Pe = 0.22 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 26.49 mm  
CN = 90.56  
Tlag = 1.22 Horas  
73.16 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m Pendiente media de la cuenca

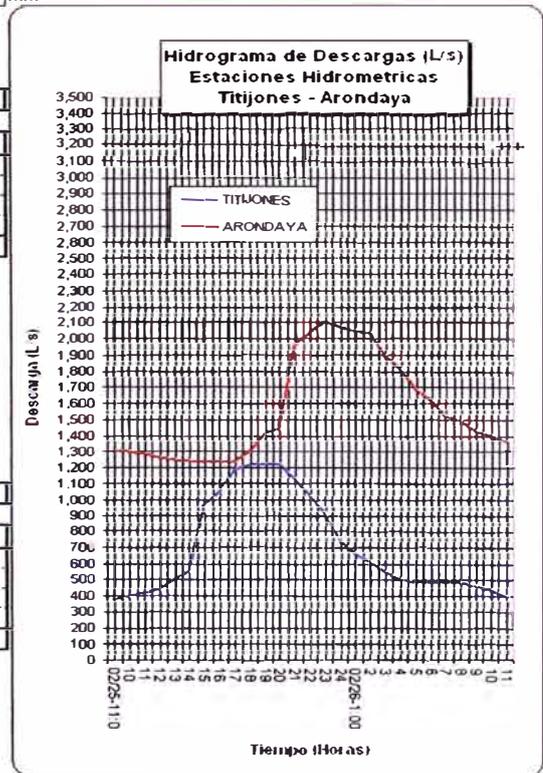
PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	15.0	8.6
TRINCH	41.481	0.3793		40.0	15.2
TW4	5.427	0.0496		6.8	0.3
TOTAL =	109.37	1.0000		61.8	24.1

Pm = 24.07 mm Pe = 0.01 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 115.56 mm  
CN = 68.73  
Tlag = 2.12 Horas  
127.47 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.30. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 30 de 33

CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :

FECHA : 10 MARZO 2005

HORA	DIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA			
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>u</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>u</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	
		L/s	L/s							m <sup>3</sup>
1	03/10-1.00	36	707	130			2,545			
2	13	36	730	130			2,587	42	42	
3	14	36	792	130			2,740	194	237	
4	15	36	811	130			2,885	340	576	
5	16	45	850	146	16	16	2,990	444	1,021	
6	17	55	924	180	50	67	3,194	649	1,669	
7	18	77	1,260	238	108	175	3,932	1,386	3,056	
8	19	77	1,215	277	148	322	4,455	1,910	4,966	
9	20	186	1,133	473	344	666	4,228	1,682	6,648	
10	21	288	1,053	853	724	1,390	3,936	1,391	8,039	
11	22	270	1,001	1,004	875	2,264	3,698	1,153	9,192	
12	23	235	965	909	779	3,044	3,539	994	10,186	
13	24	186	950	758	628	3,672	3,447	902	11,088	
14	03/11-1.00	186	919	670	540	4,212	3,365	819	11,907	
15	2	142	950	590	461	4,673	3,365	819	12,727	
16	3	128	1,001	486	356	5,029	3,512	967	13,693	
17	4	115	986	437	308	5,337	3,576	1,031	14,724	
18	5	102	950	391	261	5,598	3,484	939	15,663	
19	6	102	824	367	238	5,836	3,374	829	16,491	
20	7	89	899	344	214	6,050	3,283	738	17,229	
21	8	89	889	320	191	6,241	3,220	675	17,904	
22	9	77	870	299	169	6,410	3,166	621	18,525	
23	10	77	855	277	148	6,557	3,104	559	19,084	
24	11	66	830	257	128	6,685	3,033	488	19,572	
25	12	77	816	257			2,963			
26	13	102	806	322			2,920			
27	14	172	811				2,911			
<b>Q PICO =</b>		<b>288</b>	<b>1.260</b>	<b>Volumen =</b>			<b>6.685</b>	<b>Volumen =</b>		<b>19.572</b>
<b>Q BASE - TITIJONES =</b>		36	L/s							
<b>Q BASE - ARONDAYA =</b>		707	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.05	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.12	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.08	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m

Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
SLC	12.405	0.0937	132.44	9.4	0.9
TW4	66.502	0.5021		2.2	1.1
TAP	42.412	0.3202		8.1	2.6
TRINCH	11.117	0.0839		40.0	3.4
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>59.7</b>	<b>7.9</b>

P<sub>m</sub> = 7.94 mm

P<sub>e</sub> = 0.05 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 33.09 mm  
CN = 88.47  
Tlag = 1.33 Horas  
79.55 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m

Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

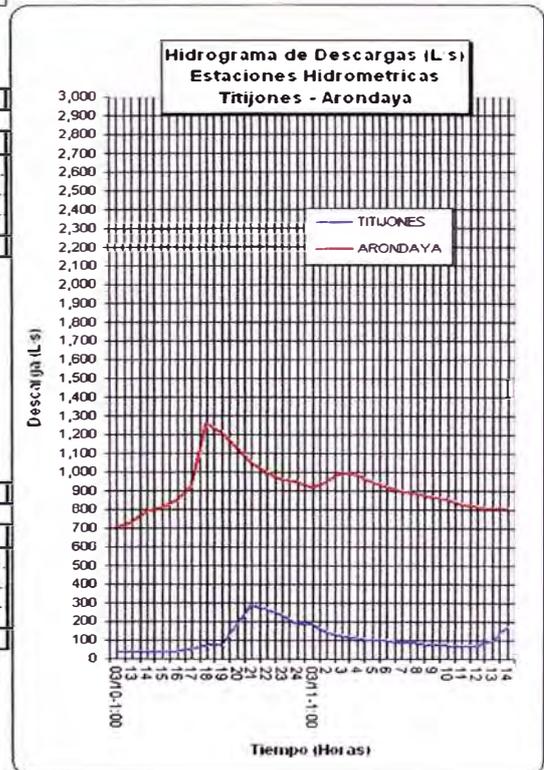
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	20.0	11.4
TRINCH	41.481	0.3793		40.0	15.2
TW4	5.427	0.0496		2.2	0.1
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>62.2</b>	<b>26.7</b>

P<sub>m</sub> = 26.70 mm

P<sub>e</sub> = 0.12 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 114.82 mm  
CN = 68.87  
Tlag = 2.12 Horas  
127.01 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuencas Medianas,

Caso: Cuenca del Rio Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.31. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 31 de 33      CÁLULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :      FECHA : 11 MARZO 2005

HORA	DIA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA			
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>u</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Q <sub>u</sub> - Q <sub>b</sub> )	VOLUMEN ACUMULADO	
		L/s	L/s	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	
1	03/11-12.0	77	816	277			2,902			
2	13	102	806	322	45	45				
3	14	172	811	493	216	261				
4	15	268	950	828	551	812	3,169	268	268	
5	16	402	1,188	1,242	965	1,777	3,848	946	1,214	
6	17	402	2,179	1,442	1,170	2,947	6,060	3,158	4,372	
7	18	382	1,935	1,411	1,134	4,081	7,405	4,503	8,875	
8	19	402	1,652	1,411	1,134	5,215	6,457	3,556	12,431	
9	20	464	1,531	1,559	1,282	6,496	5,731	2,829	15,260	
10	21	485	1,490	1,706	1,431	7,927	5,438	2,537	17,797	
11	22	422	1,385	1,633	1,355	9,283	5,174	2,273	20,070	
12	23	382	1,299	1,447	1,170	10,453	4,831	1,929	21,999	
13	24	324	1,226	1,271	994	11,446	4,546	1,644	23,643	
14	03/12-1.00	293	1,210	1,039	761	12,208	4,385	1,483	25,126	
15	2	235	1,215	878	601	12,809	4,365	1,463	26,590	
16	3	203	1,160	788	511	13,320	4,276	1,375	27,964	
17	4	172	1,123	675	398	13,718	4,109	1,208	29,172	
18	5	172	1,080	619	342	14,060	3,964	1,068	30,235	
19	6	157	1,043	592	315	14,375	3,821	919	31,154	
20	7	142	1,006	538	261	14,636	3,689	787	31,941	
21	8	128	966	486	209	14,845	3,586	684	32,625	
22	9	115	960	437	160	15,005	3,502	601	33,226	
23	10	102	940	391	113	15,118	3,419	518	33,744	
24	11	89	914	344	67	15,185	3,337	436	34,179	
25	12	77	899	299			3,265			
26	13	66	884	257			3,211			
27	14	20	865				3,148			
<b>Q PICO =</b>		<b>485</b>	<b>2,179</b>	<b>Volumen =</b>			<b>15,185</b>	<b>Volumen =</b>		<b>34,179</b>
<b>Q BASE -TITIJONES =</b>		77	L/s							
<b>Q BASE -ARONDAYA =</b>		806	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * P_e + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * P_e + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - P_e))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km <sup>2</sup>
A Arundaya =	109.37	Km <sup>2</sup>
A Total =	241.80	Km <sup>2</sup>

P <sub>e</sub> Titijones =	0.11	mm
P <sub>e</sub> Arundaya =	0.17	mm
P <sub>e</sub> Total =	0.14	mm

$$P_e = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

L = 16.080 Km  
So = 0.18210 m/m

Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
SLC	12.405	0.0937	132.44	4.4	0.4
TW4	66.502	0.5021		5.5	2.8
TAP	42.412	0.3202		4.7	1.5
TRINCH	11.117	0.0839		30.0	2.5
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>44.6</b>	<b>7.2</b>

P<sub>m</sub> = 7.20 mm

P<sub>e</sub> = 0.11 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 26.91 mm  
CN = 90.42  
T<sub>lag</sub> = 1.23 Horas  
73.57 min

L = 18.630 Km  
So = 0.3075 m/m

Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

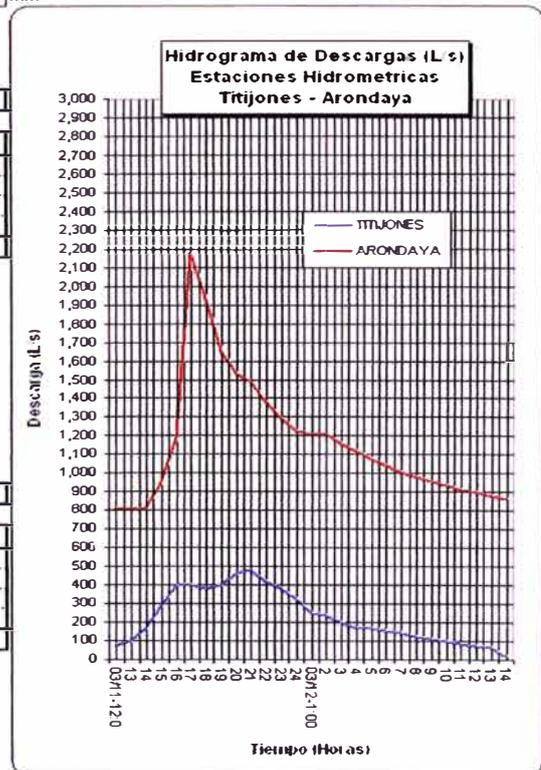
ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi A <sub>T</sub>
HIDRO	62.460	0.5711	109.37	15.0	8.6
TRINCH	41.481	0.3793		30.0	11.4
TW4	5.427	0.0496		5.5	0.3
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>50.5</b>	<b>20.2</b>

P<sub>m</sub> = 20.22 mm

P<sub>e</sub> = 0.17 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S = 81.80  
CN = 75.64  
T<sub>lag</sub> = 1.75 Horas  
105.25 min



**B1.32. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 32 de 33      **CÁLCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA :**      FECHA : 27 MARZO 2005

HORA	DÍA	TITIJONES		TITIJONES			ARONDAYA				
		CAUDAL		VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO	VOLUMEN	VOLUMEN (Qr - Qb)	VOLUMEN ACUMULADO		
		L/s	L/s							m³	m³
1	03/27-1:00	55	514	198			1,851				
2	15	77	514	238	40	40					
3	16	89	514	299	101	140					
4	17	128	535	391	193	333	1,889	37	37		
5	18	172	531	540	342	675	1,918	67	104		
6	19	186	535	644	446	1,121	1,918	67	171		
7	20	186	569	670	472	1,593	1,986	135	306		
8	21	186	577	670	472	2,065	2,062	211	516		
9	22	203	581	700	502	2,567	2,085	234	750		
10	23	253	620	821	623	3,190	2,163	311	1,061		
11	24	270	651	941	743	3,933	2,288	437	1,498		
12	03/28-1:00	253	669	941	743	4,676	2,376	524	2,023		
13	2	219	669	850	652	5,328	2,408	566	2,579		
14	3	203	673	760	562	5,890	2,416	565	3,144		
15	4	186	673	700	502	6,392	2,424	573	3,716		
16	5	157	673	617	419	6,811	2,424	573	4,289		
17	6	142	710	538	340	7,151	2,489	638	4,927		
18	7	128	710	486	288	7,439	2,554	703	5,630		
19	8	128	700	461	263	7,702	2,538	687	6,316		
20	9	115	687	437	239	7,942	2,497	646	6,962		
21	10	102	664	391	193	8,134	2,432	581	7,543		
22	11	102	651	367	169	8,303	2,368	516	8,059		
23	12	115	633	391	193	8,496	2,312	460	8,520		
24	13	115	607	414	216	8,712	2,233	381	8,901		
25	14	115	598	414			2,170				
26	15	102	573	391			2,108				
27	16	102	573				2,062				
<b>Q PICO =</b>		<b>270</b>	<b>710</b>	<b>Volumen =</b>			<b>8.712</b>	<b>Volumen =</b>			<b>8.901</b>
<b>Q BASE -TITIJONES =</b>		55	L/s								
<b>Q BASE -ARONDAYA =</b>		514	L/s								

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.07	mm
Pe Arundaya =	0.00	mm
Pe Total =	0.04	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

**L =** 16.080 Km  
**So =** 0.18210 m/m      Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12.405	0.0937		4.0	0.4
TW4	66.502	0.5021	132.44	5.1	2.6
TAP	42.412	0.3202		7.0	2.2
TRINCH	11.117	0.0839		30.0	2.5
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>46.1</b>	<b>7.7</b>

**Pm =** 7.70 mm      **Pe =** 0.07 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S =	31.15	mm
CN =	89.07	
Tlag =	1.29	Horas
	77.70	min

**L =** 18.630 Km  
**So =** 0.3075 m/m      Pendiente media de la cuenca

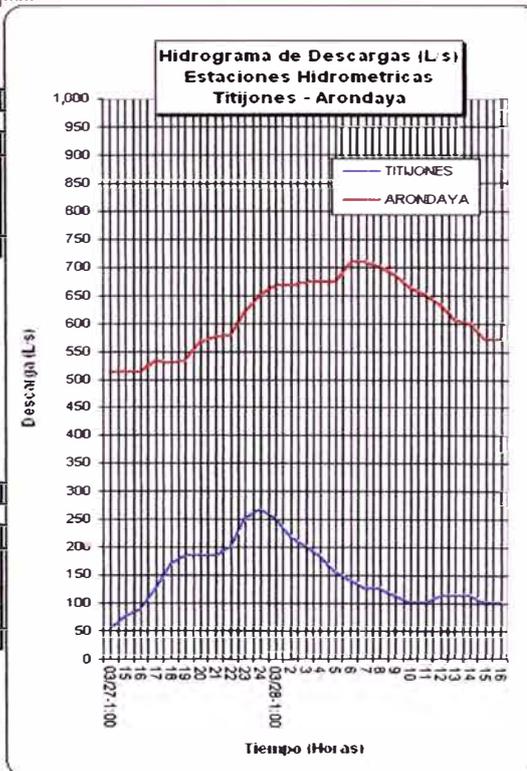
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62.460	0.5711		15.0	8.6
TRINCH	41.481	0.3793	109.37	30.0	11.4
TW4	5.427	0.0496		5.1	0.3
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>50.1</b>	<b>20.2</b>

**Pm =** 20.20 mm      **Pe =** 0.00 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

S =	98.92	
CN =	71.97	
Tlag =	1.95	Horas
	116.74	min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenca Mediana,

Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.33. CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

PAGINA : 33 de 33 | CÁLULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA : | FECHA : 29 MARZO 2005

HORA	DÍA	CAUDAL		VOLUMEN m³	TITIJONES			ARONDAYA		
		L/s	L/s		VOLUMEN (Qr - Qb) m³	VOLUMEN ACUMULADO m³	VOLUMEN m³	VOLUMEN (Qr - Qb) m³	VOLUMEN ACUMULADO m³	
1	03/27-1.00	66	535	238			1,881			
2	15	102	527	302	65	65				
3	16	115	523	391	153	218				
4	17	115	523	414	176	394	1,881	0	0	
5	18	115	523	414	176	571	1,881	0	0	
6	19	115	531	414	176	747	1,896	15	15	
7	20	128	564	437	200	947	1,971	90	105	
8	21	157	598	513	275	1,222	2,093	212	317	
9	22	186	642	617	380	1,602	2,233	352	669	
10	23	235	789	758	520	2,122	2,575	694	1,364	
11	24	253	856	878	641	2,763	2,960	1,079	2,443	
12	03/28-1.00	288	851	974	736	3,499	3,072	1,191	3,634	
13	2	288	1,050	1,037	799	4,298	3,422	1,541	5,174	
14	3	324	1,240	1,102	864	5,162	4,122	2,241	7,415	
15	4	343	1,520	1,201	963	6,125	4,968	3,087	10,502	
16	5	324	2,130	1,201	963	7,088	6,570	4,689	15,191	
17	6	288	1,440	1,102	864	7,952	6,426	4,545	19,736	
18	7	270	1,130	1,004	767	8,719	4,626	2,745	22,481	
19	8	253	960	941	704	9,423	3,762	1,881	24,362	
20	9	235	870	878	641	10,064	3,294	1,413	25,775	
21	10	219	841	817	580	10,643	3,080	1,199	26,974	
22	11	186	836	729	491	11,135	3,020	1,139	28,113	
23	12	172	812	644	407	11,542	2,968	1,087	29,200	
24	13	157	789	592	355	11,896	2,882	1,001	30,201	
25	14	172	770	592			2,805			
26	15	203	756	675			2,746			
27	16	253	742				2,696			
<b>Q PICO =</b>		<b>343</b>	<b>2.130</b>		<b>Volumen =</b>	<b>11.896</b>		<b>Volumen =</b>	<b>30.201</b>	
<b>Q BASE - TITIJONES =</b>		66	L/s							
<b>Q BASE - ARONDAYA =</b>		523	L/s							

**CALCULO DEL NUMERO DE CURVA (CN)**

De acuerdo al método de abstracciones del Soil Conservation Service:

$$Pe = \frac{P - 0.2 * S^2}{P + 0.8 * S}$$

$$S = \frac{-0.8 * Pe + 0.4 * P \pm \sqrt{0.8 * Pe + 0.4 * P^2 - 4 * 0.04 * (P * (P - Pe))}}{0.08}$$

Despejando el Valor de S, se tiene una formula en función de la precipitación Total y efectiva.

A Titijones =	132.44	Km²
A Arundaya =	109.37	Km²
A Total =	241.80	Km²

Pe Titijones =	0.09	mm
Pe Arundaya =	0.17	mm
Pe Total =	0.12	mm

$$Pe = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area Cuenca}} \text{ (mm)}$$

**L =** 16.080 Km  
**So =** 0.18210 m/m . Pendiente media de la cuenca

**PRECIPITACION PROMEDIO TITIJONES**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
SLC	12 405	0.0937		3.2	0.3
TW4	66 502	0.5021	132.44	8.5	4.3
TAP	42 412	0.3202		2.7	0.9
TRINCH	11 117	0.0839		30.0	2.5
<b>TOTAL =</b>	<b>132.44</b>	<b>1.0000</b>	<b>132.44</b>	<b>44.4</b>	<b>8.0</b>

**Pm =** 7.95 mm      **Pe =** 0.09 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

**S =** 31.16 mm  
**CN =** 89.07  
**Tlag =** 1.30 Horas  
77.70 min

**L =** 18.630 Km  
**So =** 0.3075 m/m . Pendiente media de la cuenca

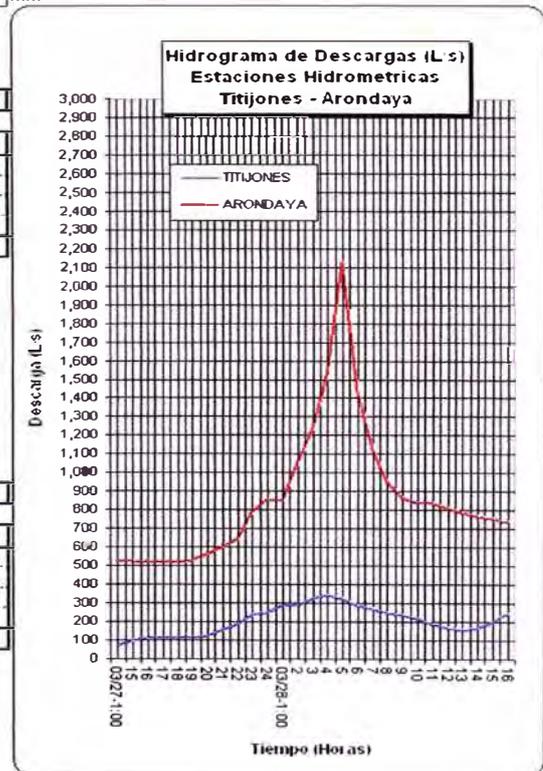
**PRECIPITACION PROMEDIO ARONDAYA**

ESTACION	AREA	%	ATOTAL	Pi	PixAi At
HIDRO	62 460	0.5711		15.0	8.6
TRINCH	41 481	0.3793	109.37	30.0	11.4
TW4	5 427	0.0496		8.5	0.4
<b>TOTAL =</b>	<b>109.37</b>	<b>1.0000</b>	<b>109.37</b>	<b>53.5</b>	<b>20.4</b>

**Pm =** 20.37 mm      **Pe =** 0.17 mm

$$CN = \left( \frac{25400}{S + 254} \right)$$

**S =** 82.80  
**CN =** 75.42  
**Tlag =** 1.77 Horas  
105.93 min



Influencia del Número de Curva (CN) en el Modelamiento Hidrológico de Descargas en Cuenca Mediana.

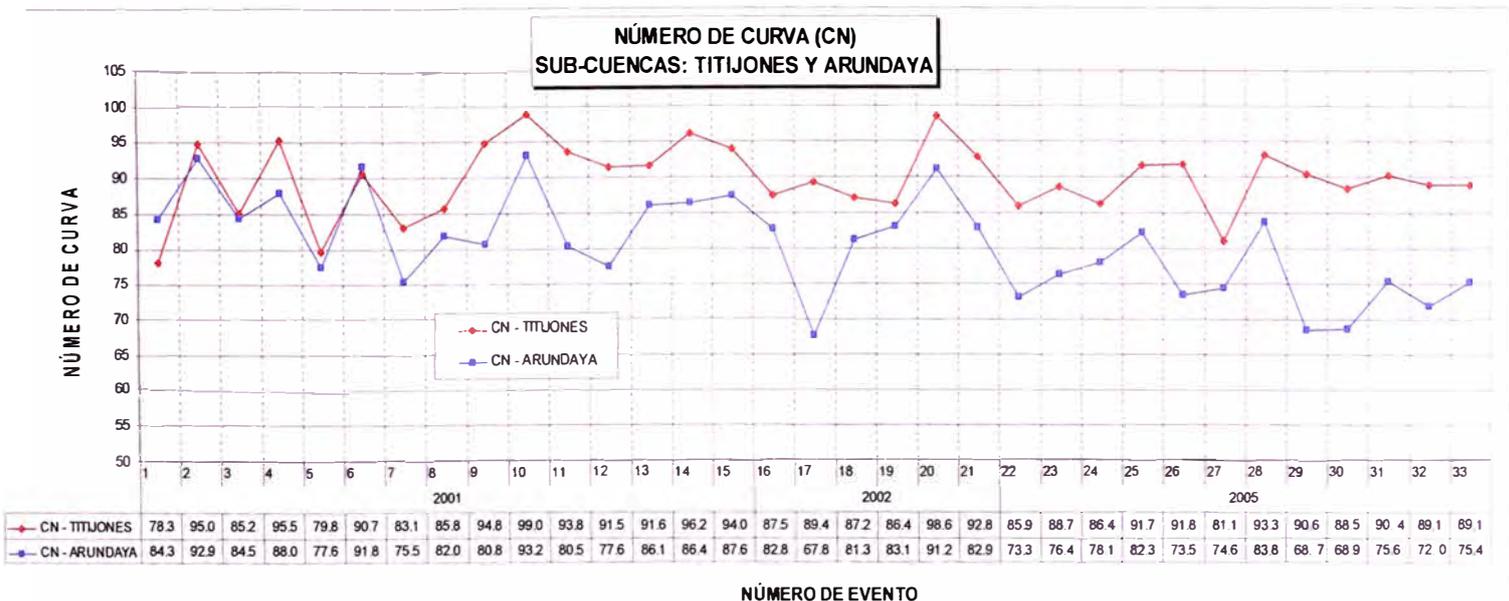
Caso: Cuenca del Río Torata

Néstor Emilio Choquehuanca Solórzano

**B1.34 RESUMEN DE CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON CAUDALES OBSERVADOS EN TITIJONES Y ARUNDAYA**

Evento Analizado	AÑO	Fecha	Curva Número		Tiempo de Retardo (Horas)	
			TITIJONES	ARUNDAYA	TITIJONES	ARUNDAYA
1	2001	03-Feb	78.34	84.26	1.87	1.34
2		04-Feb	94.97	92.86	1.00	0.95
3		09-Feb	85.20	84.50	1.50	1.33
4		20-Feb	95.46	88.00	0.97	1.17
5		24-Feb	79.77	77.62	1.79	1.65
6		25-Feb	90.68	91.78	1.21	1.00
7		27-Feb	83.12	75.54	1.61	1.76
8		02-Mar	85.80	82.01	1.46	1.44
9		05-Mar	94.83	80.76	1.00	1.50
10		08-Mar	98.98	93.20	0.79	0.94
11		09-Mar	93.80	80.47	1.05	1.52
12		11-Mar	91.50	77.55	1.17	1.66
13		17-Mar	91.64	86.14	1.16	1.25
14		18-Mar	96.21	86.44	0.93	1.24
15		20-Mar	94.02	87.57	1.04	1.19
16	2002	03-Feb	87.47	82.82	1.38	1.41
17		04-Feb	89.37	67.77	1.28	2.18
18		05-Feb	87.21	81.33	1.39	1.48
19		10-Feb	86.38	83.08	1.43	1.39
20		17-Feb	98.63	91.22	0.81	1.03
21	21-Mar	92.84	82.93	1.10	1.40	
22	2005	08-Ene	85.95	73.25	1.46	1.88
23		09-Ene	88.70	76.41	1.31	1.71
24		10-Ene	86.40	78.12	1.43	1.63
25		09-Feb	91.74	82.29	1.16	1.43
26		19-Feb	91.81	73.51	1.16	1.26
27		20-Feb	81.14	74.60	1.71	1.81
28		21-Feb	93.28	83.82	1.08	1.36
29		25-Feb	90.56	68.73	1.22	2.12
30		10-Mar	88.47	68.87	1.33	2.12
31		11-Mar	90.42	75.64	1.23	1.75
32		27-Mar	89.07	71.97	1.29	1.95
33		29-Mar	89.07	75.42	1.30	1.77

**B1.35 GRÁFICO DE RANGO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN CUENCAS ARUNDAYA Y TITIJONES CON CAUDALES OBSERVADOS**



**B1.36 CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (CN) CON MÉTODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)**

**CURVA NÚMERO EN FUNCIÓN DEL USO DEL SUELO Y GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO**

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegetación de ríos - Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, en condiciones óptimas, cubierta > 75%		39	61	74	80
Áreas abiertas, césped, parques, en condiciones aceptables entre el 50% y 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales (85% impermeable)		89	92	94	95
Áreas industriales (72% impermeable)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
505.8 m <sup>2</sup>	65%	77	85	90	92
1011.6 m <sup>2</sup>	38%	61	75	83	87
1348.9 m <sup>2</sup>	30%	57	72	81	86
2023.5 m <sup>2</sup>	25%	54	70	80	85
4046.9 m <sup>2</sup>	20%	51	68	79	84
Pavimento, techos, accesos etc		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimento con cunetas y alcantarillado	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)}$$

Condiciones Húmedas CN(III)  
Condiciones Normales CN(II)  
Condiciones Secas CN(I)

$$CN(I) = \frac{4.2 * CN(II)}{10 - 0.058 * CN(II)}$$

Lluvias en los 05 días previos al cálculo	
Condiciones Medias	Menos de 0.5" (1.27 cm)
Condiciones Secas	Entre 0.5" (1.27 cm) a 1.5" (3.81 cm)
Condiciones Húmedas	Más de 1.5" (3.81 cm)

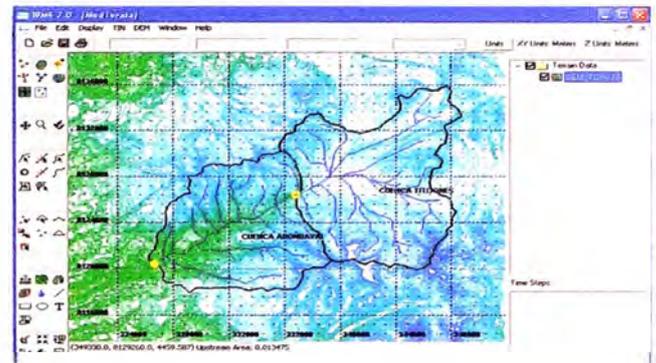
**CUADRO RESUMEN DE CURVAS NÚMERO**

CUENCA	CN(II)	CN(III)	CN(I)	Tag CN(II)	Tag CN(III)
ARUNDAYA	81.1	90.8	64.3	62.69	89.16
TITLIONES	86.1	93.4	72.2	64.38	86.94

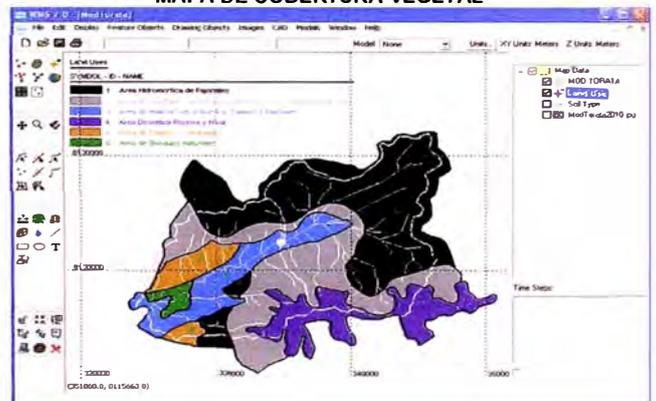
CUENCA ARUNDAYA	CN(II)	CN(III)	CN(I)	Tag CN(II)	Tag CN(III)
B-1	73.2	86.3	53.4	74.81	112.82
B-2	66.8	82.2	45.8	85.96	134.16
B-3	64.8	80.9	43.6	89.75	141.35
B-4	76.8	88.4	58.2	69.09	101.73
B-5	83.8	92.2	68.5	58.87	81.58
B-6	80.6	90.5	63.6	63.41	90.59
B-7	82.5	91.6	66.4	60.69	85.21
B-8	88.1	94.5	75.7	53.08	69.87
B-9	80.5	90.5	63.4	63.55	90.89
B-10	89.5	95.1	78.2	51.26	66.13
B-19	90.4	95.6	79.8	50.10	63.74
B-20	90.8	95.8	80.6	49.59	62.68
B-21	90.4	95.6	79.8	50.10	63.74
B-22	84.4	92.6	69.4	58.04	79.92
B-23	85.9	93.3	71.9	56.00	75.81
B-24	80.4	90.4	63.3	63.70	91.17
B-25	80.5	90.5	63.4	63.55	90.88

CUENCA TITLIONES	CN(II)	CN(III)	CN(I)	Tag CN(II)	Tag CN(III)
B-0	84.4	92.6	69.4	67.05	92.32
B-11	82.1	91.3	65.8	70.76	99.72
B-12	79.8	90.1	62.4	74.59	107.31
B-13	86.1	93.4	72.2	64.38	86.94
B-14	85.9	93.3	71.9	64.69	87.57
B-15	90.1	95.4	79.3	58.32	74.55
B-16	92.0	96.4	82.8	55.53	68.75
B-17	93.1	96.9	85.0	53.95	65.41
B-18	92.4	96.5	83.6	54.96	67.54

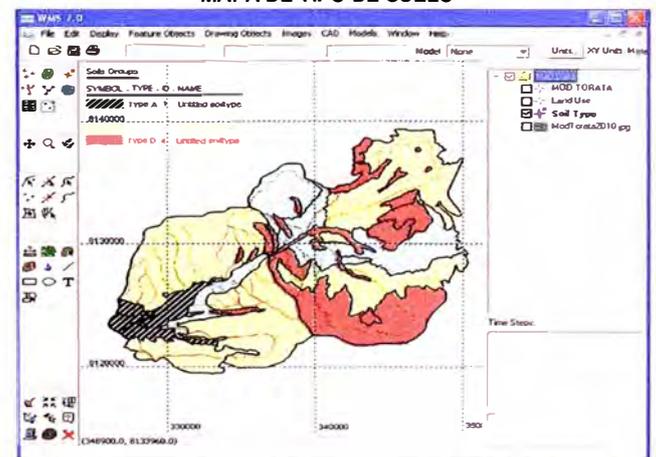
**MODELO DE ELEVACION DIGITAL (DEM)**



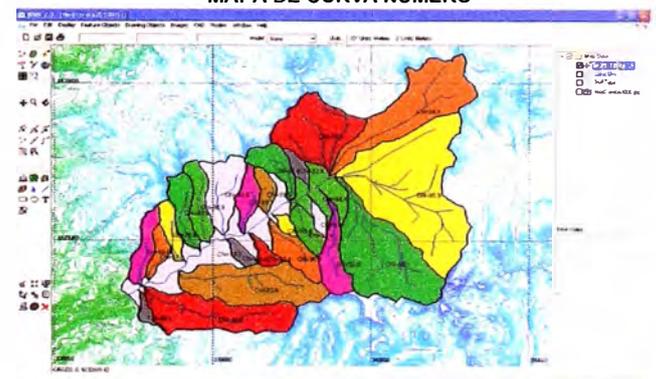
**MAPA DE COBERTURA VEGETAL**



**MAPA DE TIPO DE SUELO**



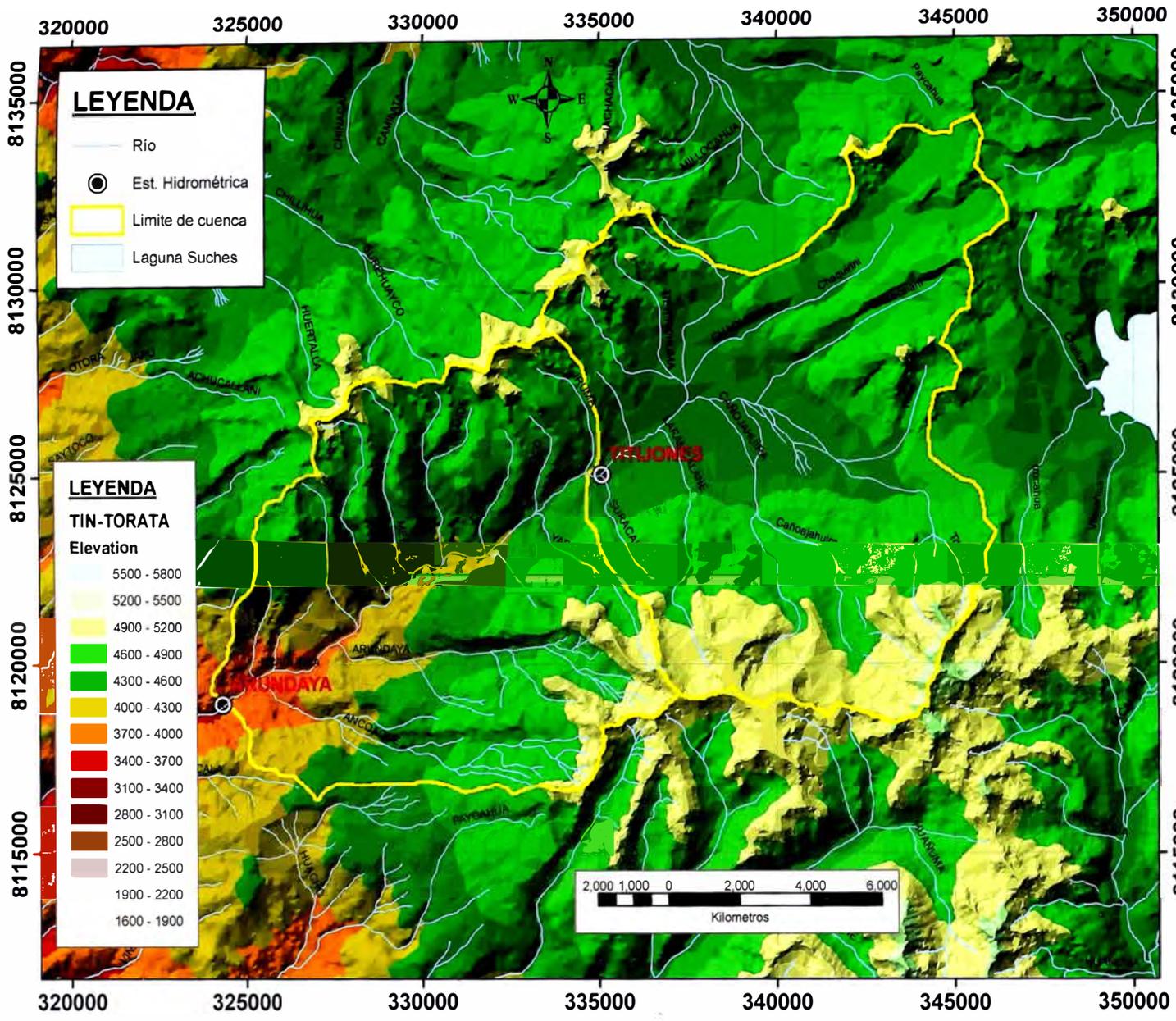
**MAPA DE CURVA NÚMERO**



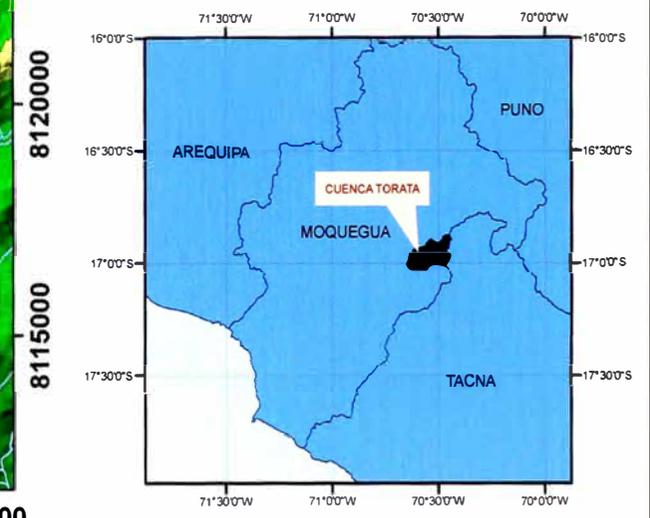
## ANEXO C

### MAPAS TEMATICOS

- **C-1: CUENCAS HIDROGRAFICAS (CH-01)**
- **C-2: ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS (EH-01)**
- **C-3: MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (ME-01)**
- **C-4: PLANO ECOLOGICO-COBERTURA VEGETAL (PE-01)**
- **C-5: PLANO GEOLÓGICO (PG-01)**
- **C-6: PLANO DE COBERTURA VEGETAL DEL ÁREA DE ESTUDIO (CV-01)**
- **C-7: PLANO TIPO DE SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO (TS-01)**
- **C-8: PLANO DE NÚMERO DE CURVA (CN-01)**



**UBICACION GEOGRÁFICA**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G.

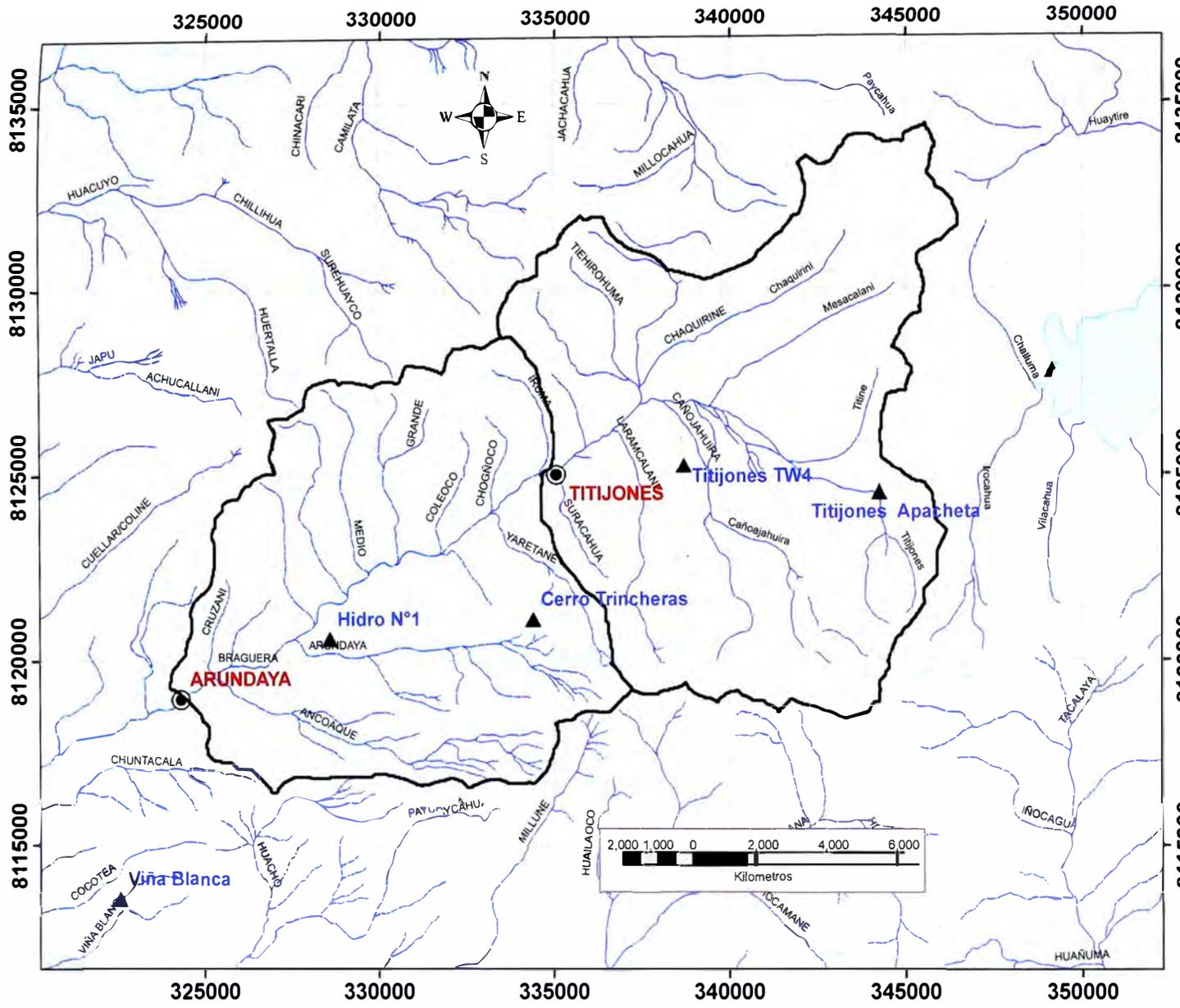
"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL  
MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS,  
CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"

ESCALA  
GRÁFICA INDICAOA  
FECHA  
JULIO 2010  
HOJA  
C-1  
ARCHIVO  
CH-01 V-04 PDF

CODIGO:  
**CH-01**

DISEÑADO N.C.H.S. DIBUJADO N.C.H.S.

TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO  
PLANO: DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

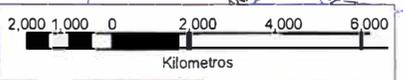


**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



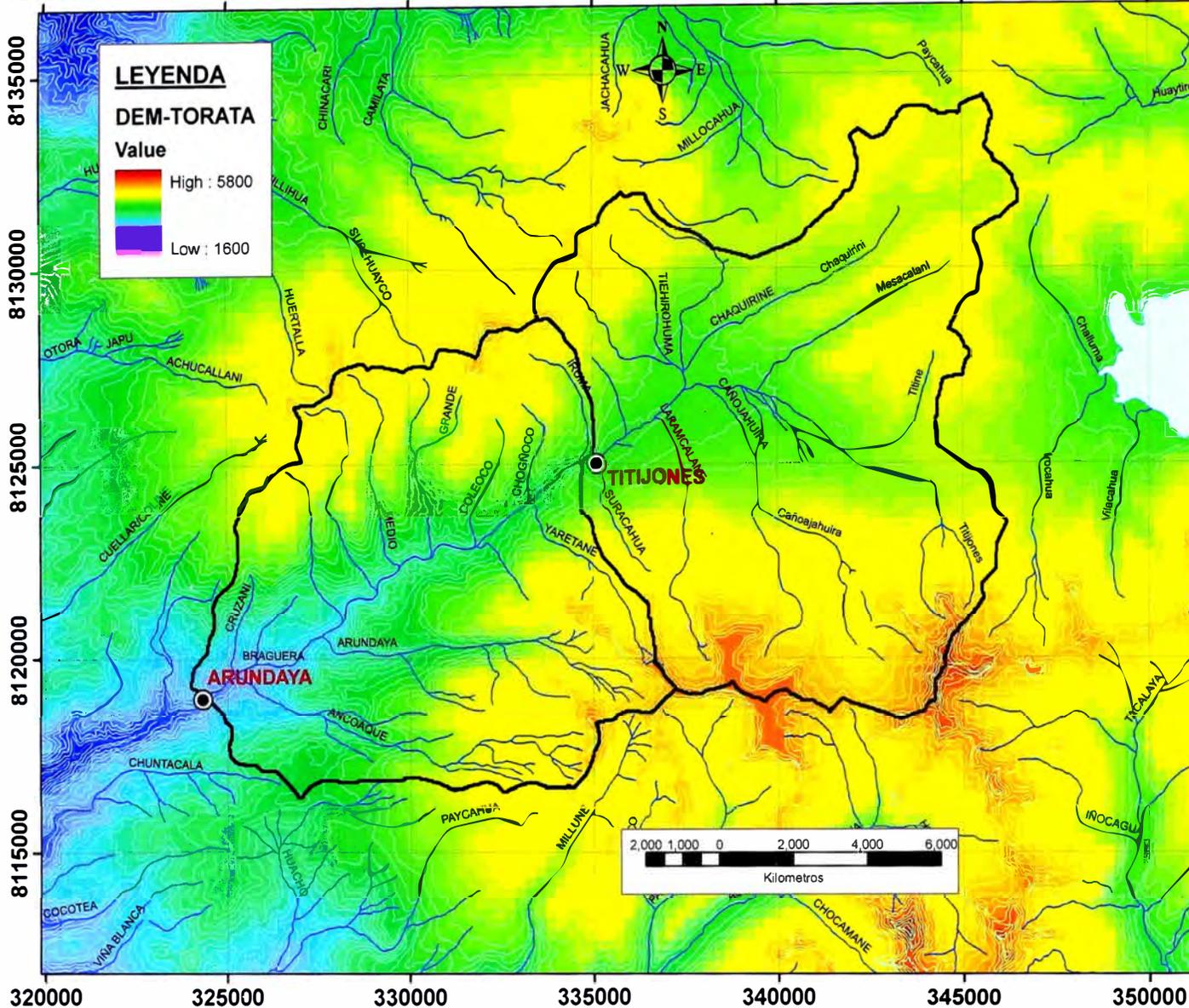
**LEYENDA**

- Limite de cuenca
- Laguna Suches
- Est. Hidrométrica
- EST. Meteorológico
- Curvas de Nivel
- Río



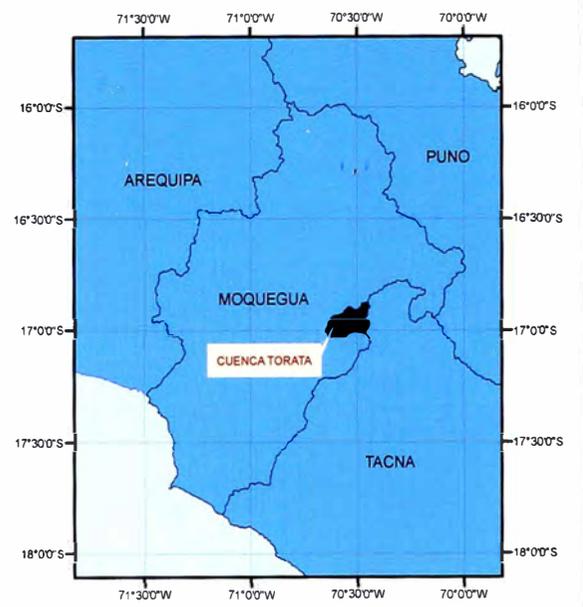
 <p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</p>	REVISADO Y APROBADO R.H.G.	<p align="center"><b>"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS, CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"</b></p>	ESCALA GRÁFICA INDICADA	CODIGO: <b>EH-01</b>
	DISEÑADO N.C.H.S.    DIBUJADO N.C.H.S.		TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	
		PLANO: ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS	ARCHIVO: EH-01 V.04 PDF	

32000 32500 33000 33500 34000 34500 35000



**LEYENDA**  
**DEM-TORATA**  
 Value  
 High : 5800  
 Low : 1600

**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**LEYENDA**

- Est. Hidrométrica
- ▭ Limite de cuenca
- ▭ Laguna Suches
- Río
- Curvas de Nivel

32000 32500 33000 33500 34000 34500 35000



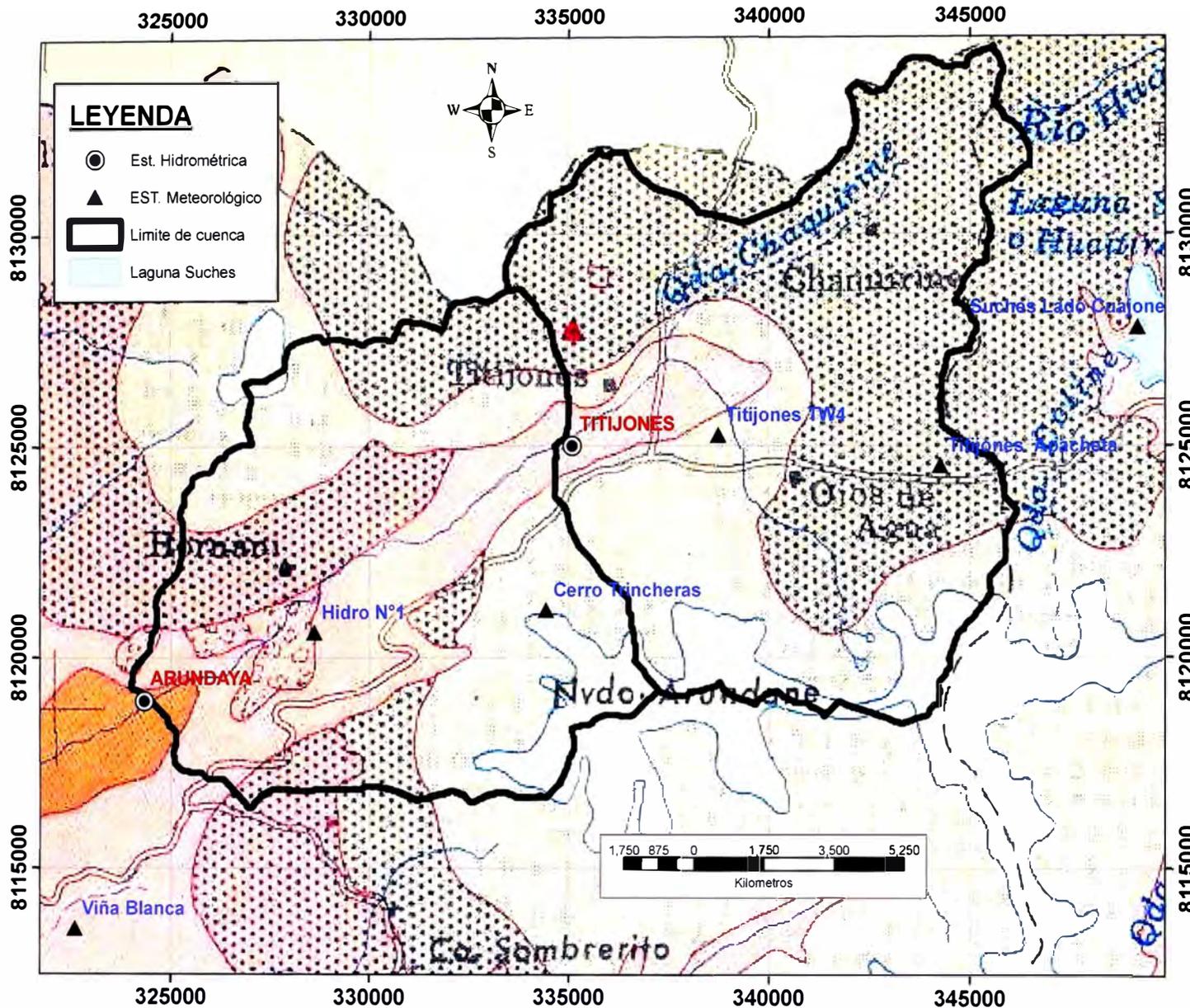
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G	
DISEÑADO N.C.H.S	DIBUJADO N.C.H.S

"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS, CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"	
TEMA:	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO
PLANO:	MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)

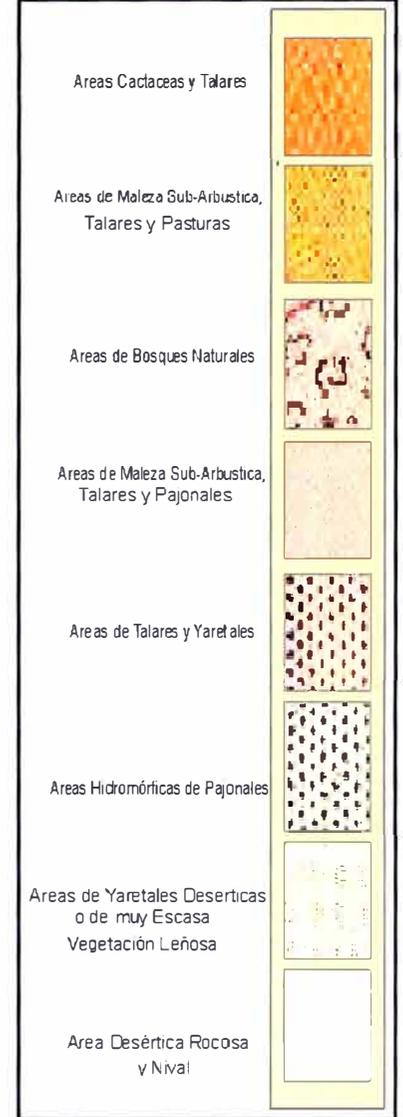
ESCALA GRÁFICA INDICADA	CODIGO:
FECHA JULIO 2010	
HOJA C-3	
ARCHIVO ME-01 V.04.PDF	

**ME-01**



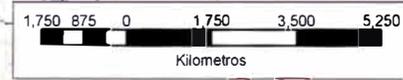
**LEYENDA**

**AREAS DE COBERTURA VEGETAL**



**LEYENDA**

- Est. Hidrométrica
- ▲ EST. Meteorológico
- ▭ Limite de cuenca
- ▭ Laguna Suches



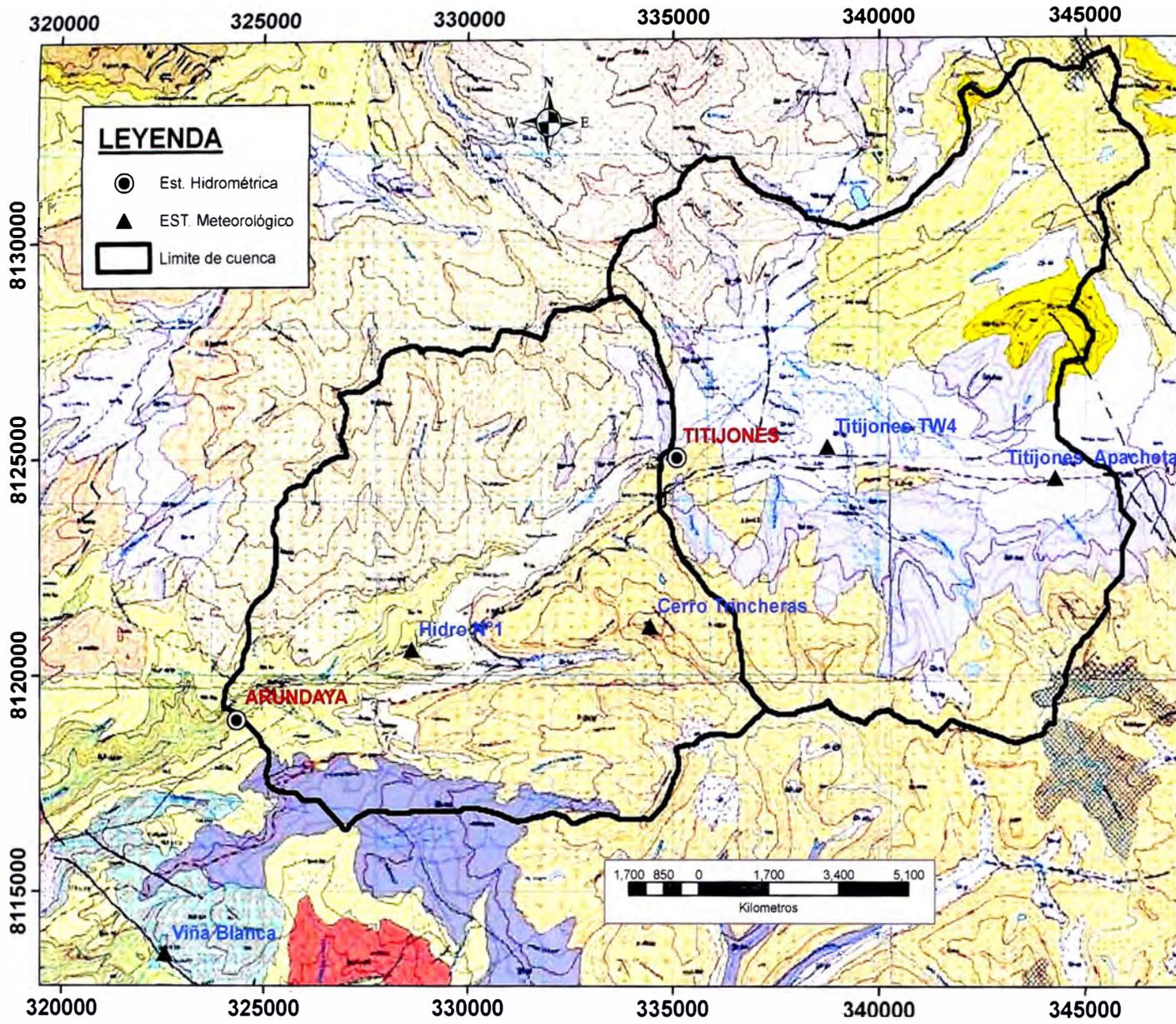
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO		R.H.G
DISEÑADO	DIBUJADO	PLANO:
N.C.H.S	N.C.H.S	ECOLOGICO - COBERTURA VEGETAL

"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS, CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"	
TEMA:	MODELAMIENTO HIDROLOGICO

ESCALA	GRÁFICA INDICADA
FECHA	JULIO 2010
HOJA	C-4
ARCHIVO	PE-01 V-04 PDF

CODIGO:  
**PE-01**



**LEYENDA**

- Est. Hidrométrica
- ▲ EST. Meteorológico
- ▭ Limite de cuenca

**LEYENDA**  
**UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA**

- NQ-me/bf  
Complejo volcánico Suches, Andecitas Vesiculares
- Nm-hu  
Fm. Huayllas, Piroclásticos de bloques y clastos, toba riolíticas y andesitas
- N-ca  
Fm. Capillune, Piroclastos de arena, cenización estratos laminar y tobas líticas.
- Qh-mo  
Morrenas: Bloques y clastos volcánicos dispuestos caóticamente en matriz arenosa
- Qh-fg  
Depósitos Fluvioglaciares: de bloques y clastos con matriz arcillosa dispuesta caóticamente.
- Qpl-mo  
Morrena: Bloques y clastos volcánicos dispuestos caóticamente en matriz limo arenosa.
- KsP-sa/an  
Grupo Toquepala, lavas porfíricas, gris claro, macizas se interceptan en flujos piroclásticos soldados.
- KsP-ya/di  
Lavas porfíricas, blanco amarillento estratificadas.
- Qh-bo  
Pantano (bofedal): Suelos sub y sobresaturados de agua.
- NQ-su/ap  
Grupo Barroso, complejo volcánico y estratos volcánicos de andesita porfírica.



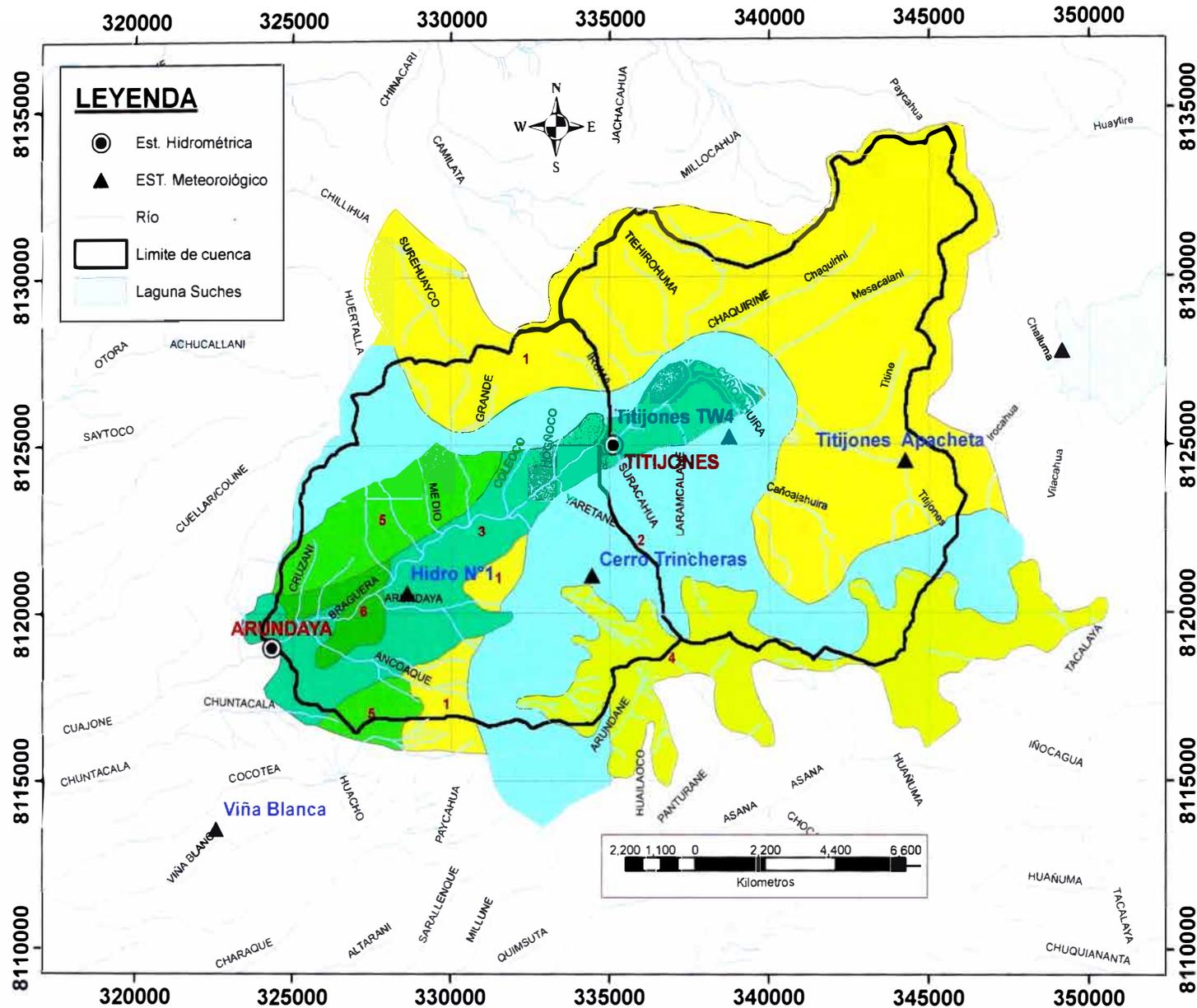
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G.  
DISEÑADO N.CH.S. DIBUJADO N.CH.S.

"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL MODELAMIENTO HIDROLOGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS, CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"  
TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO  
PLANO: GEOLÓGICO

ESCALA GRÁFICA INDICADA  
FECHA: JULIO 2010  
HOJA: C-5  
ARCHIVO: PG-01 V-04 PDF

**PG-01**



# LEYENDA

## ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL

Áreas Hidromórficas de Pajnales (1)	
Áreas de Yaretales Desérticas (2) o de muy Escasa Vegetación Leñosa	
Área de Maleza Sub-Arbustica, (3) Talares y Pasturas	
Áreas Desérticas Rocosa y Nival (4)	
Áreas de Talares y Yaretales (5)	
Áreas de Bosques Naturales (6)	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G

"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL  
MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS,  
CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"

ESCALA  
GRÁFICA INDICADA  
FECHA  
JULIO 2010

CODIGO:

**CV-01**

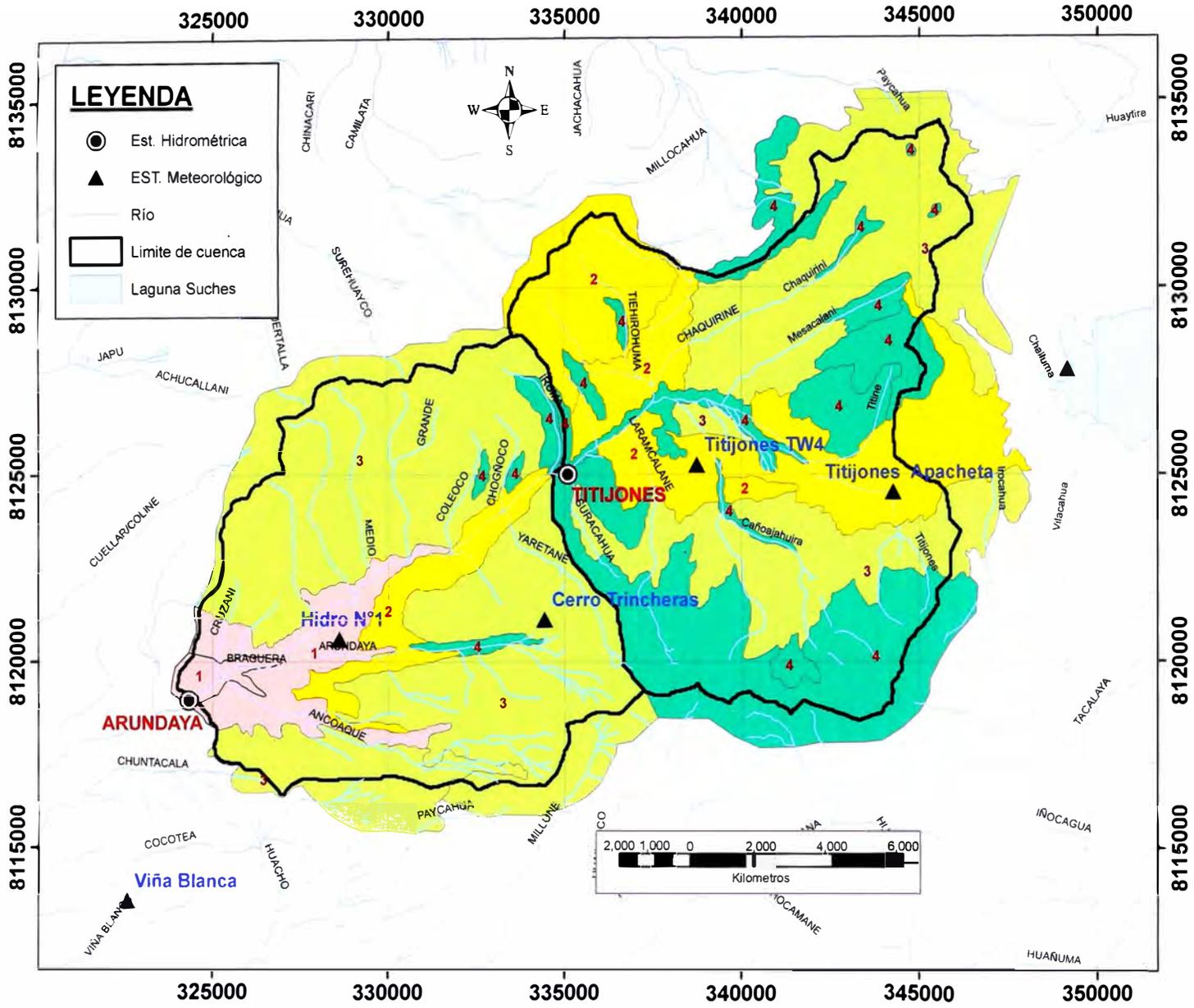
TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

HOJA C-6

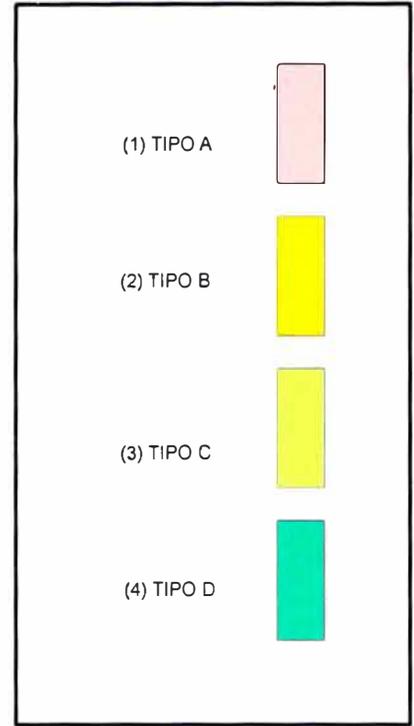
DISEÑADO N.CH.S DIBUJADO N.CH.S

PLANO: COBERTURA VEGETAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

ARCHIVO CV-01\_V-04.PDF



**LEYENDA**  
TIPO DE SUELO - GRUPO HIDROLÓGICO



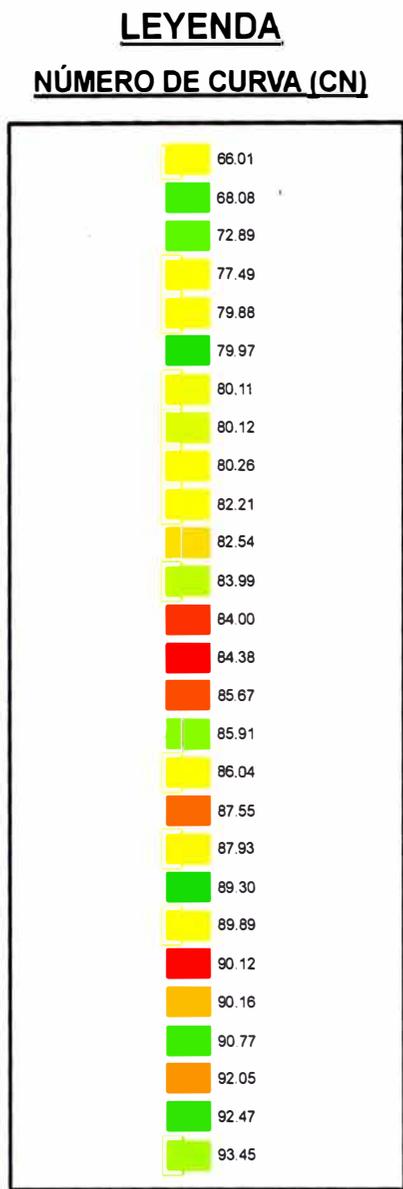
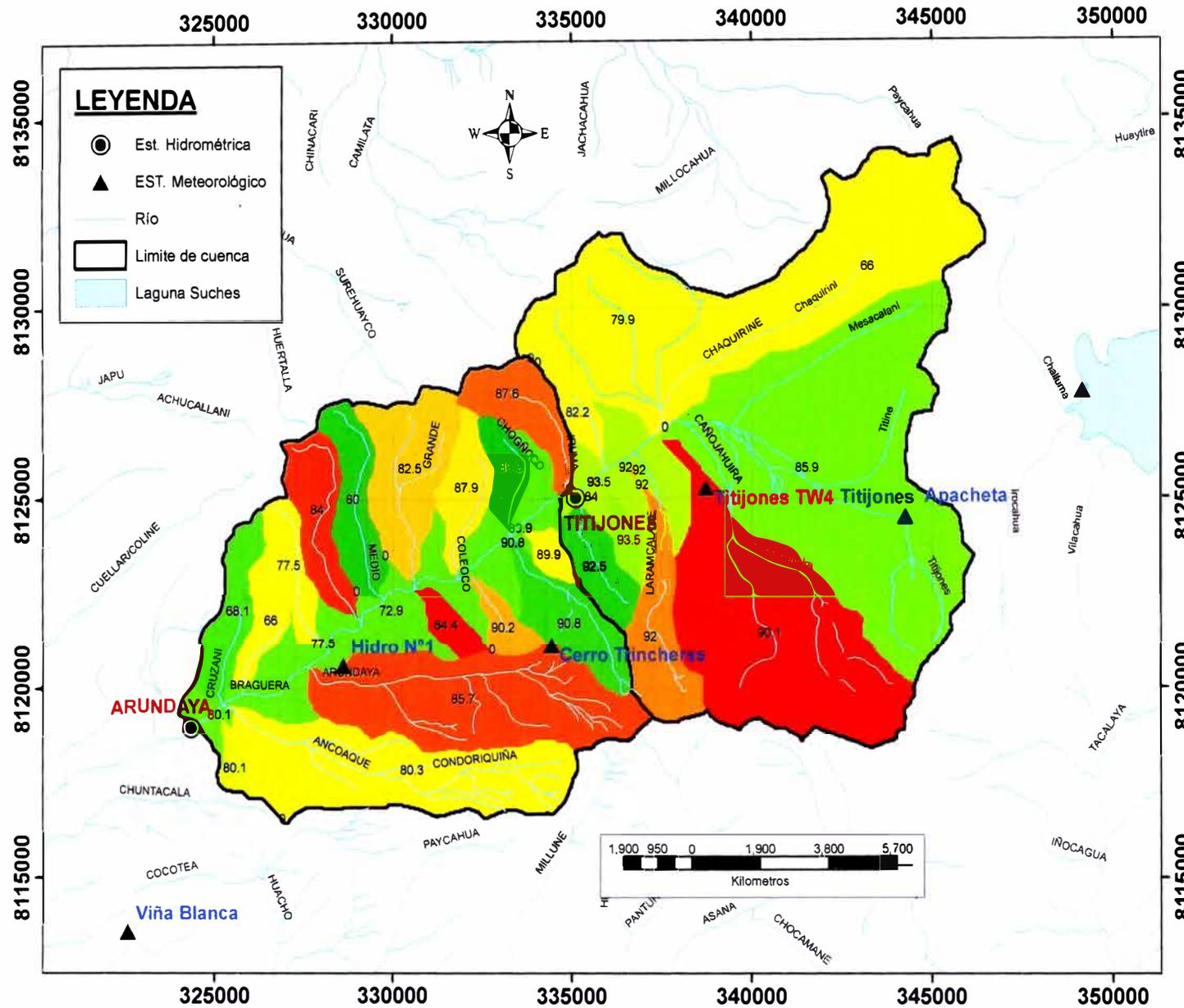
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G.  
DISEÑADO N.C.H.S. DIBUJADO N.C.H.S.

**"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS, CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"**  
TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO  
PLANO: TIPO DE SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO

ESCALA GRÁFICA INDICADA  
FECHA JULIO 2010  
HOJA C-7  
ARCHIVO TS-01 V-04 PDF

CODIGO: **TS-01**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

REVISADO Y APROBADO R.H.G.  
  
DISEÑADO N.C.H.S. DIBUJADO N.C.H.S.

**"INFLUENCIA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) EN EL  
MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE DESCARGAS EN CUENCAS MEDIANAS,  
CASO: CUENCA DEL RÍO TORATA"**

TEMA: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO  
PLANO: NÚMERO DE CURVA

ESCALA: GRÁFICA INDICADA  
FECHA: JULIO 2010  
HOJA: C-8  
ARCHIVO: NC-01\_V-04.PDF

CODIGO:  
**NC-01**