



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN

Monografía Para optar al Título de Ingeniero Civil

**CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE DRENAJE PLUVIAL
DEL SECTOR ESTE DEL RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO DE LA
UNAN – MANAGUA, UTILIZANDO EL SOFTWARE EPA SWMM.**

Autores:

Br. Kevin Alexander Méndez Sequeira 17-04526-5

Br. Lesmar Aniel Urbina Díaz 17-04527-6

Br. Holman Manuel Hernández Castillo 17-04564-0

Tutor:

MSc. Oswaldo Ramón Balmaceda

Master en Gestión Ambiental

Asesor:

MSc. Héctor Mayorga Pauth

Master en hidrología y gestión de recursos hídricos

Managua, Nicaragua, Enero 2022.

Dedicatoria

Dedico este trabajo que supone la culminación de muchos años de estudio, primeramente, a Dios por ser lo más importante y por nunca abandonarme en los momentos más tristes y felices de mi vida, seguidamente a mis padres que tanto amo (Anselmo y Guillermina) por ser las personas que me impulsan a seguir adelante, a quien siempre estaré agradecido por hacer de mí la persona que soy hoy en día, a mis hermanos y sobrinos porque tengo la suerte de crecer rodeado de todos ellos, donde cada uno de los miembros de mi familia tiene un lugar muy importante en mi vida y en mi corazón.

Br. Kevin Alexander Méndez Sequeira

Dedicatoria

En primer lugar, a nuestro señor Dios todo poderoso, por haberme dado la vida, gozar de salud y permitirme dar un paso en mi formación académica.

A mis padres: Ana Castillo Mairena y Héctor Manuel Hernández por su apoyo incondicional, por guiarme, aconsejarme, educarme y motivarme a salir adelante en mis estudios.

A la memoria de mi primo Erick Mena Castillo quien en vida fue una de las personas que más amó y quiso a mis padres, considerado un hijo más para ellos. Siempre quiso verme crecer profesionalmente.

Br. Holman Manuel Hernández Castillo

Dedicatoria

Primeramente, a Dios nuestro señor por haberme permitido terminar con éxito esta etapa de mi vida, a mis padres María Díaz y Lesly Urbina quienes con su apoyo incondicional son parte de esta meta cumplida, que me motivan a seguir adelante siempre por el camino correcto, a mi familia, mis hermanos que de una u otra manera mostraron sus formas de cariño y buenos deseos para que el día de hoy pueda finalizar esta etapa.

Br. Lesmar Aniel Urbina Díaz

Agradecimientos

Agradezco este logro, primeramente, a Dios quien es el ser que me dio la vida, por darme salud y bienestar en cada momento, por brindarme la fortaleza mental para sobrellevar cualquier dificultad que se presentara en mis años de estudio y por estar a mi lado a cada minuto de mi vida.

Seguidamente agradezco a mis padres Anselmo y Guillermina por ser pilares fundamentales en mi vida, que con sacrificio, amor y voluntad siempre estuvieron presentes para mí y por ser los responsables de hacer de mí un hombre de valores y temeroso de Dios.

Agradezco a mis hermanos Javier, Dunia, Tania, Noel, Álvaro, Jorge y Claudia y a todos mis sobrinos, porque sin mis hermanos no hubiese podido terminar mis estudios, ya que cada uno de ellos de una u otra manera ayudaron tanto en mi formación académica como en mi lección de vida.

Agradezco también a los Ingenieros Oswaldo Balmaceda (Tutor) y Héctor Mayorga (Asesor) porque compartieron sus conocimientos durante mi formación profesional en la UNAN – Managua y me brindaron su ayuda en la modalidad de graduación dedicando tiempo para servirme como tutores en el proceso de Monografía.

Br. Kevin Alexander Méndez Sequeira

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar todas mis metas.

A mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino.

A mis maestros: MSc. Oswaldo Ramón Balmaceda y MSc. Héctor Mayorga Pauth, por su disposición y apoyo en la realización de este trabajo y por compartir su conocimiento en nuestra formación como profesionales.

A mis amigos y familiares que estuvieron siempre conmigo, motivándome y apoyándome a lo largo de estos años.

Br. Holman Manuel Hernández Castillo

Agradecimientos

A Dios todo poderoso, por darme salud, fuerzas, sabiduría y guiarme por el camino correcto, porque me ha acompañado cada segundo de mi vida y sobre todo haberme dado una familia hermosa que ha estado cuando más los he necesitado, a Dios toda la gloria.

A mis padres María Díaz y Lesly Urbina, por darme su confianza y apoyo incondicional durante mi vida y en especial a lo largo de estos 5 años de estudios universitarios, quienes con su amor, paciencia y comprensión me dieron cada consejo y me inculcaron valores para que el día de hoy sea una persona de bien.

A mis maestros, MSc Oswaldo Ramón Balmaceda y MSc Héctor Mayorga Pauth, quienes compartieron su conocimiento durante mi formación académica y sobre todo mostraron su disposición y tiempo para ser mis tutores en este trabajo monográfico.

Br. Lesmar Aniel Urbina Díaz



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Construcción

AVAL DEL TUTOR

Por este medio hago del conocimiento los bachilleres:

| | |
|----------------------------------|--------------------|
| Kevin Alexander Méndez Sequeira | Carnet: 17-04526-5 |
| Lesmar Aniel Urbina Díaz | Carnet: 17-04527-6 |
| Holman Manuel Hernández Castillo | Carnet: 17-04564-0 |

Estudiante de la carrera de: Ingeniería Civil, han culminado su monografía con gran satisfacción, el cual lleva por título:

“Construcción y calibración de un modelo de drenaje pluvial del sector este del recinto universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua, utilizando el software EPA SWMM.”.

Por tanto, estoy avalando el presente trabajo para que sea asignado el jurado calificador y sea revisado, y así estimen sus consideraciones pertinentes mediante dictamen para su respectiva corrección, y posteriormente realización de la pre defensa y defensa.

Sin más que mencionar, extendiendo el presente aval a los 28 días, del mes de Enero del año 2022.

Atentamente:

Ing. Oswaldo Ramón Balmaceda

OBSERVACIONES DEL JURADO CALIFICADOR EN LA PRE DEFENSA

Observación numero 1:

A lo largo del documento de tesis enfocarse en la lluvia de calibración y no en la de diseño. “El enfoque se realizó a lo largo del documento especialmente en las conclusiones (Página 94)”.

Observación numero 2:

Agregar los resultados de textura de suelo al documento.
“En la imagen 21 de los anexos se añadió los resultados de textura del suelo realizadas en el Laboratorio de Edafología de la UNI”.

Observación numero 3:

Utilizar un numero de curva de 88 para las subcuencas de los campos de Béisbol.
“Debido a las aproximaciones del suelo se definió un Número de Curva de 88 a la subcuenca de los campos de Béisbol”.

Observación numero 4:

Mencionar la saturación del suelo en la parte procedimental del método de Porchet.
“En la fundamentación teórica se indica la saturación del suelo que se tuvo que realizar antes del ensayo de infiltración que se ejecutó en campo (Página 14)”.

Observación numero 5:

Agregar a las recomendaciones la propuesta de implementar pozos de infiltración en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua.
“En la recomendación número 1 se propone la implementación de pozos de infiltración en el Recinto, esto debido a la extensión y capacidad de permeabilidad de la UNAN - Managua (Página 95)”.

Glosario

Agua pluvial: Son las aguas provenientes de las lluvias y que escurren superficialmente por el terreno.

Aguas superficiales: Son aquellas que se encuentran sobre la superficie del planeta. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.

Calibración: Es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados.

Canal: en ingeniería se denomina canal a una construcción destinada al transporte del fluido generalmente utilizada para agua y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmosfera.

Caudal: Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Cuenca hidrográfica: Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

Drenaje pluvial: el drenaje pluvial analiza los componen las estructuras de techo, canales aéreos y sobre el suelo, bajantes, cajas de registro pluvial, rejillas de drenaje y tuberías PVC que forman parte de la red de drenaje en la planta.

Escurrimiento: Se define escurrimiento, como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Infiltración: La infiltración representa otro componente de estimación hidrológica y puede definirse como el proceso por el cual el agua superficial entra por el suelo. Es el proceso a través del cual el riego o agua de lluvia, ingresa al suelo a través de la superficie, hacia sus capas inferiores, en forma vertical y horizontal.

Intensidad: Tanto en redes unitarias como en separativas es imprescindible realizar un estudio previo acerca del caudal de aguas blancas que va a soportar la red. Para ello se hace imprescindible tratar la intensidad de lluvia.

Inundación: Las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse. Así mismo su impacto se incrementa debido a razones antropomórficas, como la reducción de los coeficientes de infiltración por cambios de uso del suelo, el calentamiento global y el asentamiento de poblaciones en las áreas de inundación.

Métodos de infiltración: Existen métodos clásicos para determinar la velocidad de infiltración del suelo.

Modelación Hidráulica: Es la construcción digital (virtual) de una red de drenaje pluvial, que permite reproducir y prever el comportamiento de la misma, para poder realizar pruebas y definir soluciones.

Pluviógrafo: Registra la precipitación pluvial total. Este aparato mide la intensidad de la precipitación en mm por unidad de tiempo (generalmente hora). Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj.

Pluviómetro: Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 200cm² de área de captación y de 60cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica a un vaso medidor instalado dentro del depósito mayor. El área receptora es 10 veces mayor que el área del vaso medidor.

Precipitación: En meteorología, la precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo. Esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente se forman, que caen a la Tierra por gravedad.

Red de drenaje: La red de drenaje se refiere a la red natural de transporte gravitacional de agua, sedimentos o contaminantes formados por un fluido.

Resumen

La presente investigación monográfica tiene como finalidad la construcción y calibración de un modelo de drenaje pluvial del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua, se construyó un Modelo Hidrológico de la red de drenaje, utilizando software de gestión de aguas pluviales EPA SWMM, el cual permite simular eventos hidrológicos y obtener resultados que pueden ser calibrados y corroborados, los cuales pueden ser utilizados posteriormente en proyectos o investigaciones.

Para la construcción del modelo es necesario tener definida la red de drenaje y las características topográficas que la componen, de igual manera las características de los conductos, parámetros de impermeabilidad, entre otros, así mismo la tasa de infiltración que se determinó por el método de infiltración de Horton, Green Ampt y Número de Curva.

La calibración del modelo se hizo utilizando la lluvia registrada el día 14 de octubre del 2021, la cual fue aforada en dos puntos estratégicos del Recinto Universitario Rubén Darío de secciones uniformes, en estas secciones se midieron los caudales de referencia, para después hacer la comparación y ajustes con los caudales que registra el modelo de EPA SWMM.

Utilizando los valores referenciales del coeficiente de Nash-Sutcliffe se encontró que los resultados de referencia o medidos en el área de estudio, para el primer aforo se ajustan con un coeficiente en un rango Bueno, mientras que para el segundo aforo se ajusta de manera Satisfactoria respecto a los resultados que simula el modelo de EPA SWMM.

CONTENIDO

CAPITULO I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS.

| | |
|---|-----------|
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2 Antecedentes..... | 2 |
| 1.3 Planteamiento del problema | 4 |
| 1.4 Justificación..... | 5 |
| 1.5 Objetivos de investigación..... | 6 |
| 1.5.1 Objetivo general: | 6 |
| 1.5.2 Objetivos específicos: | 6 |
| 2.1. Fundamentación teórica..... | 8 |
| 2.1.1 Calibración de Modelos Hidráulicos | 8 |
| 2.1.2 Modelación hidráulica de drenaje pluvial | 8 |
| 2.1.3 Storm Water Management Model EPA SWMM | 8 |
| 2.1.3.1 Características Del Modelo Hidrológico | 9 |
| 2.1.3.2 Aplicaciones típicas de SWMM..... | 9 |
| 2.1.3.3 Datos de entrada | 10 |
| 2.1.4 Delimitación de una cuenca hidrográfica | 10 |
| 2.1.5 Cuenca de aguas pluviales | 11 |
| 2.1.6 Red de drenaje..... | 12 |
| 2.1.7 Ensayo de infiltración por el método de Porchet | 14 |
| 2.1.8 Medición de caudales por medio del Aforo de caudales | 15 |
| 2.1.9 Hietograma unitario..... | 15 |
| 2.1.10 Plan de análisis y procesamiento de datos | 16 |
| 2.1.10.1 Nash-Sutcliffe (NSE) | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2. Datos..... | 17 |
| 2.2.1 Lluvia de calibración..... | 17 |
| 2.2.2 Tirantes y caudales medidos por medio de aforos | 19 |
| 2.2.3 Propiedades de las subcuencas..... | 24 |
| 2.2.4 Aportaciones de los nodos de la red de drenaje | 24 |
| 2.2.5 Propiedades de los conductos que forman parte de la red de drenaje | 24 |
| 2.3. Métodos..... | 24 |
| 2.3.1 Métodos de infiltración utilizados..... | 24 |
| 2.3.1.1 Método de Horton..... | 24 |
| 2.3.1.2 Método de Green Ampt..... | 25 |
| 2.3.1.3 Método de Número de Curva | 26 |
| 2.4 Hipótesis O Preguntas Directrices..... | 27 |
| 3.1 Tipo de investigación | 29 |
| 3.2 Métodos e instrumentos de recolección de datos | 29 |
| 3.3 Método de procesamiento de datos. | 30 |
| 4.1 Resultados..... | 33 |
| 4.1.1 Caracterización del estado de la red de drenaje del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío. | 33 |
| 4.1.2 Levantamiento topográfico de la red de drenaje. | 35 |
| 4.1.3 Tasa de infiltración mínima y máxima aplicando los métodos de infiltración de Horton, Green Ampt y Número de Curva. | 36 |
| 4.1.3.1 Método de infiltración de Horton..... | 36 |
| 4.1.3.2 Método de infiltración de Green Ampt..... | 49 |
| 4.1.3.3 Método de infiltración de Número de Curva | 55 |
| 4.1.4 Modelo de drenaje pluvial utilizando el Software EPA-SWMM..... | 71 |

| | |
|---|----|
| 4.1.5 Calibración del modelo de drenaje pluvial | 74 |
| 5.1. Conclusiones | 94 |
| 5.2 Recomendaciones | 95 |
| 5.3 Referencias Bibliográficas..... | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Ilustración 2.1 Red de drenaje en función de su descarga | 13 |
| Ilustración 2.2 Precipitación e intensidad de la lluvia de calibración..... | 18 |
| Ilustración 2.3 Hietograma unitario correspondiente a la lluvia de calibración | 34 |
| Ilustración 4.1 Subcuencas de drenaje para la zona 3..... | 34 |
| Ilustración 4.2 Ajuste de curva de infiltración para la zona del campo de Béisbol..... | 39 |
| Ilustración 4.3 Ajuste de curva de infiltración para la zona del POLISAL | 42 |
| Ilustración 4.4 Ajuste de curva de infiltración para la zona del Pabellón 46..... | 45 |
| Ilustración 4.5 Ajuste de curva de infiltración para la zona de la Biblioteca | 48 |
| Ilustración 4.6 Precipitación neta de la zona del campo de Béisbol..... | 58 |
| Ilustración 4.7 Precipitación neta de la zona del POLISAL | 62 |
| Ilustración 4.8 Precipitación neta de la zona del Pabellón 46..... | 66 |
| Ilustración 4.9 Precipitación neta de la zona de la Biblioteca | 70 |
| Ilustración 4.10 Esquema de la red de drenaje | 72 |
| Ilustración 4.11 Impermeabilidad de la red de drenaje | 73 |
| Ilustración 4.12 Caudales del aforo 1 por el método de Horton..... | 77 |
| Ilustración 4.13 Caudales del aforo 2 por el método de Horton..... | 80 |
| Ilustración 4.14 Caudales del aforo 1 por el método de Green Ampt..... | 83 |
| Ilustración 4.15 Caudales del aforo 2 por el método de Green Ampt..... | 86 |
| Ilustración 4.16 Caudales del aforo 1 por el método de Número de Curva | 89 |
| Ilustración 4.17 Caudales del aforo 2 por el método de Número de Curva | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Clasificación de una cuenca por su tamaño..... | 11 |
| Tabla 2.2 Índice de compacidad de Gravelius | 12 |
| Tabla 2.3 Valores referenciales del coeficiente de Nash-Sutcliffe | 17 |
| Tabla 2.4 Precipitación en intervalos de tiempo a cada 10 minutos | 18 |
| Tabla 2.5 Caudales medidos del aforo número 1 | 20 |
| Tabla 2.6 Caudales medidos del aforo número 2..... | 22 |
| Tabla 4.1 Elevaciones de los nodos de la Red de drenaje..... | 35 |
| Tabla 4.2 Mediciones de la prueba de infiltración contiguo al campo de Béisbol | 37 |
| Tabla 4.3 Ajuste de la curva de infiltración del campo de Béisbol | 38 |
| Tabla 4.4 Mediciones de la prueba de infiltración del costado Sureste del POLISAL | 40 |
| Tabla 4.5 Ajuste de la curva de infiltración del costado Sureste del POLISAL | 41 |
| Tabla 4.6 Mediciones de la prueba de infiltración del costado Este del Pabellón 46 .. | 43 |
| Tabla 4.7 Ajuste de la curva de infiltración del costado Este del Pabellón 46 | 44 |
| Tabla 4.8 Mediciones de la prueba de infiltración costado Sureste de la Biblioteca... | 46 |
| Tabla 4.9 Ajuste de la curva de infiltración del costado Sureste de la Biblioteca | 47 |
| Tabla 4.10 Tasa de infiltración del suelo del costado Este del POLISAL | 51 |
| Tabla 4.11 Tasa de infiltración del suelo del costado Este del pabellón 46 | 53 |
| Tabla 4.12 Precipitación neta y abstracciones para la zona de los campos de Béisbol | 55 |
| Tabla 4.13 Precipitación neta y abstracciones para la zona del POLISAL..... | 59 |
| Tabla 4.14 Precipitación neta y abstracciones para la zona del Pabellón 46 | 63 |
| Tabla 4.15 Precipitación neta y abstracciones para la zona de la Biblioteca | 67 |
| Tabla 4.16 Ajuste del aforo 1 por el método de Horton | 74 |
| Tabla 4.17 Ajuste del aforo 2 por el método de Horton | 77 |
| Tabla 4.18 Ajuste del aforo 1 por el método de Green Ampt | 80 |
| Tabla 4.19 Ajuste del aforo 2 por el método de Green Ampt | 83 |
| Tabla 4.20 Ajuste del aforo 1 por el método de Número de Curva..... | 86 |
| Tabla 4.21 Ajuste del aforo 2 por el método de Número de Curva..... | 89 |

ANEXOS

| | |
|--|------------|
| Anexo 1. Parámetro de infiltración del Green Ampt | 99 |
| Anexo 2. Humedad inicial del suelo por su textura | 99 |
| Anexo 3. Secciones geométricas de los canales..... | 100 |
| Anexo 4. Clasificación del suelo por su textura..... | 100 |
| Anexo 5. Coeficiente n de Manning para escorrentía en conductos cerrados..... | 101 |
| Anexo 6. Coeficiente n de Manning para flujo en canales abiertos | 101 |
| Anexo 7. Coeficiente n de Manning para escorrentía superficial..... | 102 |
| Anexo 8. Valores de números de curva para medir condiciones urbanas | 103 |
| Anexo 9. Precipitación máxima diaria por cada año..... | 104 |
| Anexo 10. Periodo de retorno de precipitación máxima diarias por cada año | 105 |
| Anexo 11. Propiedades de las subcuencas | 106 |
| Anexo 12. Aportaciones de los nodos a los tramos de la red..... | 109 |
| Anexo 13. Propiedades de los conductos de la red de drenaje..... | 110 |
| Anexo 14. Levantamiento Topográfico | 117 |
| Anexo 15. Ensayo de infiltración por el método de Porchet | 118 |
| Anexo 16. Inundaciones del Costado este auditorio 52 | 119 |
| Anexo 17. Inundaciones del Pabellón 24..... | 120 |
| Anexo 18. Inundaciones del Costado Oeste del Pabellón 68 | 121 |
| Anexo 19. Medida de caudales en el aforo número 1 | 122 |
| Anexo 20. Medida de caudales en el aforo número 2 | 123 |
| Anexo 21. Análisis de textura..... | 124 |

CAPITULO I.
ASPECTOS INTRODUCTORIOS.



1.1. Introducción

La presente investigación monográfica describe la construcción y calibración de un modelo de drenaje pluvial del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN - Managua; Se hizo uso del software “Storm Water Management Model EPA SWMM” utilizado para el análisis relacionado con la escorrentía de aguas pluviales. La calibración del modelo llevara la simulación de situaciones reales que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados.

Dicha investigación es un aprendizaje de gran relevancia para la formación de futuros profesionales de ingeniería civil; a la vez constituye más de cerca la comprensión del comportamiento general de drenaje pluvial. Para lo antes mencionado se contó con la información existente, entre los que se puede mencionar, la cuenca delimitada, estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física, entre otros.

A través del Modelo Hidráulico del drenaje pluvial, ahora conocemos el comportamiento y representación del flujo por medio de una estructura con mayor fidelidad y detalle que un simple cálculo teórico, aumentando la confiabilidad para poder realizar pruebas y definir soluciones.

El propósito de la investigación es presentar el modelo de drenaje pluvial que aporta el Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua, calibrado de manera que los caudales de referencia se ajusten a los del modelo en el área en estudio, de esta manera permita mitigar los efectos de la inundación para futuras obras de ingeniería.



1.2 Antecedentes

En el año 2021, Ortiz Tencio, J. S., y Segura Serrano, L. P., realizaron un proyecto enfocado en un análisis hidrológico en la cuenca de río Balsar debido a que su respuesta hidrológica ha afectado el distrito de Ciudad Cortés dando como resultado el desbordamiento del río Balsar, el cual se ubica sobre la ruta 32, en la provincia de Puntarenas. Con el programa QGIS se delimitó la cuenca y se caracterizó morfológicamente, seguidamente se realizó un análisis de precipitación en donde debido a las condiciones propias de la misma, se optó por el uso de datos de precipitación satelital a partir de un ajuste de datos, posteriormente se crearon las Curvas IDF y la ecuación de intensidad para realizar las modelaciones hidrológicas con el programa HEC-HMS bajo condiciones de humedad media (CHA II) para periodos de retorno de 1,2,10 y 25 años.

En el año 2020, Zárate Rojas, O. J., llevó a cabo una investigación con el objetivo de modelar mediante el software SWMM el drenaje pluvial de la urbanización Monterrico de la ciudad de Jaén – Cajamarca. Estudio aplicado, descriptivo, no experimental con enfoque cuantitativo y cualitativo. Como parte de los resultados obtenidos se determinaron caudales máximos y puntos críticos de inundación de la urbanización Monterrico – Jaén. De igual forma se determinaron datos y parámetros de la cuenca como valores de escorrentías en sub cuencas.

En el año 2019, Miranda Prado, C. A., realizó un estudio en el que deja claro que el factor más influyente en el aumento de escorrentía es la expansión acelerada de asentamientos urbanísticos por esta razón las medidas propuestas priorizan obras de regulación, control y mitigación de las aguas haciendo especial ahínco en las microempresas de regulación que mejoran enormemente el funcionamiento de la red principal. Es importante mencionar que el uso del modelo bidimensional RiverFlow2D es una herramienta que ha permitido al estudio hacer un análisis más preciso de todas las zonas críticas identificadas pues este predice con exactitud el alcance que tienen los efectos de desborde en el cauce permitiendo crear mapas de riesgo que serán útiles para tomar medidas de contingencia.



En el año 2015, Segura Serrano, L. P., muestra un proyecto de Graduación basado en una modelación hidráulica para el análisis y propuesta de obras de mitigación de inundaciones en el cual aprovecha la tecnología de modelación hidráulica para realizar la simulación en un segmento de 7.5 km del río estrella, que atraviesa la finca bananera la estrella, en la provincia Limón Costa Rica. En este trabajo de investigación se calibro un modelo con el dato de caudal de un evento extraordinario permitiendo analizar el desempeño de las obras de mitigación de inundaciones existentes en la finca la estrella con respecto al caudal de calibración.



1.3 Planteamiento del problema

En el Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío existen tres zonas de drenaje en función de su descarga los cuales son: La zona uno descarga en un tragante colocado en la entrada al portón 4 de la UNAN – Managua, el cual a su vez drena al cauce paralelo a la pista. La zona 2 que es la más grande descarga en el portón 6 (CIGEO) y la zona 3 descarga en un canal sin revestir localizado en un costado de LAFRAM, el cual se conecta al mismo cauce paralelo a la pista. Cabe resaltar que no hay aportación de agua de las áreas externas hacia la universidad.

Para la presente investigación la zona a estudiar será el área que drena al portón 6 (CIGEO) el cual es el punto más crítico de inundación.

En la última década, el Recinto Universitario ha presentado una problemática pluvial, esto a raíz de diferentes factores los cuales se detallan a continuación:

1. El Recinto Universitario va creciendo en cuestión de infraestructura, sin embargo, no se ha planificado la ejecución de obras de drenaje.
2. Las redes de drenaje internas no están bien definidas.
3. Los usos de suelo han cambiado considerablemente.
4. En cuestión de infraestructura, el Recinto Universitario está creciendo en la implementación de obras verticales, esto ha provocado el incremento de áreas impermeables y la reducción de áreas verdes.

La calibración del modelo de drenaje pluvial del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua permitirá conocer los caudales reales que recorre dicho sector, modelo que será calibrado para futuras obras de ingeniería que permitan mitigar los efectos de la inundación.



1.4 Justificación

Esta investigación entrega nueva información y datos convenientes para la universidad (UNAN – Managua), información que detallará la construcción de un modelo Hidrológico e Hidráulico calibrado, donde se identificarán los valores del modelo para los cuales la serie de datos simulados se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados.

Esta investigación permitirá conocerlos caudales máximos aportados por las lluvias por los distintos cauces naturales y revestidos del área de estudio y de esta manera conocer más a fondo los puntos críticos en los que se presentan problemas de inundaciones.

Como parte de la construcción del modelo, el proyecto resuelve la siguiente problemática ¿Cuál es el caudal del drenaje pluvial que aporta la cuenca del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua, utilizando el software EPA SWMM?, problemática que surgió por las inundaciones siendo la zona más crítica frente al portón 6 de la UNAN – Managua contiguo a la Rotonda Universitaria.



1.5 Objetivos de investigación

1.5.1 Objetivo general:

Realizar la construcción y calibración de un modelo de drenaje pluvial del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua, utilizando el software EPA SWMM.

1.5.2 Objetivos específicos:

1. Caracterizar el estado de la red de drenaje del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío.
2. Identificar las características topográficas de la red de drenaje.
3. Determinar la tasa de infiltración mínima y máxima aplicando los métodos de infiltración de Horton, Green Ampt y Número de Curva.
4. Construir un modelo de drenaje pluvial utilizando el Software EPA-SWMM.
5. Calibrar el modelo de drenaje pluvial mediante aforos de caudales utilizando una lluvia de calibración registrada el día 14 de Octubre del 2021.



CAPITULO II.

MARCO REFERENCIAL.



2.1. Fundamentación teórica

2.1.1 Calibración de Modelos Hidráulicos

La calibración se ejecutó mediante un proceso donde se identifican los valores del modelo para que los datos simulados se ajusten de manera óptima a la serie de datos observados. Para poder evaluar el riesgo y determinar soluciones de diseño en un futuro.

El uso de modelos hidrológicos tiene por finalidad simular los fenómenos que ocurren en la realidad. Sin embargo, a pesar de los avances en ciencia y tecnología no existe un modelo hidrológico que simule a la perfección los complejos procesos que involucra la hidrología debido a la presencia de diferentes errores. Estos errores se pueden minimizar mediante un adecuado proceso de calibración. (Cabrera,2010)

2.1.2 Modelación hidráulica de drenaje pluvial

En termino básico la Modelación Hidráulica, específicamente de drenaje pluvial, lleva un estudio extenso, puesto que la simulación de situaciones reales de escorrentía parte de una problemática que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; las observaciones y estudio del modelo es una responsabilidad muy grande, de manera que se debe de llevar a cabo haciendo uso de todas las herramientas y métodos necesarios para que sus resultados sean satisfactorios y correctos.

En hidráulica el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real, mediante la entrada de cierta información que se procesa y presenta en forma adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería (Vergara, MA.1993).

2.1.3 Storm Water Management Model EPA SWMM

El modelo de gestión de aguas pluviales Storm Water Management Model EPA SWMM será el software a utilizar para la calibración de la Modelación Hidráulica debido a que se utiliza en todo el mundo para la planificación, el análisis y el diseño relacionados con la escorrentía de aguas pluviales y otros sistemas de drenaje.



Storm Water Management Model EPA SWMM es un programa de escritorio basado en Windows. Es un software público de código abierto y es gratuito para su uso en todo el mundo. Se produjo en un esfuerzo de desarrollo conjunto con CDM, Inc., una firma global de consultoría, ingeniería, construcción y operaciones.

(EPA United States Environmental Protection Agency, 2021)

2.1.3.1 Características Del Modelo Hidrológico

SWMM considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas, entre estos se encuentran:

1. Precipitaciones variables en el tiempo.
2. Evaporación de las aguas superficiales estancadas.
3. Acumulación y deshielo de nieve.
4. Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones.
5. Infiltración de las precipitaciones en capas del suelo no saturados.
6. Entrada del agua de la infiltración en acuíferos.
7. Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte.
8. Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial.

2.1.3.2 Aplicaciones típicas de SWMM

1. Diseño y dimensionamiento de componentes de sistemas de drenaje para el control de inundaciones.
2. Dimensionamiento de los centros de detención y sus anexidades para el control de inundaciones y la protección de la calidad del agua.
3. Mapeo de llanuras de inundación de sistemas de canales naturales: SWMM es un modelo aprobado por FEMA para los estudios del Programa Nacional de Seguro contra Inundaciones.
4. Diseñar estrategias de control para minimizar los desbordamientos combinados de alcantarillado.
5. Evaluar el impacto de la afluencia e infiltración en los desbordamientos de alcantarillado sanitario.



6. Generación de cargas de contaminantes de origen no puntual para la asignación de carga residual.
7. Controlar la escorrentía del sitio utilizando prácticas de infraestructura verde como controles LID bajos.
8. Evaluar la efectividad de las mejores prácticas de manejo y el desarrollo de bajo impacto para reducir las cargas de contaminantes en clima húmedo.

2.1.3.3 Datos de entrada

Para poder realizar el modelo hidrológico e hidráulico se necesitan los siguientes datos:

1. Red de drenaje.
2. Características de los conductos.
3. Elevaciones.
4. Impermeabilidad.
5. Pendiente.
6. Rugosidades.
7. Anchos característicos.
8. Almacenamiento en depresiones.
9. Parámetros de infiltración.
10. Datos de la lluvia de diseño.

2.1.4 Delimitación de una cuenca hidrográfica

A través de la delimitación de la misma, se puede calcular el área aportantes que drena hacia un punto de interés en el cual requiere calcular o conocer caudales que sirva como dato ya sea para fines de riego, drenaje pluvial, obras de captación de agua etc. En este proceso la delimitación se realizó de forma digital a través de AutoCAD.

Es importante realizar una visita de campo cuando se tiene el tiempo y los recursos, ya que sobre todo en cuencas urbanas donde el drenaje natural de una cuenca es alterado por calles, muros y otros obstáculos, incluso puede cambiar debido a sistemas de alcantarillado y las obras de encauzamiento o rectificación de los cauces naturales. (Camoos,2010).



2.1.5 Cuenca de aguas pluviales

La cuenca en estudio fue delimitada por donde las corrientes formadas por los escurrimientos producto de la precipitación fluye hacia un cauce común, obedeciendo a las variaciones topográficas del terreno. Esta es por lo tanto el área de captación y conducción de la precipitación, siendo el agua el elemento integrador.

La clasificación de la cuenca es de carácter hidrográfica porque es drenada por un sistema de drenaje natural y fue delimitada por parteaguas.

La morfología de la cuenca queda definida por tres tipos de parámetros:

1. Parámetros de forma (Tamaño de la cuenca; Forma de la cuenca).
2. Parámetros de relieve (Elevación y Pendiente media de la cuenca).
3. Parámetros relativos a la red de drenaje. (Red o Sistema de drenaje).

Este indica la superficie del área drenada que cubre el perímetro de la cuenca y generalmente se indica en km^2 (kilómetros cuadrados) o bien en las (hectáreas) cuando las cuencas son pequeñas.

Tabla 2.1 Clasificación de una cuenca por su tamaño

| Carácter | Área (km^2) |
|----------|------------------------|
| Pequeñas | < de 50 |
| Medianas | de 50 a 150 |
| Grandes | > de 150 |

Fuente: Elaboración propia

Nota. La cuenca en estudio se clasifica en carácter pequeña, esto debido a que cuenta con un área menor a los 50 km^2 . El área exacta es de 61000 m^2 .



Forma de la cuenca:

Esta característica tiene fundamental importancia en la cantidad de escorrentía para una misma área y una misma intensidad de lluvia, dado que una cuenca pequeña y redondeada, tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en contra de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida.

Las cuencas pequeñas y redondas suelen ocasionar inundaciones, sobre todo si presentan fuertes pendientes que les imprima gran velocidad a las aguas.

El caudal de salida depende directamente de la forma de la hoya, la cual puede expresarse por un factor “K” adimensional, llamado índice de compacidad o coeficiente de Gravelius.

Tabla 2.2 Índice de compacidad de Gravelius

| Valores de “K” | Tipos o clases de formas |
|----------------|---------------------------------------|
| de 1.00 a 1.25 | de casi redonda a oval redonda |
| de 1.26 a 1.50 | de oval redonda a oval oblonga |
| de 1.51 a 1.75 | de oval oblonga a rectangular oblonga |

Fuente: Elaboración propia.

Nota. De acuerdo con las características de forma observadas de la cuenca, su clase de forma es de oval redonda a oval oblonga.

2.1.6 Red de drenaje

La red de drenaje se puede definir como la trayectoria de los cauces por donde de manera superficial corre el agua, producto de la precipitación hacia un depósito natural o artificial. El estudio consta de una corriente principal y un sistema de corrientes tributarias de menor caudal. La configuración de las redes pluviales, es el producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía.



Las características de un sistema o red de drenaje se describen de acuerdo a:

1. Las clases de corrientes.
2. La densidad de corrientes.
3. El orden de las corrientes.
4. La densidad de drenaje.
5. La longitud de los tributarios.
6. La pendiente del cauce principal.



Ilustración 2.1 Red de drenaje en función de su descarga

Fuente: Google Earth Pro.

Nota. La zona 1 descarga en un tragante colocado en la entrada al portón 4 el cual a su vez drena al cauce paralelo a la pista.

La zona 2 que es la más grande descarga en el portón 6 (CIGEO) después de la biblioteca circula en un canal paralelo a la calle que une la biblioteca con el portón 6.

La zona 3 descarga en un canal sin revestir localizado en un costado de LAFRAM, el cual se conecta al mismo cauce paralelo a la pista.



2.1.7 Ensayo de infiltración por el método de Porchet

Las pruebas de infiltración por el método de Porchet, se utiliza en la determinación de la infiltración, mide la velocidad con la que el agua es infiltrada en un agujero.

El proceso investigativo conlleva a la realización de tres ensayos de infiltración en diferentes puntos del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío UNAN - Managua, estos pertenecientes a la cuenca en estudio.

El método de Porchet establece un procedimiento sencillo para realizar una prueba de infiltración:

1. Realizar una excavación o perforación de un agujero cilíndrico de 30 cm de profundidad y 20 cm de diámetro
2. Saturar el agujero un día antes de la realización de las pruebas de infiltración.
3. Se rellena el agujero con agua y se reinicia el reloj para hacer mediciones periódicamente, con una regleta se miden los descensos.
4. Cuando el nivel de agua este entre los 2 y 5 cm de altura se deberá rellenar para continuar con las mediciones.

bajo estas condiciones, este método es menos costoso, pero con un consumo de agua mayor, tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de implementar.

La tasa de infiltración se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \frac{2h_1 + R}{2h_2 - R} \quad \text{Ecuación. 1}$$



Dónde:

R: Radio del agujero

t_2 : Tiempo final

t_1 : Tiempo inicial

h_2 : Altura final del agujero en cm

h_1 : Altura inicial del agujero

F: Velocidad de infiltración (cm/m)

Parámetros de infiltración

En cada una de las cuencas de drenaje es necesario definir la tasa máxima de infiltración y la tasa mínima de infiltración, para la presente investigación se realizaron tres pruebas de infiltración:

2.1.8 Medición de caudales por medio del Aforo de caudales

Aforar una corriente de agua es determinar en un momento dado el valor del caudal que pasa por una sección conocida. El modo más simple de medir el nivel del agua es por medio de una escala, generalmente graduada en centímetros.

La medición de tirante se realizó de forma sincronizada en dos puntos estratégicos del recinto, estos con secciones transversales uniforme con la lluvia de calibración registrada el 14 de Octubre del 2021.

2.1.9 Hietograma unitario

En ocasiones no es suficiente un dato concreto. Es posible que se necesite conocer la evolución de la precipitación a lo largo de un periodo. Se denomina hietograma de diseño al hietograma que se calcula para un aguacero previamente establecido para cierto lugar y de una duración.



Para tener la medición completa del evento observado se utilizó la estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física. El hietograma unitario correspondiente al día 14 de octubre será presentado posteriormente y muestra la distribución de la precipitación a lo largo de las 2 horas del día correspondiente al intervalo de tiempo que duro la lluvia con mediciones a cada 10 min.

2.1.10 Plan de análisis y procesamiento de datos

En análisis de datos estuvo dirigido directamente a los resultados de caudales que se obtuvieron en la medida de los aforos como caudales de referencia, ya que se evaluó si estos resultados se aproximan o se alejan a los resultados de modelación hidráulica que se obtienen por medio del uso del Software EPA SWMM confeccionado a partir de una técnica de precisión para las mismas condiciones topográficas e hidrológicas del área de estudio. Para realizar el análisis de los resultados se consideró la siguiente función:

2.1.10.1 Nash-Sutcliffe (NSE)

El coeficiente de “Nash-Sutcliffe” es una medición de la calidad de los resultados simulados con respecto a la variancia de los datos observados o de referencia. Su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde y_o = Es el valor de tirante hidráulico observado o de referencia para una sección transversal, y_s = Es el valor de tirante hidráulico obtenido en el modelo para la misma sección transversal, \bar{y}_o = Es el promedio de la media de los tirantes observados o de referencia de todas las secciones transversales del canal, y n = Es el número total de secciones. Si el resultado de este coeficiente es próximo a 1, se dice que los resultados modelados se ajustan a los resultados observados o de referencia.



Tabla 2.3 Valores referenciales del coeficiente de Nash-Sutcliffe

| NSE | Ajuste |
|-----------|---------------|
| < 0.2 | Insuficiente |
| 0.2 – 0.4 | Satisfactorio |
| 0.4 – 0.6 | Bueno |
| 0.6 – 0.8 | Muy bueno |
| > 0.8 | Excelente |

Fuente: Molnar, 2011

Nota. Los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

2.2. Datos

2.2.1 Lluvia de calibración

La lluvia utilizada para la calibración del modelo fue registrada el 14 de Octubre del 2021, en la cual se realizó el aforo de caudales. Para esto fue necesario la estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física, la cual se muestra a continuación.

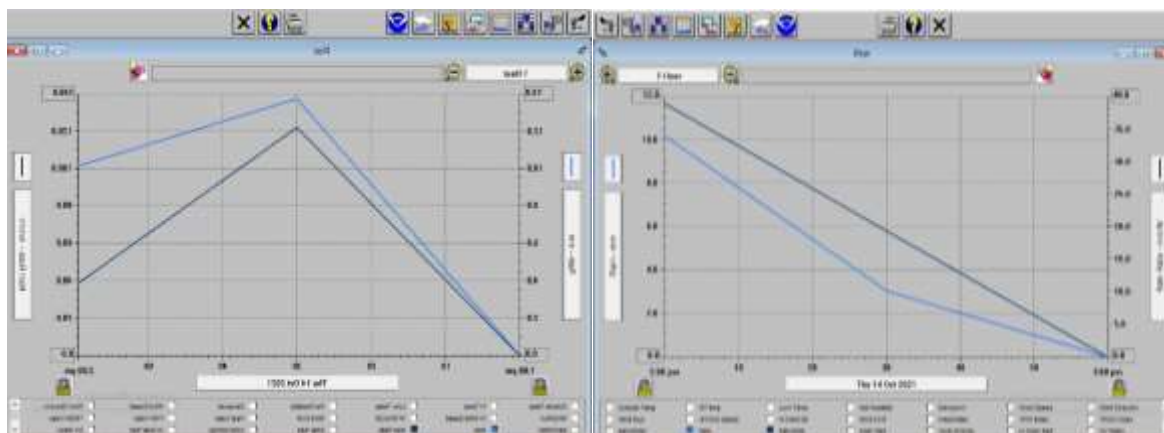


Ilustración 2.2 Precipitación e intensidad de la lluvia de calibración

Fuente: Estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física.

Nota: En esta imagen se presenta la información de precipitación en intervalos de tiempo a cada 10 minutos, desde las 1 de la tarde del día 14 de Octubre del año 2021 hasta las 3 de la tarde del mismo día.

Tabla 2.4 Precipitación en intervalos de tiempo a cada 10 minutos

| HORA (Hr:Min) | PRECIPITACIÓN (mm) |
|------------------|-----------------------|
| 01:00 | 0 |
| 01:10 | 4.6 |
| 01:20 | 9.2 |
| 01:30 | 13.8 |
| 01:40 | 12.6 |
| 01:50 | 11.3 |
| 02:00 | 10.2 |
| 02:10 | 7.7 |
| 02:20 | 5.4 |
| 02:30 | 3.1 |
| 02:40 | 2 |
| 02:50 | 1.1 |
| 03:00 | 0 |
| TOTAL | 81 |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La precipitación total de la lluvia de calibración pasado las 2 horas resulto de 81mm.

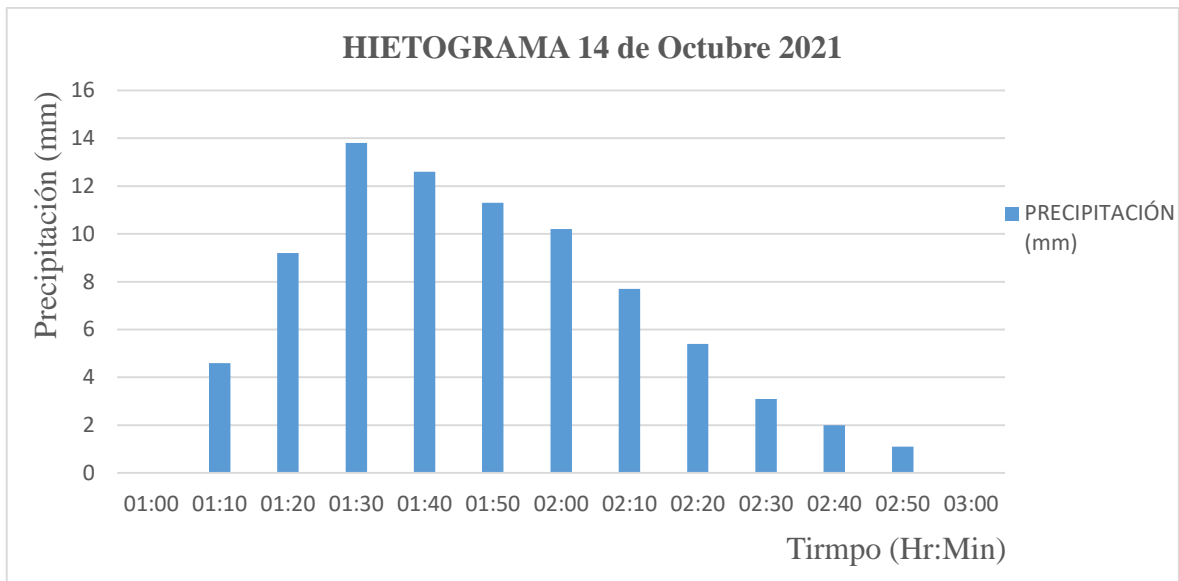


Ilustración 2.3 Hietograma unitario correspondiente a la lluvia de calibración

Fuente: Microsoft Excel

Nota. Se puede observar que el lapso de tiempo en el cual se presentó la mayor cantidad de precipitación fue entre las 01:30 a las 02:00 de la tarde. Al final este lapso de tiempo deberá reflejar la mayor cantidad de escorrentía en el modelo.

2.2.2 Tirantes y caudales medidos por medio de aforos

La medición de tirantes de lluvia se realizó de forma sincronizada en dos puntos estratégicos del Recinto Universitario Rubén Darío, con secciones transversales uniforme se determinaron caudales con la lluvia de calibración registrada el 14 de Octubre del 2021. Los valores aforados se presentan a continuación.



Tabla 2.5 Caudales medidos del aforo número 1

| Tiempo Hr:Min | Tirante y | Radio Hidráulico R | Área A | Caudal m ³ /s | Caudal lts/s |
|------------------|--------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| 01:20 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | 0.00 |
| 01:21 | 0.005 | 0.0049 | 0.0029 | 0.00130 | 1.30 |
| 01:22 | 0.020 | 0.0189 | 0.0117 | 0.01290 | 12.90 |
| 01:23 | 0.023 | 0.0215 | 0.0135 | 0.01623 | 16.23 |
| 01:24 | 0.026 | 0.0241 | 0.0153 | 0.01983 | 19.83 |
| 01:25 | 0.029 | 0.0267 | 0.0171 | 0.02371 | 23.71 |
| 01:26 | 0.029 | 0.0267 | 0.0171 | 0.02371 | 23.71 |
| 01:27 | 0.040 | 0.0357 | 0.0237 | 0.04000 | 40.00 |
| 01:28 | 0.042 | 0.0373 | 0.0249 | 0.04329 | 43.29 |
| 01:29 | 0.043 | 0.0381 | 0.0255 | 0.04497 | 44.97 |
| 01:30 | 0.044 | 0.0389 | 0.0261 | 0.04667 | 46.67 |
| 01:31 | 0.045 | 0.0396 | 0.0267 | 0.04840 | 48.40 |
| 01:32 | 0.045 | 0.0396 | 0.0267 | 0.04840 | 48.40 |
| 01:33 | 0.047 | 0.0412 | 0.0279 | 0.05192 | 51.92 |
| 01:34 | 0.049 | 0.0427 | 0.0292 | 0.05553 | 55.53 |
| 01:35 | 0.049 | 0.0427 | 0.0292 | 0.05553 | 55.53 |
| 01:36 | 0.050 | 0.0435 | 0.0298 | 0.05737 | 57.37 |
| 01:37 | 0.052 | 0.0450 | 0.0310 | 0.06111 | 61.11 |
| 01:38 | 0.054 | 0.0465 | 0.0322 | 0.06494 | 64.94 |
| 01:39 | 0.054 | 0.0465 | 0.0322 | 0.06494 | 64.94 |
| 01:40 | 0.055 | 0.0472 | 0.0328 | 0.06688 | 66.88 |
| 01:41 | 0.056 | 0.0480 | 0.0335 | 0.06884 | 68.84 |
| 01:42 | 0.057 | 0.0487 | 0.0341 | 0.07083 | 70.83 |
| 01:43 | 0.056 | 0.0480 | 0.0335 | 0.06884 | 68.84 |
| 01:44 | 0.054 | 0.0465 | 0.0322 | 0.06494 | 64.94 |
| 01:45 | 0.052 | 0.0450 | 0.0310 | 0.06111 | 61.11 |
| 01:46 | 0.050 | 0.0435 | 0.0298 | 0.05737 | 57.37 |
| 01:47 | 0.047 | 0.0412 | 0.0279 | 0.05192 | 51.92 |
| 01:48 | 0.045 | 0.0396 | 0.0267 | 0.04840 | 48.40 |
| 01:49 | 0.039 | 0.0349 | 0.0231 | 0.03839 | 38.39 |
| 01:50 | 0.031 | 0.0283 | 0.0183 | 0.02643 | 26.43 |
| 01:51 | 0.031 | 0.0283 | 0.0183 | 0.02643 | 26.43 |
| 01:52 | 0.030 | 0.0275 | 0.0177 | 0.02506 | 25.06 |
| 01:53 | 0.029 | 0.0267 | 0.0171 | 0.02371 | 23.71 |
| 01:54 | 0.027 | 0.0250 | 0.0159 | 0.02110 | 21.10 |



| Tiempo Hr:Min | Tirante y | Radio Hidráulico R | Área A | Caudal m ³ /s | Caudal lts/s |
|------------------|--------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| 01:55 | 0.025 | 0.0232 | 0.0147 | 0.01860 | 18.60 |
| 01:56 | 0.026 | 0.0241 | 0.0153 | 0.01983 | 19.83 |
| 01:57 | 0.027 | 0.0250 | 0.0159 | 0.02110 | 21.10 |
| 01:58 | 0.033 | 0.0300 | 0.0195 | 0.02927 | 29.27 |
| 01:59 | 0.038 | 0.0341 | 0.0225 | 0.03681 | 36.81 |
| 02:00 | 0.042 | 0.0373 | 0.0249 | 0.04329 | 43.29 |
| 02:01 | 0.043 | 0.0381 | 0.0255 | 0.04497 | 44.97 |
| 02:02 | 0.045 | 0.0396 | 0.0267 | 0.04840 | 48.40 |
| 02:03 | 0.047 | 0.0412 | 0.0279 | 0.05192 | 51.92 |
| 02:04 | 0.047 | 0.0412 | 0.0279 | 0.05192 | 51.92 |
| 02:05 | 0.047 | 0.0412 | 0.0279 | 0.05192 | 51.92 |
| 02:06 | 0.046 | 0.0404 | 0.0273 | 0.05015 | 50.15 |
| 02:07 | 0.039 | 0.0349 | 0.0231 | 0.03839 | 38.39 |
| 02:08 | 0.034 | 0.0308 | 0.0201 | 0.03072 | 30.72 |
| 02:09 | 0.034 | 0.0308 | 0.0201 | 0.03072 | 30.72 |
| 02:10 | 0.033 | 0.0300 | 0.0195 | 0.02927 | 29.27 |
| 02:11 | 0.033 | 0.0300 | 0.0195 | 0.02927 | 29.27 |
| 02:12 | 0.032 | 0.0292 | 0.0189 | 0.02784 | 27.84 |
| 02:13 | 0.032 | 0.0292 | 0.0189 | 0.02784 | 27.84 |
| 02:14 | 0.031 | 0.0283 | 0.0183 | 0.02643 | 26.43 |
| 02:15 | 0.030 | 0.0275 | 0.0177 | 0.02506 | 25.06 |
| 02:16 | 0.029 | 0.0267 | 0.0171 | 0.02371 | 23.71 |
| 02:17 | 0.028 | 0.0258 | 0.0165 | 0.02239 | 22.39 |
| 02:18 | 0.026 | 0.0241 | 0.0153 | 0.01983 | 19.83 |
| 02:19 | 0.018 | 0.0171 | 0.0105 | 0.01085 | 10.85 |
| 02:20 | 0.013 | 0.0125 | 0.0076 | 0.00635 | 6.35 |
| 02:21 | 0.012 | 0.0116 | 0.0070 | 0.00556 | 5.56 |
| 02:22 | 0.011 | 0.0106 | 0.0064 | 0.00481 | 4.81 |
| 02:23 | 0.010 | 0.0097 | 0.0058 | 0.00411 | 4.11 |
| 02:24 | 0.008 | 0.0078 | 0.0047 | 0.00284 | 2.84 |
| 02:25 | 0.007 | 0.0069 | 0.0041 | 0.00228 | 2.28 |
| 02:26 | 0.006 | 0.0059 | 0.0035 | 0.00176 | 1.76 |
| 02:27 | 0.005 | 0.0049 | 0.0029 | 0.00130 | 1.30 |
| 02:28 | 0.004 | 0.0040 | 0.0023 | 0.00090 | 0.90 |
| 02:29 | 0.003 | 0.0030 | 0.0017 | 0.00056 | 0.56 |
| 02:30 | 0.002 | 0.0020 | 0.0012 | 0.00028 | 0.28 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 2.6 Caudales medidos del aforo número 2

| Tiempo Hr:Min | Tirante y | Radio Hidráulico R | Área A | Caudal m ³ /s | Caudal lts/s |
|------------------|--------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| 01:20 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:21 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:22 | 0.024 | 0.0229 | 0.0240 | 0.03479 | 34.79 |
| 01:23 | 0.028 | 0.0265 | 0.0280 | 0.04477 | 44.77 |
| 01:24 | 0.030 | 0.0283 | 0.0300 | 0.05011 | 50.11 |
| 01:25 | 0.025 | 0.0238 | 0.0250 | 0.03719 | 37.19 |
| 01:26 | 0.025 | 0.0238 | 0.0250 | 0.03719 | 37.19 |
| 01:27 | 0.023 | 0.0220 | 0.0230 | 0.03244 | 32.44 |
| 01:28 | 0.022 | 0.0211 | 0.0220 | 0.03016 | 30.16 |
| 01:29 | 0.021 | 0.0202 | 0.0210 | 0.02794 | 27.94 |
| 01:30 | 0.025 | 0.0238 | 0.0250 | 0.03719 | 37.19 |
| 01:31 | 0.023 | 0.0220 | 0.0230 | 0.03244 | 32.44 |
| 01:32 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:33 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:34 | 0.029 | 0.0274 | 0.0290 | 0.04741 | 47.41 |
| 01:35 | 0.035 | 0.0327 | 0.0350 | 0.06442 | 64.42 |
| 01:36 | 0.039 | 0.0362 | 0.0390 | 0.07680 | 76.80 |
| 01:37 | 0.042 | 0.0387 | 0.0420 | 0.08659 | 86.59 |
| 01:38 | 0.047 | 0.0430 | 0.0470 | 0.10384 | 103.84 |
| 01:39 | 0.050 | 0.0455 | 0.0500 | 0.11473 | 114.73 |
| 01:40 | 0.051 | 0.0463 | 0.0510 | 0.11844 | 118.44 |
| 01:41 | 0.048 | 0.0438 | 0.0480 | 0.10743 | 107.43 |
| 01:42 | 0.040 | 0.0370 | 0.0400 | 0.08001 | 80.01 |
| 01:43 | 0.038 | 0.0353 | 0.0380 | 0.07363 | 73.63 |
| 01:44 | 0.032 | 0.0301 | 0.0320 | 0.05568 | 55.68 |
| 01:45 | 0.029 | 0.0274 | 0.0290 | 0.04741 | 47.41 |
| 01:46 | 0.023 | 0.0220 | 0.0230 | 0.03244 | 32.44 |
| 01:47 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:48 | 0.019 | 0.0183 | 0.0190 | 0.02370 | 23.70 |
| 01:49 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:50 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:51 | 0.018 | 0.0174 | 0.0180 | 0.02168 | 21.68 |
| 01:52 | 0.015 | 0.0146 | 0.0150 | 0.01605 | 16.05 |
| 01:53 | 0.018 | 0.0174 | 0.0180 | 0.02168 | 21.68 |
| 01:54 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |



| Tiempo Hr:Min | Tirante y | Radio Hidráulico R | Área A | Caudal m ³ /s | Caudal lts/s |
|------------------|--------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|
| 01:55 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 01:56 | 0.021 | 0.0202 | 0.0210 | 0.02794 | 27.94 |
| 01:57 | 0.021 | 0.0202 | 0.0210 | 0.02794 | 27.94 |
| 01:58 | 0.021 | 0.0202 | 0.0210 | 0.02794 | 27.94 |
| 01:59 | 0.022 | 0.0211 | 0.0220 | 0.03016 | 30.16 |
| 02:00 | 0.023 | 0.0220 | 0.0230 | 0.03244 | 32.44 |
| 02:01 | 0.022 | 0.0211 | 0.0220 | 0.03016 | 30.16 |
| 02:02 | 0.021 | 0.0202 | 0.0210 | 0.02794 | 27.94 |
| 02:03 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:04 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:05 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:06 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:07 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:08 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:09 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:10 | 0.020 | 0.0192 | 0.0200 | 0.02579 | 25.79 |
| 02:11 | 0.018 | 0.0174 | 0.0180 | 0.02168 | 21.68 |
| 02:12 | 0.015 | 0.0146 | 0.0150 | 0.01605 | 16.05 |
| 02:13 | 0.012 | 0.0117 | 0.0120 | 0.01110 | 11.10 |
| 02:14 | 0.011 | 0.0108 | 0.0110 | 0.00961 | 9.61 |
| 02:15 | 0.010 | 0.0098 | 0.0100 | 0.00821 | 8.21 |
| 02:16 | 0.009 | 0.0088 | 0.0090 | 0.00689 | 6.89 |
| 02:17 | 0.008 | 0.0079 | 0.0080 | 0.00567 | 5.67 |
| 02:18 | 0.008 | 0.0079 | 0.0080 | 0.00567 | 5.67 |
| 02:19 | 0.008 | 0.0079 | 0.0080 | 0.00567 | 5.67 |
| 02:20 | 0.007 | 0.0069 | 0.0070 | 0.00454 | 4.54 |
| 02:21 | 0.007 | 0.0069 | 0.0070 | 0.00454 | 4.54 |
| 02:22 | 0.007 | 0.0069 | 0.0070 | 0.00454 | 4.54 |
| 02:23 | 0.005 | 0.0050 | 0.0050 | 0.00260 | 2.60 |
| 02:24 | 0.005 | 0.0050 | 0.0050 | 0.00260 | 2.60 |
| 02:25 | 0.005 | 0.0050 | 0.0050 | 0.00260 | 2.60 |
| 02:26 | 0.005 | 0.0050 | 0.0050 | 0.00260 | 2.60 |
| 02:27 | 0.003 | 0.0030 | 0.0030 | 0.00111 | 1.11 |
| 02:28 | 0.002 | 0.0020 | 0.0020 | 0.00056 | 0.56 |
| 02:29 | 0.002 | 0.0020 | 0.0020 | 0.00056 | 0.56 |
| 02:30 | 0.002 | 0.0020 | 0.0020 | 0.00056 | 0.56 |

Fuente: Elaboración propia.



2.2.3 Propiedades de las subcuencas

Para las propiedades de las subcuencas se tomó de referencia el Informe final para optar al título de Master en Gestión Ambiental del Ingeniero Oswaldo Balmaceda. (Ver la tabla número 11 de los anexos).

2.2.4 Aportaciones de los nodos de la red de drenaje

La determinación de las aportaciones que presentaba cada nodo se realizó mediante el análisis visual hecho en campo. (Ver la tabla número 12 de los anexos).

2.2.5 Propiedades de los conductos que forman parte de la red de drenaje

Las propiedades de los conductos presentan el tramo con el número de nodo el cual inicia y termina la tubería, se muestra la información de los conductos que forman parte de la red. En este caso se le llamo conducto a elementos como: calles, cauces en terreno natural y concreto. (Ver la tabla número 13 de los anexos).

2.3. Métodos

2.3.1 Métodos de infiltración utilizados

Storm Water Management Model EPA SWMM permite calibrar solamente con tres métodos de infiltración que se detallan a continuación.

2.3.1.1 Método de Horton

El método fue utilizado con el objetivo de ajustar las pruebas de infiltración correspondiente al estudio de la cuenca, y consiste exclusivamente en la capacidad de infiltración del suelo, en su estudio se determinó que la capacidad de infiltración tiene la siguiente forma:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) * e^{-kt} \quad \text{Ecuación 3}$$



Donde:

$f_p = \text{Capacidad de infiltración (mm/día)}$

$f_c = \text{Capacidad final o equilibrio (mm/día)}$

$f_o = \text{Capacidad inicial (mm/día)}$

$K = \text{Coeficiente de decrecimiento de la capacidad de infiltración en el tiempo}$

Para el desarrollo del método fue necesario calcular el modelo estimado y los errores para de esa manera mostrar los valores de infiltración ajustados mediante el método de infiltración de Horton.

2.3.1.2 Método de Green Ampt

El método de Green Ampt consiste en el cálculo de infiltración acumulada y tasa de infiltración de un suelo el cual se conocen las características. Ningún método de infiltración da como resultado una infiltración exacta para un determinado suelo, pero el método de Green Ampt es el que más se aproxima al valor real.

Cantidad de infiltración

$$t = t_p + \frac{1}{K_S} \left[F - F_P + |\Psi_f|(\theta_S - \theta_i) \ln \left(\frac{|\Psi_f|(\theta_S - \theta_i) + F_P}{|\Psi_f|(\theta_S - \theta_i) + F} \right) \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde $F_p = \text{La cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a acumularse en la superficie [cm]}$ y $t_p = \text{El tiempo que tarda el agua en comenzar a acumularse en la superficie [hr]}$. Las siguientes son expresiones de estas cantidades:

Tasa de infiltración

$$f(t) = K_S + K_S \frac{|\Psi_f|(\theta_S - \theta_i)}{F} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$f(t) = P \quad \text{Ecuación 6}$$



Dónde: $P = \text{Tasa de lluvia [cm/hr]}$ y t_p es el momento en que el agua comienza a acumularse en la superficie [hr]. Desafortunadamente, Eq. 7a no tiene tiempo como variable, sino que usa F , la cantidad acumulada de agua que se ha infiltrado. Reconociendo que $f = dF / dt$, podemos resolver la ecuación. 7 para obtener la siguiente expresión, algo complicada, para $F (t)$:

$$F_P = \frac{|\Psi_f| K_S (\theta_S - \theta_i)}{P - K_S} \quad t = t_p \text{ y } P > K_S \quad \text{De 7a y 7} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$t_p = \frac{F_P}{P} \quad \text{Ecuación 8}$$

Para determinar la cantidad de infiltración de una tormenta de lluvia de duración, tr e intensidad P , primero tendrá que determinar el momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie (ecuaciones 4 y 5). Si $tr < t_p$ o $P < K_S$, entonces la cantidad de infiltración, $F = Ptr$ y la tasa de infiltración, $f = P$.

Si $td > t_p$, entonces tendrá que usar la Ec. 4 y encuentre, por ensayo y error, el valor F que da $t = tr$. Por lo general, configuro una hoja de cálculo de Excel con una columna de F , incrementada en pequeñas cantidades, con columnas adyacentes para t (usando la ecuación 4) y f (usando la ecuación 7). Entonces puedo hacer gráficos de la tasa de infiltración o la cantidad de tiempo en verso.

2.3.1.3 Método de Número de Curva

El método de Número de Curva (NC) es un modelo conceptual de pérdidas de precipitación, cuyo objetivo es calcular la precipitación neta o escurrimiento generado por una tormenta de diseño, el parámetro más importante es la altura de la lluvia y no su intensidad.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right) \quad \text{Ecuación 9}$$



Donde NC es el Número de Curva determinado por tablas de acuerdo a las condiciones de la cuenca en estudio. (S= Abstracciones máximas posibles).

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde P es la precipitación de diseño, Q es el caudal expresado en forma unitaria en unidades mm (Precipitación neta).

El método de Número de Curva fue aplicado a partir de la lluvia de diseño observada entre los días 22 y 23 de Octubre del año 1988 y las características de la cuenca fueron necesarias para su desarrollo. El método supuso el cálculo y análisis de la precipitación efectiva o escurrimiento junto a las abstracciones de la lluvia.

2.4 Hipótesis O Preguntas Directrices

La calibración del modelo de drenaje pluvial permitirá determinar el caudal máximo del drenaje pluvial que aporta la cuenca del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN – Managua y así determinar los puntos críticos de inundación, capacidad hidráulica de las obras de drenaje existente, siempre y cuando se tomen en cuenta las variables que necesita el modelo como: red de drenaje, características de los conductos, elevaciones, impermeabilidad, pendiente, rugosidades, anchos característicos, almacenamiento en depresiones, parámetros de infiltración y datos de la lluvia de diseño.



CAPITULO III.

METODOLOGIA APLICADA.



3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación consiste fundamentalmente en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más característicos o diferenciadores. Al hacer un análisis del propósito final de este trabajo de investigación de acuerdo a lo establecido en el planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, la investigación es de perfil investigativa cuantitativa ya que ahonda en los fenómenos a través de la recopilación de datos y se vale del uso de herramientas matemáticas, estadísticas e informáticas para medirlos. Esto permite hacer conclusiones generalizadas que pueden ser proyectadas en el tiempo.

3.2 Métodos e instrumentos de recolección de datos

1. Para la caracterización de las obras de drenaje existente, así como los puntos más vulnerables a inundación, se realizó una inspección del área de estudio para observar el comportamiento del agua.
2. Utilizando el método de Porchet se realizaron cuatro pruebas de infiltración ubicadas en el sector Sureste del POLISAL, Costado Este del Pabellón 46, Sector Este de la Biblioteca y en el campo de Béisbol de la UNAN – Managua. Las calicatas utilizadas estaban definidas con una profundidad de 30cm y un diámetro de 18cm.
3. Las tasas de infiltración fueron calculadas por tres métodos los cuales son: Horton, Green Ampt y Número de Curva.
4. De cada una de las calicatas realizadas se tomaron muestras de suelo para el análisis de texturas, el cual permitirá conocer el tipo de suelo.



5. Se realizaron dos aforos de caudales en puntos estratégicos del recinto, la ubicación del primero fue en el cauce de sección trapezoidal ubicado al Noroeste del Pabellón 50, el segundo se llevó a cabo en el cauce rectangular que atraviesa el Pabellón 24. Luego se esperó una lluvia para medir los tirantes de agua que drenaban sobre la sección antes mencionada.
6. La lluvia en la cual se realizaron los aforos fue registrada el 14 de Octubre del 2021, la cual fue utilizada para la calibración del modelo, los valores de la lluvia fueron solicitados en la estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física.
7. La UNAN – Managua cuenta con las curvas de nivel del Sector Este del recinto. El plano topográfico cuenta con las curvas de nivel, sin embargo, para conocer las elevaciones fue necesario realizar el levantamiento topográfico de los nodos correspondientes a partir de la red geodésica en el área de estudio; para esto se utilizó el nivel y la estación total.
8. Para obtener los valores de precipitación de la lluvia de diseño, registrada entre el 22 y 23 de Octubre de 1988 fue necesario solicitar la banda pluviográfica en la dirección de meteorología de INETER.

3.3 Método de procesamiento de datos.

1. Con los datos de mediciones del tiempo y la tasa de infiltración en mm/h, se realizó el ajuste de los datos usando el modelo de infiltración de Horton. Con la herramienta SOLVER en Microsoft office Excel, se realizó el ajuste de los datos llevando los datos a un error mínimo.
2. Los análisis de textura de los suelos seleccionados en las pruebas de infiltración fueron llevados al laboratorio de edafología en el Recinto Universitario (RUPAP) de la universidad nacional de ingeniería, esto con el fin de estimar los tipos de suelos.



3. Solicitados los datos de la lluvia de calibración registrada el 14 de Octubre del 2021, en la estación meteorológica del observatorio de astronomía del Departamento de Física, fue elaborado el hietograma unitario a cada 10 minutos con el Microsoft office Excel.

4. Con la lectura de intensidades de la lluvia de diseño registrada entre el 22 y 23 de Octubre de 1988, se procedió a calcular las tasas de infiltración por los métodos de Horton, Green Ampt y Número de Curva tomando en cuenta los tipos de suelos en Microsoft office Excel.

5. Los aspectos topográficos como la red de drenaje, entre ellos las elevaciones de los nodos, se hizo uso del programa Civil 3D el cual permite una mayor exactitud en el estudio.

6. La calibración del modelo requirió el uso del software Storm Water Management Model EPA – Swmm, para el análisis relacionado con la escorrentía de aguas pluviales, y de esta manera realizar una simulación de la cantidad de caudales de agua en el área de estudio.



CAPITULO IV. RESULTADOS.



4.1 Resultados

4.1.1 Caracterización del estado de la red de drenaje del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío.

Aprovechando el recorrido de campo y con ayuda de un plano de conjunto proporcionado por la División de Diseño y Construcción de la UNAN - Managua, y partiendo de la topografía del terreno se definió la red de drenaje, delimitando la cuenca del Sector Este del Recinto tomando como referencia el documento proporcionado por el docente Oswaldo Balmaceda; esto se realizó con el software AutoCAD.

La red de drenaje ya definida, descarga en el portón 6 (CIGEO) después de la biblioteca circula en un cauce paralelo a la calle que une la biblioteca con el portón 6 de la UNAN - Managua. A través del recorrido de campo se observaron y definieron las áreas permeables y áreas no permeables, (urbanizadas y no urbanizadas), la estructura de techo de los edificios que nos definen los parteaguas y la infraestructura pluvial existente perimetral al proyecto.

Las pendientes oscilan entre el 1 – 6%. Se identificó que la red de drenaje la componen: bajantes pluviales, canales pluviales aéreos, calles, cauces naturales y cauces revestidos. Se encontró que en la parte alta el área es muy impermeable ya que se concentra buenas partes de los edificios educativos, existiendo suelos frágiles arenosos. El cauce natural ubicado entre el POLISAL y el Pabellón 68 es el más propenso a erosión.

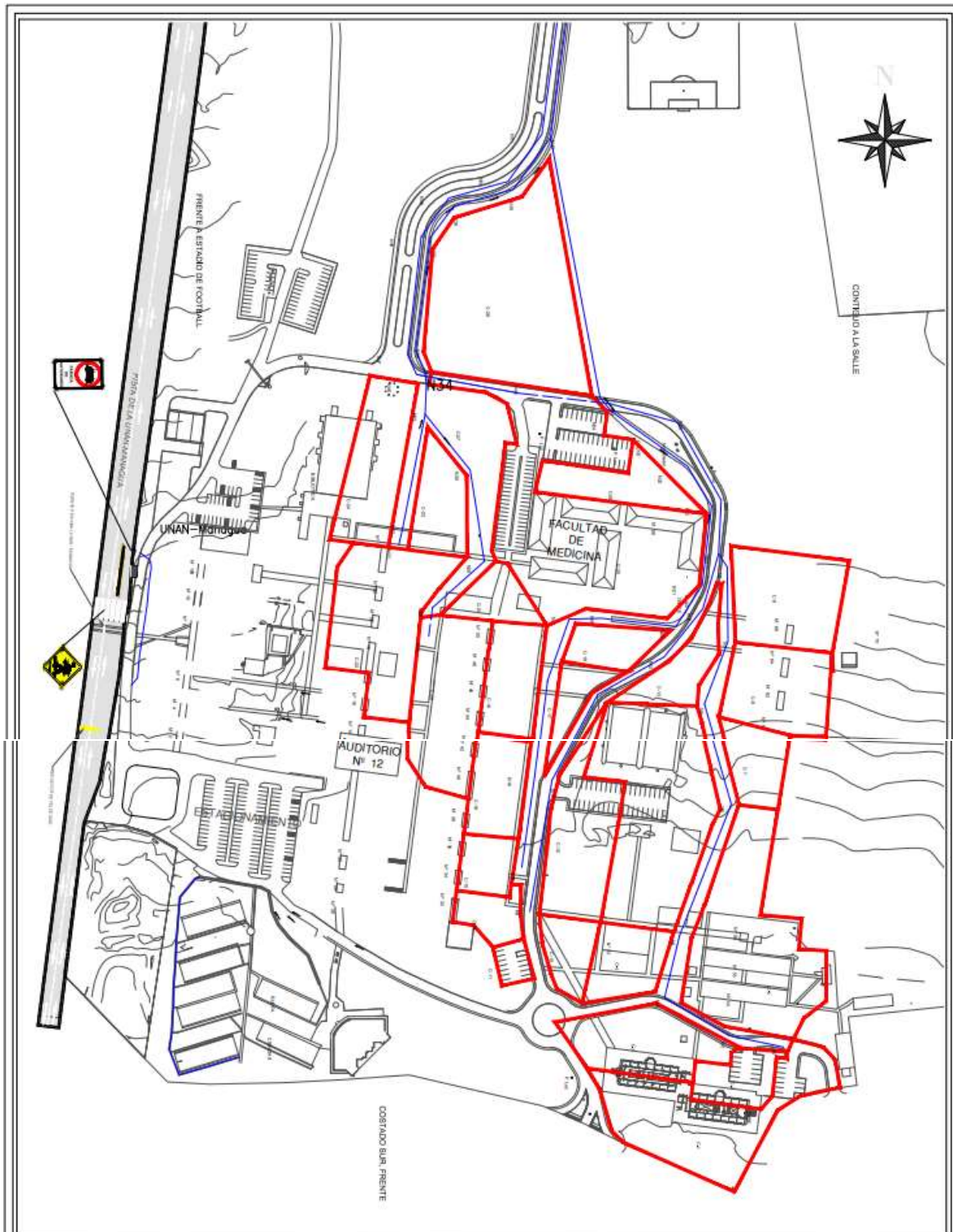


Ilustración 4.1 Subcuencas de drenaje para la zona 3

Fuente: Civil 3D

Nota. Descarga en el portón 6 del Recinto Universitario Rubén Darío.



4.1.2 Levantamiento topográfico de la red de drenaje.

Para el levantamiento topográfico de la red de drenaje de Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN - Managua, fue necesaria la ayuda de estudiantes del técnico superior en Topografía de la UNAN – Managua. Se aprovechó que ellos están desarrollando su tesis estableciendo una red geodésica que justamente coincide con el área de estudio.

La UNAN – Managua cuenta con un plano de conjunto en el cual existen las elevaciones de la superficie del suelo simplemente por las curvas de nivel, para tener resultados precisos y confiables fue necesario el levantamiento topográfico de las elevaciones haciendo uso de la estación total. Las elevaciones de los nodos correspondientes a la red de drenaje se detallan a continuación.

Tabla 4.1 Elevaciones de los nodos de la Red de drenaje

| Nodo | Elevación (m) | Nodo | Elevación (m) | Nodo | Elevación (m) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1 | 210.342 | 19 | 196.399 | 37 | 182.037 |
| 2 | 209.711 | 20 | 195.707 | 38 | 181.668 |
| 3 | 208.336 | 21 | 195.013 | 39 | 181.377 |
| 4 | 205.586 | 22 | 193.032 | 40 | 181.301 |
| 5 | 202.215 | 23 | 192.037 | 41 | 169.496 |
| 6 | 199.710 | 24 | 190.523 | 42 | 168.789 |
| 7 | 196.843 | 25 | 193.803 | 43 | 168.054 |
| 8 | 195.162 | 26 | 192.317 | 44 | 191.594 |
| 9 | 205.723 | 27 | 190.133 | 45 | 188.753 |
| 10 | 201.072 | 28 | 195.236 | 46 | 187.366 |
| 11 | 199.738 | 29 | 194.309 | 47 | 186.609 |
| 12 | 197.855 | 30 | 189.850 | 48 | 182.371 |
| 13 | 195.696 | 31 | 191.470 | 49 | 182.234 |
| 14 | 194.572 | 32 | 190.710 | 50 | 182.029 |
| 15 | 203.766 | 33 | 187.972 | 51 | 181.896 |
| 16 | 203.319 | 34 | 187.027 | 52 | 170.007 |
| 17 | 197.473 | 35 | 186.687 | 53 | 169.061 |
| 18 | 196.634 | 36 | 186.140 | 54 | 168.139 |
| | | | | 55 | 195.976 |

Fuente: Elaboración propia.



4.1.3 Tasa de infiltración mínima y máxima aplicando los métodos de infiltración de Horton, Green Ampt y Número de Curva.

Storm Water Management Model EPA SWMM permite calibrar solamente con tres métodos de infiltración. A continuación, se presenta el análisis y capacidad de infiltración de los diferentes tipos de suelos existentes en el Recinto Universitario Rubén Darío, esto bajo el evento de lluvia presentado entre el 22 y 23 de Octubre de 1988; registrada como la lluvia de mayor intensidad en un tiempo de 24 horas.

Se realizaron tres ensayos de infiltración por el método de Porchet en diferentes puntos estratégicos del Recinto, el primero se realizó contiguo al campo de Béisbol de Recinto Universitario Rubén Darío, el segundo al Costado Sureste del POLISAL, el tercero en la parte Este del Pabellón 46 y el cuarto y último ensayo se realizó al Costado Este de la Biblioteca de la UNAN – Managua, y se analizaron por tres diferentes métodos de infiltración: Horton, Green Ampt y Número de Curva.

4.1.3.1 Método de infiltración de Horton

Se realizaron 4 ensayos de infiltración por el método de Porchet, posteriormente se ajustaron los datos de capacidad y determinaron las tasas mínimas y máximas de infiltración por el método de Horton. Los tres métodos de infiltración se realizaron con una lluvia de diseño registrada entre el 22 y 23 de Octubre del año 1988, cabe señalar que es la lluvia de mayor precipitación de la historia en un término de 24 horas.

Las ubicaciones de las pruebas de infiltración se detallan a continuación.

4.1.3.1.1 Ensayo contiguo al campo de Béisbol UNAN - Managua

El primer ensayo de infiltración se realizó contiguo al campo de Béisbol del Recinto Universitario Rubén Darío, el 15 de Junio del 2020, las características de la calicata son de 30cm de profundidad, por 18 de diámetro.



Tabla 4.2 Mediciones de la prueba de infiltración contiguo al campo de Béisbol

| Mediciones (min) | Medición (cm) | Descensos (cm) | Momento de relleno | F(cm/min) | f(mm/h) |
|------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------|---------|
| 0 | 30 | 0 | | | |
| 1 | 26.1 | 3.9 | | 0.540 | 323.89 |
| 2 | 21.3 | 8.7 | | 0.768 | 460.69 |
| 3 | 18.6 | 11.4 | | 0.497 | 298.46 |
| 4 | 16.1 | 13.9 | | 0.515 | 309.26 |
| 5 | 14.1 | 15.9 | | 0.460 | 275.75 |
| 6 | 12.5 | 17.5 | | 0.405 | 242.86 |
| 7 | 12 | 18 | | 0.134 | 80.60 |
| 8 | 9.5 | 20.5 | | 0.739 | 443.62 |
| 9 | 7.9 | 22.1 | | 0.546 | 327.67 |
| 10 | 7.1 | 22.9 | | 0.300 | 180.07 |
| 15 | 3.8 | 26.2 | Se relleno | 0.301 | 180.76 |
| 20 | 23.5 | 6.5 | | -1.094 | -656.61 |
| 25 | 17.8 | 12.2 | | 0.205 | 122.91 |
| 30 | 12.4 | 17.6 | | 0.250 | 149.73 |
| 35 | 10.4 | 19.6 | | 0.113 | 68.01 |
| 40 | 8.5 | 21.5 | | 0.123 | 73.66 |
| 45 | 5.2 | 24.8 | | 0.264 | 158.12 |
| 50 | 2.4 | 27.6 | Se relleno | 0.307 | 183.93 |
| 55 | 24.4 | 5.6 | | -1.289 | -773.45 |
| 60 | 21.5 | 8.5 | | 0.095 | 57.10 |
| 80 | 10.2 | 19.8 | | 0.128 | 76.98 |
| 100 | 2.5 | 27.5 | Se relleno | 0.167 | 100.16 |
| 120 | 7.5 | 22.5 | | -0.121 | -72.76 |
| 140 | 17.2 | 12.8 | | -0.133 | -79.97 |
| 160 | 8.2 | 21.8 | | 0.121 | 72.32 |
| 180 | 3 | 27 | | 0.119 | 71.10 |
| 200 | 8.6 | 21.4 | Se relleno | -0.125 | -75.29 |
| 220 | 18.5 | 11.5 | | -0.127 | -75.99 |
| 240 | 24.4 | 5.6 | | -0.051 | -30.83 |
| 260 | 23.3 | 6.7 | Se relleno | 0.009 | 5.24 |
| 280 | 16.6 | 13.4 | | 0.062 | 37.23 |
| 300 | 27.5 | 2.5 | | -0.094 | -56.22 |
| 320 | 25.5 | 4.5 | Se relleno | 0.015 | 8.71 |
| 340 | 20.4 | 9.6 | | 0.042 | 25.15 |
| 360 | 13.6 | 16.4 | | 0.072 | 43.06 |
| 380 | 8.4 | 21.6 | | 0.076 | 45.72 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.3 Ajuste de la curva de infiltración del campo de Béisbol

| Mediciones (min) | f(mm/h) | fcalculado | E | Ec |
|------------------|---------|------------|---------|----------|
| 1 | 323.89 | 314.31 | 9.58 | 91.79 |
| 3 | 298.46 | 286.69 | 11.77 | 138.54 |
| 4 | 309.26 | 274.00 | 35.27 | 1243.69 |
| 5 | 275.75 | 261.99 | 13.76 | 189.40 |
| 6 | 242.86 | 250.63 | -7.77 | 60.36 |
| 7 | 80.60 | 239.89 | -159.28 | 25371.17 |
| 9 | 327.67 | 220.12 | 107.56 | 11569.00 |
| 10 | 180.07 | 211.03 | -30.96 | 958.43 |
| 15 | 180.76 | 172.45 | 8.31 | 69.12 |
| 25 | 122.91 | 121.15 | 1.76 | 3.10 |
| 30 | 149.73 | 104.42 | 45.30 | 2052.43 |
| 35 | 68.01 | 91.76 | -23.75 | 563.93 |
| 40 | 73.66 | 82.18 | -8.51 | 72.50 |
| 60 | 57.10 | 62.13 | -5.03 | 25.27 |
| 80 | 76.98 | 55.55 | 21.44 | 459.48 |
| 160 | 72.32 | 52.37 | 19.95 | 398.05 |
| 180 | 71.10 | 52.34 | 18.76 | 351.93 |
| 280 | 37.23 | 52.33 | -15.10 | 228.14 |
| 340 | 25.15 | 52.33 | -27.18 | 738.63 |
| 360 | 43.06 | 52.33 | -9.27 | 85.99 |
| 380 | 45.72 | 52.33 | -6.61 | 43.69 |
| TOTAL | | | | 44714.64 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de mediciones del tiempo y la tasa de infiltración en mm/h, se realizó el ajuste de los datos usando el modelo de infiltración de HORTON. Primeramente, se determinó la Tasa de Infiltración usando parámetros asumidos de 350 la máxima y 25 la mínima. Con la tasa calculada se determinó el error de la estimación y el error cuadrático. Usando la herramienta SOLVER en Excel se realizó el ajuste de los datos llevando los datos a un error mínimo. Como resultado se definió un Tasa máxima de infiltración de 329.32 mm/h y una tasa mínima de 52.33 mm/h, con un coeficiente de decrecimiento en el tiempo de -0.06.

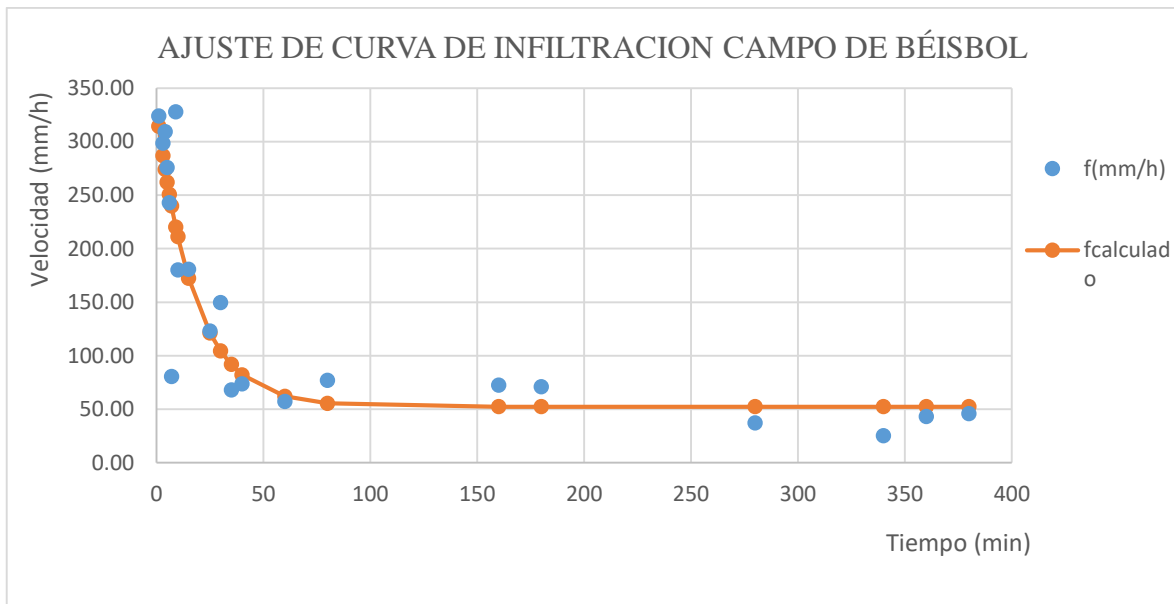


Ilustración 3.2 Ajuste de curva de infiltración para la zona del campo de Béisbol

Fuente: Microsoft Excel.

4.1.3.1.2 Ensayo costado Sureste del POLISAL UNAN – Managua

El segundo ensayo de infiltración se realizó en la parte Sureste del POLISAL del Recinto Universitario Rubén Darío, el 16 de Junio del 2021, las características de la calicata son de 30cm de profundidad, por 20 de diámetro.



Tabla 4.4 Mediciones de la prueba de infiltración del costado Sureste del POLISAL

| Mediciones (min) | Medición (cm) | Descensos (cm) | Momento de relleno | F(cm/min) | f(mm/h) |
|------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------|---------|
| 0 | 30 | 0 | | | |
| 1 | 26 | 4 | | 0.607 | 364.08 |
| 2 | 25.8 | 4.2 | | 0.032 | 19.42 |
| 3 | 24.5 | 5.5 | | 0.216 | 129.37 |
| 4 | 24 | 6 | | 0.085 | 51.28 |
| 5 | 23.2 | 6.8 | | 0.140 | 83.92 |
| 6 | 22.5 | 7.5 | | 0.126 | 75.41 |
| 7 | 21.4 | 8.6 | | 0.204 | 122.47 |
| 8 | 20.7 | 9.3 | | 0.134 | 80.62 |
| 9 | 20 | 10 | | 0.138 | 82.85 |
| 10 | 19.7 | 10.3 | | 0.060 | 36.22 |
| 15 | 17 | 13 | | 0.116 | 69.46 |
| 20 | 14.6 | 15.4 | | 0.116 | 69.31 |
| 25 | 12.4 | 17.6 | | 0.119 | 71.44 |
| 30 | 10.8 | 19.2 | | 0.096 | 57.88 |
| 35 | 9 | 21 | | 0.121 | 72.57 |
| 40 | 7.8 | 22.2 | | 0.090 | 53.77 |
| 45 | 6.6 | 23.4 | | 0.098 | 59.06 |
| 50 | 5.7 | 24.3 | | 0.081 | 48.46 |
| 55 | 4.7 | 25.3 | | 0.098 | 58.87 |
| 60 | 3.8 | 26.2 | Se relleno | 0.097 | 58.42 |
| 80 | 19.7 | 10.3 | | -0.258 | -154.81 |
| 100 | 11.7 | 18.3 | | 0.098 | 58.71 |
| 120 | 6.8 | 23.2 | | 0.087 | 52.10 |
| 140 | 3.7 | 26.3 | Se relleno | 0.076 | 45.72 |
| 160 | 19.8 | 10.2 | | -0.262 | -157.13 |
| 180 | 11.8 | 18.2 | | 0.097 | 58.42 |
| 200 | 7.3 | 22.7 | | 0.078 | 46.77 |
| 220 | 3.7 | 26.3 | Se relleno | 0.087 | 51.94 |
| 240 | 21.4 | 8.6 | | -0.278 | -166.51 |
| 260 | 13.8 | 16.2 | | 0.085 | 50.93 |
| 280 | 9.1 | 20.9 | | 0.072 | 43.15 |
| 300 | 5.6 | 24.4 | Se relleno | 0.071 | 42.80 |
| 320 | 21.3 | 8.7 | | -0.227 | -136.31 |
| 340 | 15.1 | 14.9 | | 0.067 | 40.33 |
| 360 | 10.9 | 19.1 | | 0.059 | 35.16 |
| 380 | 7.8 | 22.2 | | 0.054 | 32.53 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5 Ajuste de la curva de infiltración del costado Sureste del POLISAL

| Mediciones (min) | f(mm/h) | fcalculado | E | Ec |
|------------------|---------|------------|--------|----------------|
| 5 | 83.92 | 80.03 | 3.89 | 15.11 |
| 6 | 75.41 | 79.32 | -3.91 | 15.31 |
| 8 | 80.62 | 77.94 | 2.68 | 7.19 |
| 9 | 82.85 | 77.27 | 5.58 | 31.11 |
| 15 | 69.46 | 73.52 | -4.06 | 16.50 |
| 20 | 69.31 | 70.72 | -1.42 | 2.01 |
| 25 | 71.44 | 68.20 | 3.23 | 10.46 |
| 30 | 57.88 | 65.92 | -8.05 | 64.74 |
| 35 | 72.57 | 63.86 | 8.71 | 75.83 |
| 40 | 53.77 | 62.00 | -8.24 | 67.84 |
| 45 | 59.06 | 60.32 | -1.26 | 1.59 |
| 50 | 48.46 | 58.81 | -10.35 | 107.12 |
| 55 | 58.87 | 57.44 | 1.43 | 2.06 |
| 60 | 58.42 | 56.20 | 2.23 | 4.96 |
| 100 | 58.71 | 49.76 | 8.95 | 80.12 |
| 120 | 52.10 | 48.04 | 4.05 | 16.42 |
| 140 | 45.72 | 46.90 | -1.19 | 1.41 |
| 180 | 58.42 | 45.64 | 12.78 | 163.36 |
| 200 | 46.77 | 45.30 | 1.47 | 2.15 |
| 220 | 51.94 | 45.08 | 6.86 | 47.11 |
| 260 | 50.93 | 44.83 | 6.10 | 37.17 |
| 280 | 43.15 | 44.76 | -1.61 | 2.59 |
| 300 | 42.80 | 44.72 | -1.92 | 3.69 |
| 340 | 40.33 | 44.67 | -4.34 | 18.86 |
| 360 | 35.16 | 44.66 | -9.50 | 90.19 |
| 380 | 32.53 | 44.65 | -12.12 | 146.83 |
| TOTAL | | | | 1031.72 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de mediciones del tiempo y la tasa de infiltración en mm/h, se realizó el ajuste de los datos usando el modelo de infiltración de HORTON. Primeramente, se determinó la Tasa de Infiltración usando parámetros asumidos de 350 la máxima y 25 la mínima. Con la tasa calculada se determinó el error de la estimación y el error cuadrático. Usando la herramienta SOLVER en Excel se realizó el ajuste de los datos llevando los datos a un error mínimo. Como resultado se definió un Tasa máxima de infiltración de 83.82 mm/h y una tasa mínima de 44.63 mm/h, con un coeficiente de decrecimiento en el tiempo de -0.02.

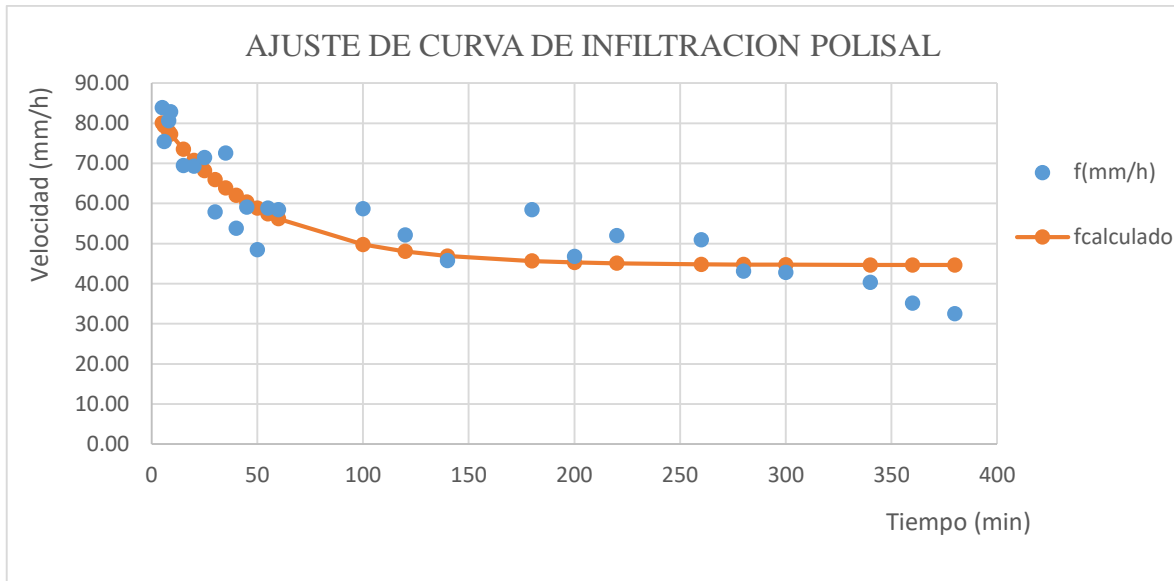


Ilustración 4.3 Ajuste de curva de infiltración para la zona del POLISAL

Fuente: Microsoft Excel.

4.1.3.1.3 Ensayo costado Este del Pabellón 46 UNAN - Managua

El tercer ensayo de infiltración se realizó en el costado Este del Pabellón 46 del Recinto Universitario Rubén Darío, el 16 de Junio del 2021, las características de la calicata son de 30cm de profundidad, por 20 de diámetro.



Tabla 4.6 Mediciones de la prueba de infiltración del costado Este del Pabellón 46

| Mediciones (min) | Medición (cm) | Descensos (cm) | Momento de relleno | F(cm/min) | f(mm/h) |
|------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------|---------|
| 0 | 30 | 0 | | | |
| 1 | 28.8 | 1.2 | | 0.174 | 104.66 |
| 2 | 27.5 | 2.5 | | 0.196 | 117.66 |
| 3 | 26.4 | 3.6 | | 0.172 | 103.30 |
| 4 | 25.6 | 4.4 | | 0.129 | 77.42 |
| 5 | 24 | 6 | | 0.269 | 161.11 |
| 6 | 23.4 | 6.6 | | 0.105 | 62.72 |
| 7 | 22.5 | 7.5 | | 0.161 | 96.61 |
| 8 | 21.6 | 8.4 | | 0.166 | 99.82 |
| 9 | 21.3 | 8.7 | | 0.057 | 34.03 |
| 10 | 21 | 9 | | 0.057 | 34.42 |
| 15 | 19.1 | 10.9 | | 0.076 | 45.53 |
| 20 | 16.2 | 13.8 | | 0.128 | 76.93 |
| 25 | 14.5 | 15.5 | | 0.084 | 50.15 |
| 30 | 12.8 | 17.2 | | 0.091 | 54.73 |
| 35 | 10.9 | 19.1 | | 0.113 | 67.73 |
| 40 | 9.6 | 20.4 | | 0.085 | 51.18 |
| 45 | 7.9 | 22.1 | | 0.124 | 74.28 |
| 50 | 6.5 | 23.5 | | 0.115 | 68.93 |
| 55 | 5.6 | 24.4 | | 0.081 | 48.90 |
| 60 | 3.8 | 26.2 | Relleno | 0.186 | 111.66 |
| 80 | 17.3 | 12.7 | | -0.232 | -139.48 |
| 100 | 11.3 | 18.7 | | 0.078 | 47.01 |
| 120 | 6.4 | 23.6 | Relleno | 0.089 | 53.63 |
| 140 | 20.9 | 9.1 | | -0.205 | -123.09 |
| 160 | 12.9 | 17.1 | | 0.092 | 55.42 |
| 180 | 8.7 | 21.3 | | 0.067 | 40.11 |
| 200 | 3.9 | 26.1 | Relleno | 0.108 | 64.70 |
| 220 | 21.5 | 8.5 | | -0.273 | -163.66 |
| 240 | 13.6 | 16.4 | | 0.088 | 53.10 |
| 260 | 9 | 21 | | 0.071 | 42.62 |
| 280 | 4.9 | 25.1 | Relleno | 0.087 | 51.98 |
| 300 | 22.3 | 7.7 | | -0.254 | -152.15 |
| 320 | 13.7 | 16.3 | | 0.095 | 56.75 |
| 340 | 9.1 | 20.9 | | 0.071 | 42.35 |
| 360 | 6.5 | 23.5 | Relleno | 0.051 | 30.57 |
| 380 | 22.4 | 7.6 | | -0.217 | -130.23 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.7 Ajuste de la curva de infiltración del costado Este del Pabellón 46

| Mediciones (min) | f(mm/h) | fcalculado | E | Ec |
|------------------|---------|------------|--------|---------|
| 1 | 104.66 | 105.77 | -1.11 | 1.22 |
| 3 | 103.30 | 95.22 | 8.08 | 65.26 |
| 4 | 77.42 | 90.70 | -13.28 | 176.24 |
| 6 | 62.72 | 82.94 | -20.22 | 408.71 |
| 7 | 96.61 | 79.61 | 17.00 | 288.93 |
| 8 | 99.82 | 76.61 | 23.21 | 538.93 |
| 15 | 45.53 | 62.36 | -16.83 | 283.12 |
| 25 | 50.15 | 53.63 | -3.48 | 12.10 |
| 30 | 54.73 | 51.67 | 3.06 | 9.37 |
| 40 | 51.18 | 49.79 | 1.39 | 1.94 |
| 55 | 48.90 | 48.96 | -0.06 | 0.00 |
| 100 | 47.01 | 48.73 | -1.72 | 2.95 |
| 120 | 53.63 | 48.73 | 4.90 | 24.04 |
| 160 | 55.42 | 48.73 | 6.69 | 44.72 |
| 180 | 40.11 | 48.73 | -8.62 | 74.28 |
| 200 | 64.70 | 48.73 | 15.97 | 255.11 |
| 240 | 53.10 | 48.73 | 4.37 | 19.08 |
| 260 | 42.62 | 48.73 | -6.11 | 37.38 |
| 280 | 51.98 | 48.73 | 3.25 | 10.56 |
| 320 | 56.75 | 48.73 | 8.03 | 64.40 |
| 340 | 42.35 | 48.73 | -6.38 | 40.67 |
| 360 | 30.57 | 48.73 | -18.16 | 329.61 |
| TOTAL | | | | 2688.62 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de mediciones del tiempo y la tasa de infiltración en mm/h, se realizó el ajuste de los datos usando el modelo de infiltración de HORTON. Primeramente, se determinó la Tasa de Infiltración usando parámetros asumidos de 350 la máxima y 25 la mínima. Con la tasa calculada se determinó el error de la estimación y el error cuadrático. Usando la herramienta SOLVER en Excel se realizó el ajuste de los datos llevando los datos a un error mínimo. Como resultado se definió un Tasa máxima de infiltración de 111.91 mm/h y una tasa mínima de 48.73 mm/h, con un coeficiente de decrecimiento en el tiempo de -0.10.

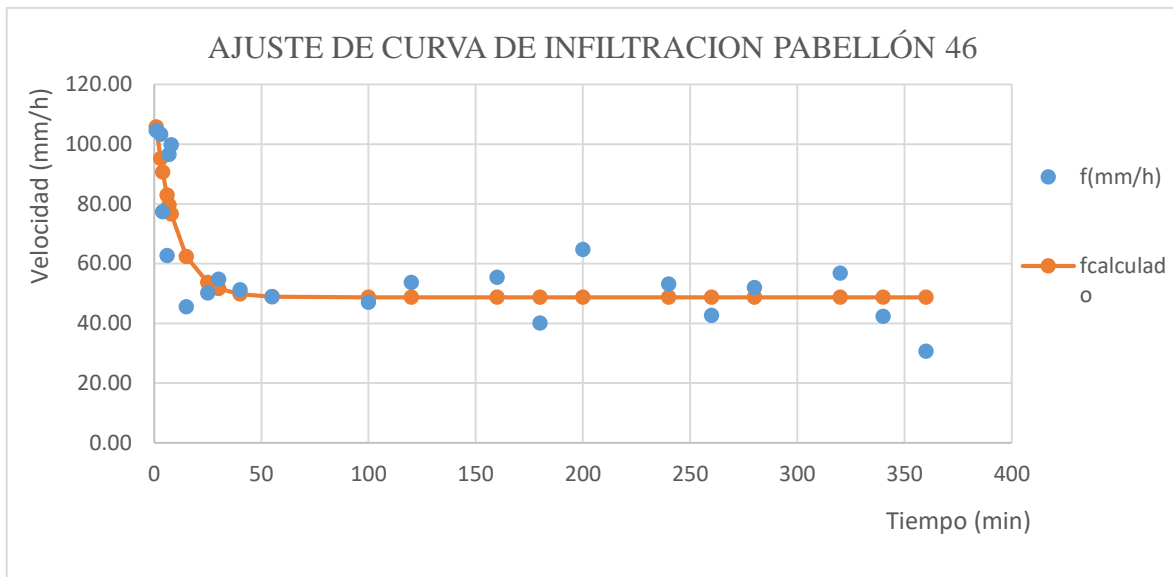


Ilustración 4.4 Ajuste de curva de infiltración para la zona del Pabellón 46

Fuente: Microsoft Excel.

4.1.3.1.4 Ensayo costado Sureste de la Biblioteca UNAN – Managua

El cuarto ensayo de infiltración se realizó en el costado Sureste de la Biblioteca del Recinto Universitario Rubén Darío, el 16 de Junio del 2021, las características de la calicata son de 30cm de profundidad, por 20 de diámetro.



Tabla 4.8 Mediciones de la prueba de infiltración del costado Sureste de la Biblioteca

| Mediciones (min) | Medición (cm) | Descensos (cm) | Momento de relleno | F(cm/min) | f(mm/h) |
|------------------|---------------|----------------|--------------------|-----------|---------|
| 0 | 30 | 0 | | | |
| 1 | 28.9 | 1.1 | | 0.160 | 95.80 |
| 2 | 27.5 | 2.5 | | 0.211 | 126.52 |
| 3 | 26.1 | 3.9 | | 0.220 | 132.10 |
| 4 | 24.2 | 5.8 | | 0.315 | 189.12 |
| 5 | 23.4 | 6.6 | | 0.139 | 83.34 |
| 6 | 22.3 | 7.7 | | 0.198 | 118.51 |
| 7 | 21.4 | 8.6 | | 0.168 | 100.57 |
| 8 | 20.8 | 9.2 | | 0.115 | 68.97 |
| 9 | 20.2 | 9.8 | | 0.118 | 70.59 |
| 10 | 19.7 | 10.3 | | 0.100 | 60.12 |
| 15 | 16.8 | 13.2 | | 0.125 | 74.94 |
| 20 | 14.9 | 15.1 | | 0.091 | 54.71 |
| 25 | 13.2 | 16.8 | | 0.089 | 53.58 |
| 30 | 11.9 | 18.1 | | 0.074 | 44.46 |
| 35 | 10.4 | 19.6 | | 0.093 | 55.77 |
| 40 | 9 | 21 | | 0.095 | 57.19 |
| 45 | 8.3 | 21.7 | | 0.051 | 30.78 |
| 50 | 7.5 | 22.5 | | 0.062 | 37.22 |
| 55 | 6.9 | 23.1 | | 0.049 | 29.51 |
| 60 | 6.4 | 23.6 | se relleno | 0.043 | 25.76 |
| 80 | 18.8 | 11.2 | | -0.184 | -110.41 |
| 100 | 11.8 | 18.2 | | 0.087 | 52.25 |
| 120 | 8.7 | 21.3 | se relleno | 0.051 | 30.60 |
| 140 | 19.4 | 10.6 | | -0.144 | -86.58 |
| 160 | 11.8 | 18.2 | | 0.093 | 55.98 |
| 180 | 8.8 | 21.2 | se relleno | 0.049 | 29.51 |
| 200 | 19.6 | 10.4 | | -0.145 | -86.71 |
| 220 | 11.9 | 18.1 | | 0.094 | 56.31 |
| 240 | 8.8 | 21.2 | | 0.051 | 30.40 |
| 260 | 4.8 | 25.2 | se relleno | 0.086 | 51.34 |
| 280 | 18.2 | 11.8 | | -0.215 | -129.27 |
| 300 | 11.4 | 18.6 | | 0.087 | 52.03 |
| 320 | 6 | 24 | se relleno | 0.100 | 59.91 |
| 340 | 18.9 | 11.1 | | -0.194 | -116.40 |
| 360 | 12.2 | 17.8 | | 0.082 | 49.35 |
| 380 | 7.9 | 22.1 | | 0.072 | 43.15 |

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.9 Ajuste de la curva de infiltración del costado Sureste de la Biblioteca

| Mediciones (min) | f(mm/h) | fcalculado | E | Ec |
|------------------|---------|------------|--------|---------|
| 1 | 95.80 | 121.62 | -25.82 | 666.90 |
| 2 | 126.52 | 114.74 | 11.78 | 138.88 |
| 3 | 132.10 | 108.46 | 23.64 | 558.69 |
| 5 | 83.34 | 97.51 | -14.17 | 200.71 |
| 6 | 118.51 | 92.74 | 25.77 | 664.03 |
| 7 | 100.57 | 88.39 | 12.18 | 148.31 |
| 8 | 68.97 | 84.42 | -15.45 | 238.82 |
| 9 | 70.59 | 80.80 | -10.21 | 104.28 |
| 10 | 60.12 | 77.50 | -17.38 | 302.04 |
| 15 | 74.94 | 64.86 | 10.07 | 101.46 |
| 20 | 54.71 | 56.88 | -2.16 | 4.69 |
| 25 | 53.58 | 51.83 | 1.74 | 3.04 |
| 30 | 44.46 | 48.65 | -4.18 | 17.49 |
| 35 | 55.77 | 46.63 | 9.13 | 83.43 |
| 40 | 57.19 | 45.36 | 11.82 | 139.81 |
| 45 | 30.78 | 44.56 | -13.78 | 189.95 |
| 50 | 37.22 | 44.05 | -6.83 | 46.64 |
| 55 | 29.51 | 43.73 | -14.22 | 202.08 |
| 60 | 25.76 | 43.53 | -17.77 | 315.84 |
| 100 | 52.25 | 43.19 | 9.06 | 82.04 |
| 120 | 30.60 | 43.18 | -12.58 | 158.34 |
| 160 | 55.98 | 43.18 | 12.80 | 163.87 |
| 180 | 29.51 | 43.18 | -13.67 | 186.95 |
| 220 | 56.31 | 43.18 | 13.14 | 172.54 |
| 240 | 30.40 | 43.18 | -12.78 | 163.39 |
| 260 | 51.34 | 43.18 | 8.16 | 66.64 |
| 300 | 52.03 | 43.18 | 8.85 | 78.35 |
| 320 | 59.91 | 43.18 | 16.73 | 279.85 |
| 360 | 49.35 | 43.18 | 6.17 | 38.02 |
| 380 | 43.15 | 43.18 | -0.03 | 0.00 |
| TOTAL | | | | 5517.09 |

Fuente: Elaboración propia.



Con los datos de mediciones del tiempo y la tasa de infiltración en mm/h, se realizó el ajuste de los datos usando el modelo de infiltración de HORTON. Primeramente, se determinó la Tasa de Infiltración usando parámetros asumidos de 350 la máxima y 25 la mínima. Con la tasa calculada se determinó el error de la estimación y el error cuadrático. Usando la herramienta SOLVER en Excel se realizó el ajuste de los datos llevando los datos a un error mínimo. Como resultado se definió un Tasa máxima de infiltración de 129.17 mm/h y una tasa mínima de 43.18 mm/h, con un coeficiente de decrecimiento en el tiempo de -0.09.

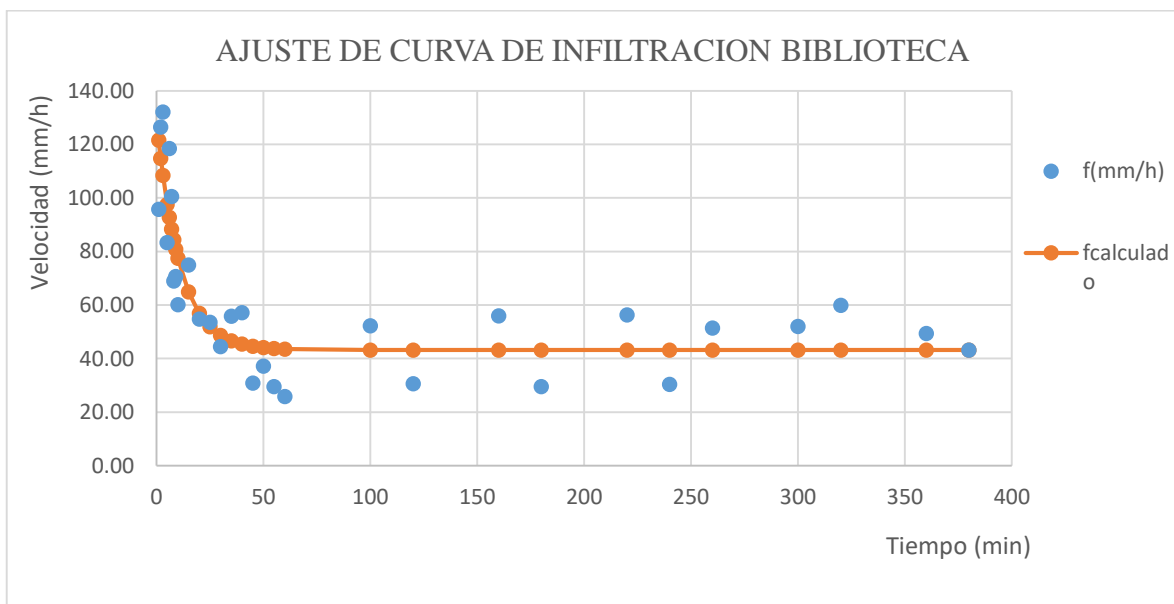


Ilustración 1.5 Ajuste de curva de infiltración para la zona de la Biblioteca

Fuente: Microsoft Excel



4.1.3.2 Método de infiltración de Green Ampt

Se determinaron las tasas de infiltración por el método de Green Ampt. Para eso fue necesario muestras de suelo que se detallan a continuación.

4.1.3.2.1 Muestra de Suelo N°1 (Contiguo al Campo de Béisbol)

| Características del Tipo de Suelo | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Franco - Arenoso | | | |
| Porosidad (η) | Porosidad Efectiva (θ_e) | Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ_f (cm) | Conductividad Hidráulica K_s (cm/h) |
| 0.453 | 0.412 | 11.01 | 1.09 |

| | |
|--|-------|
| Contenido de humedad inicial (θ_i) | 0.29 |
| Contenido residual de humedad (θ_r) | 0.041 |
| Contenido de humedad saturada (θ_s) | 0.604 |
| Tiempo t_r (hr) | 19 |
| Variación de humedad ($\Delta\theta$) | 0.163 |
| Deficit inicial | 0.163 |

| | |
|---|--------|
| Intensidad de Lluvia (cm/hr) | |
| P | 1.15 |
| Cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a acumularse en la superficie (cm) | |
| F_p | 64.578 |
| Tiempo que tarda el agua en comenzar a acumularse en la superficie (hr) | |
| t_p | 56.232 |
| Cantidad de infiltración (cm) | |
| F | 21.82 |
| Momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie (hr) | |
| t | 19 |
| Tasa de Infiltración (cm/h) | |
| $f(t)$ | 1.148 |

Nota: Los parámetros de infiltración de Green Ampt y la capacidad de humedad inicial fueron dados por una desviación estándar de acuerdo con la textura del suelo. (Ver las figuras 1 y 2 de los anexos).



4.1.3.2.2 Muestra de Suelo N°2 (Costado Sureste del POLISAL)

| Características del Tipo de Suelo | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Franco | | | |
| Porosidad (η) | Porosidad Efectiva (θ_e) | Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ_f (cm) | Conductividad Hidráulica K_s (cm/h) |
| 0.463 | 0.434 | 8.89 | 0.34 |

| | |
|--|-------|
| Contenido de humedad inicial (θ_i) | 0.34 |
| Contenido residual de humedad (θ_r) | 0.029 |
| Contenido de humedad saturada (θ_s) | 0.717 |
| Tiempo t_r (hr) | 19 |
| Variación de humedad ($\Delta\theta$) | 0.123 |
| Deficit inicial | 0.123 |

| | |
|---|-------|
| Intensidad de Lluvia (cm/hr) | |
| P | 1.15 |
| Cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a acumularse en la superficie (cm) | |
| F_p | 1.408 |
| Tiempo que tarda el agua en comenzar a acumularse en la superficie (hr) | |
| t_p | 1.226 |
| Cantidad de infiltración (cm) | |
| F | |
| Momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie (hr) | |
| t | |
| Tasa de Infiltración (cm/h) | |
| f(t) | |

Nota: Los parámetros de infiltración de Green Ampt y la capacidad de humedad inicial fueron dados por una desviación estándar de acuerdo con la textura del suelo. (Ver las figuras 1 y 2 de los anexos).



Tabla 4.10 Tasa de infiltración del suelo del costado Este del POLISAL

| F | t | f(t) |
|-------|--------|-------|
| 0 | 0 | 1.148 |
| 0.50 | 0.435 | 1.148 |
| 1.00 | 0.871 | 1.148 |
| 1.41 | 1.226 | 1.148 |
| 1.50 | 1.308 | 1.518 |
| 2.00 | 1.812 | 1.138 |
| 2.50 | 2.403 | 0.911 |
| 3.00 | 3.065 | 0.759 |
| 3.50 | 3.789 | 0.650 |
| 4.00 | 4.566 | 0.569 |
| 4.50 | 5.388 | 0.506 |
| 5.00 | 6.251 | 0.455 |
| 5.50 | 7.149 | 0.414 |
| 6.00 | 8.078 | 0.379 |
| 6.50 | 9.035 | 0.350 |
| 7.00 | 10.018 | 0.325 |
| 7.50 | 11.024 | 0.304 |
| 8.00 | 12.051 | 0.285 |
| 8.50 | 13.097 | 0.268 |
| 9.00 | 14.161 | 0.253 |
| 9.50 | 15.240 | 0.240 |
| 10.00 | 16.335 | 0.228 |
| 10.50 | 17.444 | 0.217 |
| 11.00 | 18.565 | 0.207 |
| 11.50 | 19.698 | 0.198 |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie es de 1.31 hr, mientras que la tasa de infiltración es de 1.52 cm/hr.



4.1.3.2.3 Muestra de Suelo N°3 (Costado Este del Pabellón 46)

| Características del Tipo de Suelo | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Franco | | | |
| Porosidad (η) | Porosidad Efectiva (θ_e) | Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ_f (cm) | Conductividad Hidráulica K_s (cm/h) |
| 0.463 | 0.434 | 8.89 | 0.34 |

| | |
|--|-------|
| Contenido de humedad inicial (θ_i) | 0.34 |
| Contenido residual de humedad (θ_r) | 0.029 |
| Contenido de humedad saturada (θ_s) | 0.717 |
| Tiempo t_r (hr) | 19 |
| Variación de humedad ($\Delta\theta$) | 0.123 |
| Deficit inicial | 0.123 |

| | |
|---|-------|
| Intensidad de Lluvia (cm/hr) | |
| P | 1.15 |
| Cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a acumularse en la superficie (cm) | |
| F_p | 1.408 |
| Tiempo que tarda el agua en comenzar a acumularse en la superficie (hr) | |
| t_p | 1.226 |
| Cantidad de infiltración (cm) | |
| F | |
| Momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie (hr) | |
| t | |
| Tasa de Infiltración (cm/h) | |
| f(t) | |

Nota: Los parámetros de infiltración de Green Ampt y la capacidad de humedad inicial fueron dados por una desviación estándar de acuerdo con la textura del suelo. (Ver las figuras 1 y 2 de los anexos).



Tabla 4.11 Tasa de infiltración del suelo del costado Este del pabellón 46

| F | t | f(t) |
|-------|--------|-------|
| 0 | 0 | 1.148 |
| 0.50 | 0.435 | 1.148 |
| 1.00 | 0.871 | 1.148 |
| 1.41 | 1.226 | 1.148 |
| 1.50 | 1.308 | 1.518 |
| 2.00 | 1.812 | 1.138 |
| 2.50 | 2.403 | 0.911 |
| 3.00 | 3.065 | 0.759 |
| 3.50 | 3.789 | 0.650 |
| 4.00 | 4.566 | 0.569 |
| 4.50 | 5.388 | 0.506 |
| 5.00 | 6.251 | 0.455 |
| 5.50 | 7.149 | 0.414 |
| 6.00 | 8.078 | 0.379 |
| 6.50 | 9.035 | 0.350 |
| 7.00 | 10.018 | 0.325 |
| 7.50 | 11.024 | 0.304 |
| 8.00 | 12.051 | 0.285 |
| 8.50 | 13.097 | 0.268 |
| 9.00 | 14.161 | 0.253 |
| 9.50 | 15.240 | 0.240 |
| 10.00 | 16.335 | 0.228 |
| 10.50 | 17.444 | 0.217 |
| 11.00 | 18.565 | 0.207 |
| 11.50 | 19.698 | 0.198 |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie es de 1.31 hr, mientras que la tasa de infiltración es de 1.52 cm/hr.



4.1.3.2.4 Muestra de Suelo N°4 (Costado Sureste de la Biblioteca)

| Características del Tipo de Suelo | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Franco - Arenoso | | | |
| Porosidad (η) | Porosidad Efectiva (θ_e) | Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ_f (cm) | Conductividad Hidráulica K_s (cm/h) |
| 0.453 | 0.412 | 11.01 | 1.09 |

| | |
|--|-------|
| Contenido de humedad inicial (θ_i) | 0.29 |
| Contenido residual de humedad (θ_r) | 0.041 |
| Contenido de humedad saturada (θ_s) | 0.604 |
| Tiempo t_r (hr) | 19 |
| Variación de humedad ($\Delta\theta$) | 0.163 |
| Deficit inicial | 0.163 |

| | |
|---|--------|
| Intensidad de Lluvia (cm/hr) | |
| P | 1.15 |
| Cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a acumularse en la superficie (cm) | |
| F_p | 64.578 |
| Tiempo que tarda el agua en comenzar a acumularse en la superficie (hr) | |
| t_p | 56.232 |
| Cantidad de infiltración (cm) | |
| F | 21.82 |
| Momento en el que se produce el encharcamiento de la superficie (hr) | |
| t | 19 |
| Tasa de Infiltración (cm/h) | |
| f(t) | 1.148 |

Nota: Los parámetros de infiltración de Green Ampt y la capacidad de humedad inicial fueron dados por una desviación estándar de acuerdo con la textura del suelo. (Ver las figuras 1 y 2 de los anexos).



4.1.3.3 Método de infiltración de Número de Curva

Se determinaron precipitación neta y abstracciones por el método de Número de Curva. Para eso fue necesario muestras de suelo que se detallan a continuación.

4.1.3.3.1 Número de curva para la zona de los campos de Béisbol

De acuerdo con la textura de suelo definida para la muestra de suelo en el laboratorio de edafología del Recinto Universitario RUPAP de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI (Ver figura 20 de los anexos). El suelo es Franco – Arenoso del grupo hidrológico B (Ver la figura 4 de los anexos), según la descripción más próxima a las condiciones del lugar en número de curva es de 88 (Ver la figura 8 de los anexos).

Tabla 4.12 Precipitación neta y abstracciones para la zona de los campos de Béisbol

| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| 04:10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 04:20 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.10 |
| 04:30 | 0.10 | 0.20 | 0.00 | 0.20 |
| 04:40 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.30 |
| 04:50 | 0.10 | 0.40 | 0.00 | 0.40 |
| 05:00 | 0.50 | 0.90 | 0.00 | 0.90 |
| 05:10 | 0.20 | 1.10 | 0.00 | 1.10 |
| 05:20 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 1.20 |
| 05:30 | 0.20 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:40 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:50 | 0.10 | 1.50 | 0.00 | 1.50 |
| 06:00 | 0.10 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:10 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:20 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:30 | 0.10 | 1.70 | 0.00 | 1.70 |
| 06:40 | 0.20 | 1.90 | 0.00 | 1.90 |
| 06:50 | 0.30 | 2.20 | 0.00 | 2.20 |
| 07:00 | 0.30 | 2.50 | 0.00 | 2.50 |
| 07:10 | 0.40 | 2.90 | 0.00 | 2.90 |
| 07:20 | 0.40 | 3.30 | 0.00 | 3.30 |
| 07:30 | 0.30 | 3.60 | 0.00 | 3.60 |
| 07:40 | 0.30 | 3.90 | 0.00 | 3.90 |
| 07:50 | 0.40 | 4.30 | 0.00 | 4.30 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| 08:00 | 0.40 | 4.70 | 0.00 | 4.70 |
| 08:10 | 0.20 | 4.90 | 0.00 | 4.90 |
| 08:20 | 0.30 | 5.20 | 0.00 | 5.20 |
| 08:30 | 0.10 | 5.30 | 0.00 | 5.30 |
| 08:40 | 0.40 | 5.70 | 0.00 | 5.70 |
| 08:50 | 2.90 | 8.60 | 0.08 | 8.52 |
| 09:00 | 1.50 | 10.10 | 0.27 | 9.83 |
| 09:10 | 0.40 | 10.50 | 0.33 | 10.17 |
| 09:20 | 0.20 | 10.70 | 0.37 | 10.33 |
| 09:30 | 0.10 | 10.80 | 0.39 | 10.41 |
| 09:40 | 0.30 | 11.10 | 0.45 | 10.65 |
| 09:50 | 0.80 | 11.90 | 0.62 | 11.28 |
| 10:00 | 0.60 | 12.50 | 0.77 | 11.73 |
| 10:10 | 0.60 | 13.10 | 0.93 | 12.17 |
| 10:20 | 0.80 | 13.90 | 1.17 | 12.73 |
| 10:30 | 1.70 | 15.60 | 1.74 | 13.86 |
| 10:40 | 3.20 | 18.80 | 3.03 | 15.77 |
| 10:50 | 1.60 | 20.40 | 3.77 | 16.63 |
| 11:00 | 1.20 | 21.60 | 4.37 | 17.23 |
| 11:10 | 1.30 | 22.90 | 5.04 | 17.86 |
| 11:20 | 4.20 | 27.10 | 7.42 | 19.68 |
| 11:30 | 6.30 | 33.40 | 11.47 | 21.93 |
| 11:40 | 4.50 | 37.90 | 14.62 | 23.28 |
| 11:50 | 3.30 | 41.20 | 17.05 | 24.15 |
| 12:00 | 6.00 | 47.20 | 21.65 | 25.55 |
| 12:10 | 5.70 | 52.90 | 26.22 | 26.68 |
| 12:20 | 3.20 | 56.10 | 28.85 | 27.25 |
| 12:30 | 4.20 | 60.30 | 32.37 | 27.93 |
| 12:40 | 2.30 | 62.60 | 34.32 | 28.28 |
| 12:50 | 2.10 | 64.70 | 36.12 | 28.58 |
| 13:00 | 2.80 | 67.50 | 38.54 | 28.96 |
| 13:10 | 1.80 | 69.30 | 40.10 | 29.20 |
| 13:20 | 0.80 | 70.10 | 40.80 | 29.30 |
| 13:30 | 0.60 | 70.70 | 41.33 | 29.37 |
| 13:40 | 0.60 | 71.30 | 41.85 | 29.45 |
| 13:50 | 0.60 | 71.90 | 42.38 | 29.52 |
| 14:00 | 1.80 | 73.70 | 43.97 | 29.73 |
| 14:10 | 0.90 | 74.60 | 44.76 | 29.84 |
| 14:20 | 0.70 | 75.30 | 45.38 | 29.92 |
| 14:30 | 1.20 | 76.50 | 46.45 | 30.05 |
| 14:40 | 1.80 | 78.30 | 48.05 | 30.25 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| 14:50 | 1.80 | 80.10 | 49.66 | 30.44 |
| 15:00 | 3.80 | 83.90 | 53.09 | 30.81 |
| 15:10 | 2.60 | 86.50 | 55.44 | 31.06 |
| 15:20 | 2.20 | 88.70 | 57.44 | 31.26 |
| 15:30 | 2.80 | 91.50 | 60.00 | 31.50 |
| 15:40 | 3.00 | 94.50 | 62.75 | 31.75 |
| 15:50 | 4.80 | 99.30 | 67.18 | 32.12 |
| 16:00 | 1.40 | 100.70 | 68.48 | 32.22 |
| 16:10 | 7.90 | 108.60 | 75.84 | 32.76 |
| 16:20 | 6.40 | 115.00 | 81.84 | 33.16 |
| 16:30 | 5.40 | 120.40 | 86.94 | 33.46 |
| 16:40 | 6.20 | 126.60 | 92.81 | 33.79 |
| 16:50 | 3.00 | 129.60 | 95.66 | 33.94 |
| 17:00 | 3.40 | 133.00 | 98.90 | 34.10 |
| 17:10 | 1.70 | 134.70 | 100.52 | 34.18 |
| 17:20 | 2.20 | 136.90 | 102.62 | 34.28 |
| 17:30 | 5.00 | 141.90 | 107.41 | 34.49 |
| 17:40 | 7.60 | 149.50 | 114.71 | 34.79 |
| 17:50 | 5.20 | 154.70 | 119.71 | 34.99 |
| 18:00 | 4.20 | 158.90 | 123.77 | 35.13 |
| 18:10 | 4.20 | 163.10 | 127.82 | 35.28 |
| 18:20 | 4.70 | 167.80 | 132.37 | 35.43 |
| 18:30 | 3.90 | 171.70 | 136.15 | 35.55 |
| 18:40 | 4.90 | 176.60 | 140.91 | 35.69 |
| 18:50 | 9.80 | 186.40 | 150.44 | 35.96 |
| 19:00 | 6.80 | 193.20 | 157.07 | 36.13 |
| 19:10 | 1.40 | 194.60 | 158.43 | 36.17 |
| 19:20 | 1.30 | 195.90 | 159.70 | 36.20 |
| 19:30 | 1.80 | 197.70 | 161.46 | 36.24 |
| 19:40 | 4.60 | 202.30 | 165.95 | 36.35 |
| 19:50 | 5.20 | 207.50 | 171.04 | 36.46 |
| 20:00 | 3.00 | 210.50 | 173.97 | 36.53 |
| 20:10 | 0.40 | 210.90 | 174.36 | 36.54 |
| 20:20 | 0.40 | 211.30 | 174.76 | 36.54 |
| 20:30 | 1.00 | 212.30 | 175.73 | 36.57 |
| 20:40 | 0.40 | 212.70 | 176.13 | 36.57 |
| 20:50 | 0.80 | 213.50 | 176.91 | 36.59 |
| 21:00 | 0.80 | 214.30 | 177.69 | 36.61 |
| 21:10 | 0.30 | 214.60 | 177.99 | 36.61 |
| 21:20 | 0.20 | 214.80 | 178.18 | 36.62 |
| 21:30 | 0.20 | 215.00 | 178.38 | 36.62 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| 21:40 | 0.30 | 215.30 | 178.67 | 36.63 |
| 21:50 | 0.70 | 216.00 | 179.36 | 36.64 |
| 22:00 | 0.40 | 216.40 | 179.75 | 36.65 |
| 22:10 | 0.40 | 216.80 | 180.14 | 36.66 |
| 22:20 | 0.30 | 217.10 | 180.44 | 36.66 |
| 22:30 | 0.40 | 217.50 | 180.83 | 36.67 |
| 22:40 | 0.40 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 22:50 | 0.00 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 23:00 | 0.10 | 218.00 | 181.32 | 36.68 |
| 23:10 | 0.10 | 218.10 | 181.42 | 36.68 |
| 23:20 | 0.10 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:30 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:40 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:50 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 24:00 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |

Fuente: Elaboración propia.

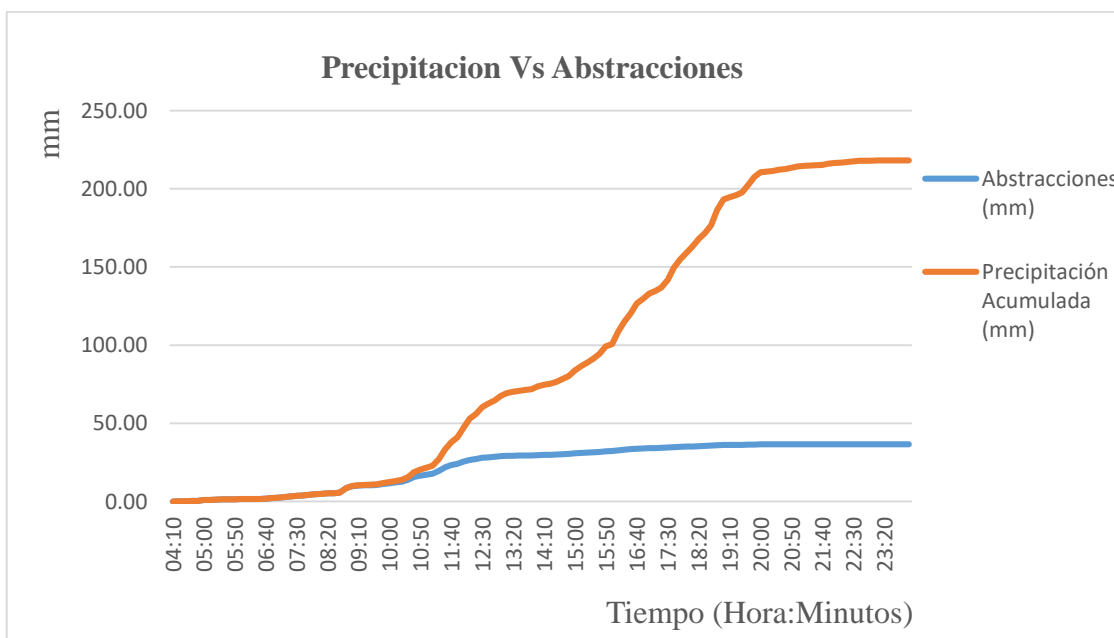


Ilustración 4.6 Precipitación neta de la zona del campo de Béisbol

Fuente: Microsoft Excel



4.1.3.3.2 Número de curva para la zona del POLISAL

De acuerdo con la textura de suelo definida para la muestra de suelo en el laboratorio de edafología del Recinto Universitario RUPAP de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI (Ver figura 20 de los anexos). El suelo es Franco del grupo hidrológico B, (Ver la figura 4 de los anexos), según la descripción más próxima a las condiciones del lugar en número de curva es de 88 (Ver la figura 8 de los anexos).

Tabla 4.13 Precipitación neta y abstracciones para la zona del POLISAL

| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 04:10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 04:20 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.10 |
| 04:30 | 0.10 | 0.20 | 0.00 | 0.20 |
| 04:40 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.30 |
| 04:50 | 0.10 | 0.40 | 0.00 | 0.40 |
| 05:00 | 0.50 | 0.90 | 0.00 | 0.90 |
| 05:10 | 0.20 | 1.10 | 0.00 | 1.10 |
| 05:20 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 1.20 |
| 05:30 | 0.20 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:40 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:50 | 0.10 | 1.50 | 0.00 | 1.50 |
| 06:00 | 0.10 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:10 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:20 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:30 | 0.10 | 1.70 | 0.00 | 1.70 |
| 06:40 | 0.20 | 1.90 | 0.00 | 1.90 |
| 06:50 | 0.30 | 2.20 | 0.00 | 2.20 |
| 07:00 | 0.30 | 2.50 | 0.00 | 2.50 |
| 07:10 | 0.40 | 2.90 | 0.00 | 2.90 |
| 07:20 | 0.40 | 3.30 | 0.00 | 3.30 |
| 07:30 | 0.30 | 3.60 | 0.00 | 3.60 |
| 07:40 | 0.30 | 3.90 | 0.00 | 3.90 |
| 07:50 | 0.40 | 4.30 | 0.00 | 4.30 |
| 08:00 | 0.40 | 4.70 | 0.00 | 4.70 |
| 08:10 | 0.20 | 4.90 | 0.00 | 4.90 |
| 08:20 | 0.30 | 5.20 | 0.00 | 5.20 |
| 08:30 | 0.10 | 5.30 | 0.00 | 5.30 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 08:40 | 0.40 | 5.70 | 0.00 | 5.70 |
| 08:50 | 2.90 | 8.60 | 0.08 | 8.52 |
| 09:00 | 1.50 | 10.10 | 0.27 | 9.83 |
| 09:10 | 0.40 | 10.50 | 0.33 | 10.17 |
| 09:20 | 0.20 | 10.70 | 0.37 | 10.33 |
| 09:30 | 0.10 | 10.80 | 0.39 | 10.41 |
| 09:40 | 0.30 | 11.10 | 0.45 | 10.65 |
| 09:50 | 0.80 | 11.90 | 0.62 | 11.28 |
| 10:00 | 0.60 | 12.50 | 0.77 | 11.73 |
| 10:10 | 0.60 | 13.10 | 0.93 | 12.17 |
| 10:20 | 0.80 | 13.90 | 1.17 | 12.73 |
| 10:30 | 1.70 | 15.60 | 1.74 | 13.86 |
| 10:40 | 3.20 | 18.80 | 3.03 | 15.77 |
| 10:50 | 1.60 | 20.40 | 3.77 | 16.63 |
| 11:00 | 1.20 | 21.60 | 4.37 | 17.23 |
| 11:10 | 1.30 | 22.90 | 5.04 | 17.86 |
| 11:20 | 4.20 | 27.10 | 7.42 | 19.68 |
| 11:30 | 6.30 | 33.40 | 11.47 | 21.93 |
| 11:40 | 4.50 | 37.90 | 14.62 | 23.28 |
| 11:50 | 3.30 | 41.20 | 17.05 | 24.15 |
| 12:00 | 6.00 | 47.20 | 21.65 | 25.55 |
| 12:10 | 5.70 | 52.90 | 26.22 | 26.68 |
| 12:20 | 3.20 | 56.10 | 28.85 | 27.25 |
| 12:30 | 4.20 | 60.30 | 32.37 | 27.93 |
| 12:40 | 2.30 | 62.60 | 34.32 | 28.28 |
| 12:50 | 2.10 | 64.70 | 36.12 | 28.58 |
| 13:00 | 2.80 | 67.50 | 38.54 | 28.96 |
| 13:10 | 1.80 | 69.30 | 40.10 | 29.20 |
| 13:20 | 0.80 | 70.10 | 40.80 | 29.30 |
| 13:30 | 0.60 | 70.70 | 41.33 | 29.37 |
| 13:40 | 0.60 | 71.30 | 41.85 | 29.45 |
| 13:50 | 0.60 | 71.90 | 42.38 | 29.52 |
| 14:00 | 1.80 | 73.70 | 43.97 | 29.73 |
| 14:10 | 0.90 | 74.60 | 44.76 | 29.84 |
| 14:20 | 0.70 | 75.30 | 45.38 | 29.92 |
| 14:30 | 1.20 | 76.50 | 46.45 | 30.05 |
| 14:40 | 1.80 | 78.30 | 48.05 | 30.25 |
| 14:50 | 1.80 | 80.10 | 49.66 | 30.44 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 15:00 | 3.80 | 83.90 | 53.09 | 30.81 |
| 15:10 | 2.60 | 86.50 | 55.44 | 31.06 |
| 15:20 | 2.20 | 88.70 | 57.44 | 31.26 |
| 15:30 | 2.80 | 91.50 | 60.00 | 31.50 |
| 15:40 | 3.00 | 94.50 | 62.75 | 31.75 |
| 15:50 | 4.80 | 99.30 | 67.18 | 32.12 |
| 16:00 | 1.40 | 100.70 | 68.48 | 32.22 |
| 16:10 | 7.90 | 108.60 | 75.84 | 32.76 |
| 16:20 | 6.40 | 115.00 | 81.84 | 33.16 |
| 16:30 | 5.40 | 120.40 | 86.94 | 33.46 |
| 16:40 | 6.20 | 126.60 | 92.81 | 33.79 |
| 16:50 | 3.00 | 129.60 | 95.66 | 33.94 |
| 17:00 | 3.40 | 133.00 | 98.90 | 34.10 |
| 17:10 | 1.70 | 134.70 | 100.52 | 34.18 |
| 17:20 | 2.20 | 136.90 | 102.62 | 34.28 |
| 17:30 | 5.00 | 141.90 | 107.41 | 34.49 |
| 17:40 | 7.60 | 149.50 | 114.71 | 34.79 |
| 17:50 | 5.20 | 154.70 | 119.71 | 34.99 |
| 18:00 | 4.20 | 158.90 | 123.77 | 35.13 |
| 18:10 | 4.20 | 163.10 | 127.82 | 35.28 |
| 18:20 | 4.70 | 167.80 | 132.37 | 35.43 |
| 18:30 | 3.90 | 171.70 | 136.15 | 35.55 |
| 18:40 | 4.90 | 176.60 | 140.91 | 35.69 |
| 18:50 | 9.80 | 186.40 | 150.44 | 35.96 |
| 19:00 | 6.80 | 193.20 | 157.07 | 36.13 |
| 19:10 | 1.40 | 194.60 | 158.43 | 36.17 |
| 19:20 | 1.30 | 195.90 | 159.70 | 36.20 |
| 19:30 | 1.80 | 197.70 | 161.46 | 36.24 |
| 19:40 | 4.60 | 202.30 | 165.95 | 36.35 |
| 19:50 | 5.20 | 207.50 | 171.04 | 36.46 |
| 20:00 | 3.00 | 210.50 | 173.97 | 36.53 |
| 20:10 | 0.40 | 210.90 | 174.36 | 36.54 |
| 20:20 | 0.40 | 211.30 | 174.76 | 36.54 |
| 20:30 | 1.00 | 212.30 | 175.73 | 36.57 |
| 20:40 | 0.40 | 212.70 | 176.13 | 36.57 |
| 20:50 | 0.80 | 213.50 | 176.91 | 36.59 |
| 21:00 | 0.80 | 214.30 | 177.69 | 36.61 |
| 21:10 | 0.30 | 214.60 | 177.99 | 36.61 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 21:20 | 0.20 | 214.80 | 178.18 | 36.62 |
| 21:30 | 0.20 | 215.00 | 178.38 | 36.62 |
| 21:40 | 0.30 | 215.30 | 178.67 | 36.63 |
| 21:50 | 0.70 | 216.00 | 179.36 | 36.64 |
| 22:00 | 0.40 | 216.40 | 179.75 | 36.65 |
| 22:10 | 0.40 | 216.80 | 180.14 | 36.66 |
| 22:20 | 0.30 | 217.10 | 180.44 | 36.66 |
| 22:30 | 0.40 | 217.50 | 180.83 | 36.67 |
| 22:40 | 0.40 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 22:50 | 0.00 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 23:00 | 0.10 | 218.00 | 181.32 | 36.68 |
| 23:10 | 0.10 | 218.10 | 181.42 | 36.68 |
| 23:20 | 0.10 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:30 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:40 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:50 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 24:00 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |

Fuente: Elaboración propia.

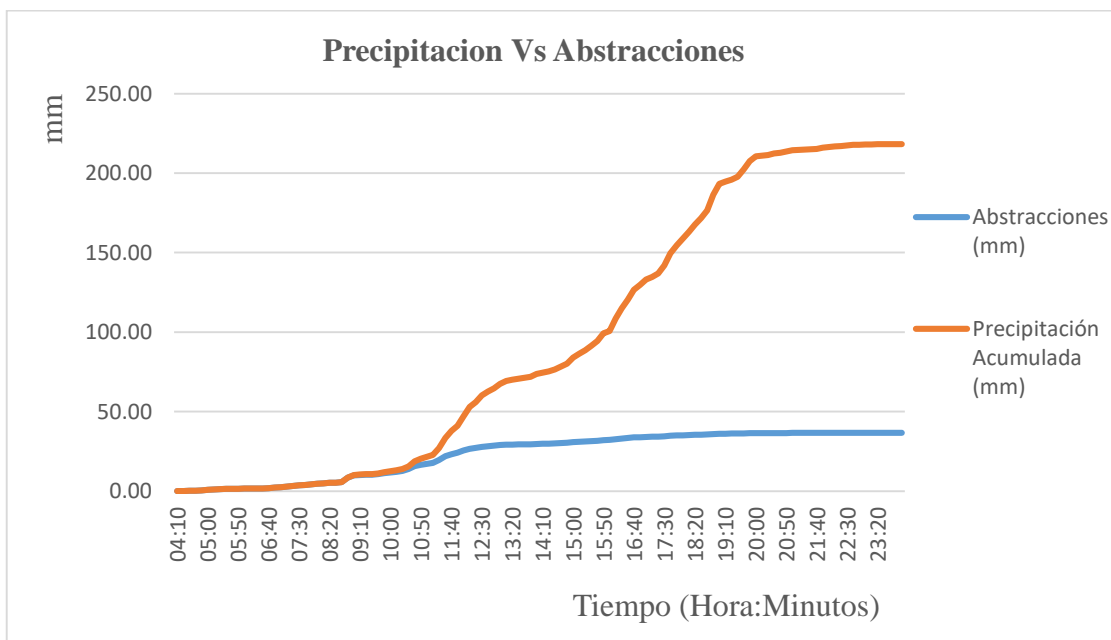


Ilustración 4.7 Precipitación neta de la zona del POLISAL

Fuente: Microsoft Excel



4.1.3.3 Número de curva para la zona del Pabellón 46

De acuerdo con la textura de suelo definida para la muestra de suelo en el laboratorio de edafología del Recinto Universitario RUPAP de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI (Ver figura 20 de los anexos). El suelo es Franco del grupo hidrológico B, (Ver la figura 4 de los anexos), según la descripción más próxima a las condiciones del lugar en número de curva es de 88 (Ver la figura 8 de los anexos).

Tabla 4.14 Precipitación neta y abstracciones para la zona del Pabellón 46

| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 04:20 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.10 |
| 04:30 | 0.10 | 0.20 | 0.00 | 0.20 |
| 04:40 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.30 |
| 04:50 | 0.10 | 0.40 | 0.00 | 0.40 |
| 05:00 | 0.50 | 0.90 | 0.00 | 0.90 |
| 05:10 | 0.20 | 1.10 | 0.00 | 1.10 |
| 05:20 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 1.20 |
| 05:30 | 0.20 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:40 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:50 | 0.10 | 1.50 | 0.00 | 1.50 |
| 06:00 | 0.10 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:10 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:20 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:30 | 0.10 | 1.70 | 0.00 | 1.70 |
| 06:40 | 0.20 | 1.90 | 0.00 | 1.90 |
| 06:50 | 0.30 | 2.20 | 0.00 | 2.20 |
| 07:00 | 0.30 | 2.50 | 0.00 | 2.50 |
| 07:10 | 0.40 | 2.90 | 0.00 | 2.90 |
| 07:20 | 0.40 | 3.30 | 0.00 | 3.30 |
| 07:30 | 0.30 | 3.60 | 0.00 | 3.60 |
| 07:40 | 0.30 | 3.90 | 0.00 | 3.90 |
| 07:50 | 0.40 | 4.30 | 0.00 | 4.30 |
| 08:00 | 0.40 | 4.70 | 0.00 | 4.70 |
| 08:10 | 0.20 | 4.90 | 0.00 | 4.90 |
| 08:20 | 0.30 | 5.20 | 0.00 | 5.20 |
| 08:30 | 0.10 | 5.30 | 0.00 | 5.30 |
| 08:40 | 0.40 | 5.70 | 0.00 | 5.70 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 08:50 | 2.90 | 8.60 | 0.08 | 8.52 |
| 09:00 | 1.50 | 10.10 | 0.27 | 9.83 |
| 09:10 | 0.40 | 10.50 | 0.33 | 10.17 |
| 09:20 | 0.20 | 10.70 | 0.37 | 10.33 |
| 09:30 | 0.10 | 10.80 | 0.39 | 10.41 |
| 09:40 | 0.30 | 11.10 | 0.45 | 10.65 |
| 09:50 | 0.80 | 11.90 | 0.62 | 11.28 |
| 10:00 | 0.60 | 12.50 | 0.77 | 11.73 |
| 10:10 | 0.60 | 13.10 | 0.93 | 12.17 |
| 10:20 | 0.80 | 13.90 | 1.17 | 12.73 |
| 10:30 | 1.70 | 15.60 | 1.74 | 13.86 |
| 10:40 | 3.20 | 18.80 | 3.03 | 15.77 |
| 10:50 | 1.60 | 20.40 | 3.77 | 16.63 |
| 11:00 | 1.20 | 21.60 | 4.37 | 17.23 |
| 11:10 | 1.30 | 22.90 | 5.04 | 17.86 |
| 11:20 | 4.20 | 27.10 | 7.42 | 19.68 |
| 11:30 | 6.30 | 33.40 | 11.47 | 21.93 |
| 11:40 | 4.50 | 37.90 | 14.62 | 23.28 |
| 11:50 | 3.30 | 41.20 | 17.05 | 24.15 |
| 12:00 | 6.00 | 47.20 | 21.65 | 25.55 |
| 12:10 | 5.70 | 52.90 | 26.22 | 26.68 |
| 12:20 | 3.20 | 56.10 | 28.85 | 27.25 |
| 12:30 | 4.20 | 60.30 | 32.37 | 27.93 |
| 12:40 | 2.30 | 62.60 | 34.32 | 28.28 |
| 12:50 | 2.10 | 64.70 | 36.12 | 28.58 |
| 13:00 | 2.80 | 67.50 | 38.54 | 28.96 |
| 13:10 | 1.80 | 69.30 | 40.10 | 29.20 |
| 13:20 | 0.80 | 70.10 | 40.80 | 29.30 |
| 13:30 | 0.60 | 70.70 | 41.33 | 29.37 |
| 13:40 | 0.60 | 71.30 | 41.85 | 29.45 |
| 13:50 | 0.60 | 71.90 | 42.38 | 29.52 |
| 14:00 | 1.80 | 73.70 | 43.97 | 29.73 |
| 14:10 | 0.90 | 74.60 | 44.76 | 29.84 |
| 14:20 | 0.70 | 75.30 | 45.38 | 29.92 |
| 14:30 | 1.20 | 76.50 | 46.45 | 30.05 |
| 14:40 | 1.80 | 78.30 | 48.05 | 30.25 |
| 14:50 | 1.80 | 80.10 | 49.66 | 30.44 |
| 15:00 | 3.80 | 83.90 | 53.09 | 30.81 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 15:10 | 2.60 | 86.50 | 55.44 | 31.06 |
| 15:20 | 2.20 | 88.70 | 57.44 | 31.26 |
| 15:30 | 2.80 | 91.50 | 60.00 | 31.50 |
| 15:40 | 3.00 | 94.50 | 62.75 | 31.75 |
| 15:50 | 4.80 | 99.30 | 67.18 | 32.12 |
| 16:00 | 1.40 | 100.70 | 68.48 | 32.22 |
| 16:10 | 7.90 | 108.60 | 75.84 | 32.76 |
| 16:20 | 6.40 | 115.00 | 81.84 | 33.16 |
| 16:30 | 5.40 | 120.40 | 86.94 | 33.46 |
| 16:40 | 6.20 | 126.60 | 92.81 | 33.79 |
| 16:50 | 3.00 | 129.60 | 95.66 | 33.94 |
| 17:00 | 3.40 | 133.00 | 98.90 | 34.10 |
| 17:10 | 1.70 | 134.70 | 100.52 | 34.18 |
| 17:20 | 2.20 | 136.90 | 102.62 | 34.28 |
| 17:30 | 5.00 | 141.90 | 107.41 | 34.49 |
| 17:40 | 7.60 | 149.50 | 114.71 | 34.79 |
| 17:50 | 5.20 | 154.70 | 119.71 | 34.99 |
| 18:00 | 4.20 | 158.90 | 123.77 | 35.13 |
| 18:10 | 4.20 | 163.10 | 127.82 | 35.28 |
| 18:20 | 4.70 | 167.80 | 132.37 | 35.43 |
| 18:30 | 3.90 | 171.70 | 136.15 | 35.55 |
| 18:40 | 4.90 | 176.60 | 140.91 | 35.69 |
| 18:50 | 9.80 | 186.40 | 150.44 | 35.96 |
| 19:00 | 6.80 | 193.20 | 157.07 | 36.13 |
| 19:10 | 1.40 | 194.60 | 158.43 | 36.17 |
| 19:20 | 1.30 | 195.90 | 159.70 | 36.20 |
| 19:30 | 1.80 | 197.70 | 161.46 | 36.24 |
| 19:40 | 4.60 | 202.30 | 165.95 | 36.35 |
| 19:50 | 5.20 | 207.50 | 171.04 | 36.46 |
| 20:00 | 3.00 | 210.50 | 173.97 | 36.53 |
| 20:10 | 0.40 | 210.90 | 174.36 | 36.54 |
| 20:20 | 0.40 | 211.30 | 174.76 | 36.54 |
| 20:30 | 1.00 | 212.30 | 175.73 | 36.57 |
| 20:40 | 0.40 | 212.70 | 176.13 | 36.57 |
| 20:50 | 0.80 | 213.50 | 176.91 | 36.59 |
| 21:00 | 0.80 | 214.30 | 177.69 | 36.61 |
| 21:10 | 0.30 | 214.60 | 177.99 | 36.61 |
| 21:20 | 0.20 | 214.80 | 178.18 | 36.62 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 21:30 | 0.20 | 215.00 | 178.38 | 36.62 |
| 21:40 | 0.30 | 215.30 | 178.67 | 36.63 |
| 21:50 | 0.70 | 216.00 | 179.36 | 36.64 |
| 22:00 | 0.40 | 216.40 | 179.75 | 36.65 |
| 22:10 | 0.40 | 216.80 | 180.14 | 36.66 |
| 22:20 | 0.30 | 217.10 | 180.44 | 36.66 |
| 22:30 | 0.40 | 217.50 | 180.83 | 36.67 |
| 22:40 | 0.40 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 22:50 | 0.00 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 23:00 | 0.10 | 218.00 | 181.32 | 36.68 |
| 23:10 | 0.10 | 218.10 | 181.42 | 36.68 |
| 23:20 | 0.10 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:30 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:40 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:50 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 24:00 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |

Fuente: Elaboración propia.

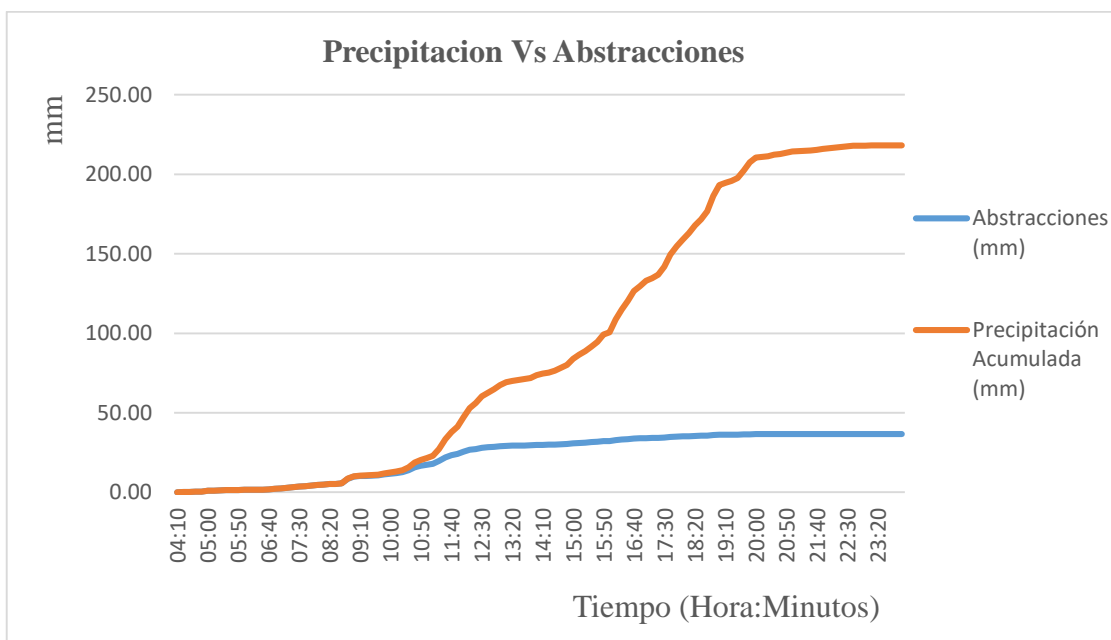


Ilustración 4.8 Precipitación neta de la zona del Pabellón 46

Fuente: Microsoft Excel



4.1.3.3.4 Número de curva para la zona de la Biblioteca

De acuerdo con la textura de suelo definida para la muestra de suelo en el laboratorio de edafología del Recinto Universitario RUPAP de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI (Ver figura 20 de los anexos). El suelo es Franco - Arenoso del grupo hidrológico B, (Ver la figura 4 de los anexos), según la descripción más próxima a las condiciones del lugar en número de curva es de 88 (Ver la figura 8 de los anexos).

Tabla 4.15 Precipitación neta y abstracciones para la zona de la Biblioteca

| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 04:20 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.10 |
| 04:30 | 0.10 | 0.20 | 0.00 | 0.20 |
| 04:40 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.30 |
| 04:50 | 0.10 | 0.40 | 0.00 | 0.40 |
| 05:00 | 0.50 | 0.90 | 0.00 | 0.90 |
| 05:10 | 0.20 | 1.10 | 0.00 | 1.10 |
| 05:20 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 1.20 |
| 05:30 | 0.20 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:40 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 1.40 |
| 05:50 | 0.10 | 1.50 | 0.00 | 1.50 |
| 06:00 | 0.10 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:10 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:20 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 1.60 |
| 06:30 | 0.10 | 1.70 | 0.00 | 1.70 |
| 06:40 | 0.20 | 1.90 | 0.00 | 1.90 |
| 06:50 | 0.30 | 2.20 | 0.00 | 2.20 |
| 07:00 | 0.30 | 2.50 | 0.00 | 2.50 |
| 07:10 | 0.40 | 2.90 | 0.00 | 2.90 |
| 07:20 | 0.40 | 3.30 | 0.00 | 3.30 |
| 07:30 | 0.30 | 3.60 | 0.00 | 3.60 |
| 07:40 | 0.30 | 3.90 | 0.00 | 3.90 |
| 07:50 | 0.40 | 4.30 | 0.00 | 4.30 |
| 08:00 | 0.40 | 4.70 | 0.00 | 4.70 |
| 08:10 | 0.20 | 4.90 | 0.00 | 4.90 |
| 08:20 | 0.30 | 5.20 | 0.00 | 5.20 |
| 08:30 | 0.10 | 5.30 | 0.00 | 5.30 |
| 08:40 | 0.40 | 5.70 | 0.00 | 5.70 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 08:50 | 2.90 | 8.60 | 0.08 | 8.52 |
| 09:00 | 1.50 | 10.10 | 0.27 | 9.83 |
| 09:10 | 0.40 | 10.50 | 0.33 | 10.17 |
| 09:20 | 0.20 | 10.70 | 0.37 | 10.33 |
| 09:30 | 0.10 | 10.80 | 0.39 | 10.41 |
| 09:40 | 0.30 | 11.10 | 0.45 | 10.65 |
| 09:50 | 0.80 | 11.90 | 0.62 | 11.28 |
| 10:00 | 0.60 | 12.50 | 0.77 | 11.73 |
| 10:10 | 0.60 | 13.10 | 0.93 | 12.17 |
| 10:20 | 0.80 | 13.90 | 1.17 | 12.73 |
| 10:30 | 1.70 | 15.60 | 1.74 | 13.86 |
| 10:40 | 3.20 | 18.80 | 3.03 | 15.77 |
| 10:50 | 1.60 | 20.40 | 3.77 | 16.63 |
| 11:00 | 1.20 | 21.60 | 4.37 | 17.23 |
| 11:10 | 1.30 | 22.90 | 5.04 | 17.86 |
| 11:20 | 4.20 | 27.10 | 7.42 | 19.68 |
| 11:30 | 6.30 | 33.40 | 11.47 | 21.93 |
| 11:40 | 4.50 | 37.90 | 14.62 | 23.28 |
| 11:50 | 3.30 | 41.20 | 17.05 | 24.15 |
| 12:00 | 6.00 | 47.20 | 21.65 | 25.55 |
| 12:10 | 5.70 | 52.90 | 26.22 | 26.68 |
| 12:20 | 3.20 | 56.10 | 28.85 | 27.25 |
| 12:30 | 4.20 | 60.30 | 32.37 | 27.93 |
| 12:40 | 2.30 | 62.60 | 34.32 | 28.28 |
| 12:50 | 2.10 | 64.70 | 36.12 | 28.58 |
| 13:00 | 2.80 | 67.50 | 38.54 | 28.96 |
| 13:10 | 1.80 | 69.30 | 40.10 | 29.20 |
| 13:20 | 0.80 | 70.10 | 40.80 | 29.30 |
| 13:30 | 0.60 | 70.70 | 41.33 | 29.37 |
| 13:40 | 0.60 | 71.30 | 41.85 | 29.45 |
| 13:50 | 0.60 | 71.90 | 42.38 | 29.52 |
| 14:00 | 1.80 | 73.70 | 43.97 | 29.73 |
| 14:10 | 0.90 | 74.60 | 44.76 | 29.84 |
| 14:20 | 0.70 | 75.30 | 45.38 | 29.92 |
| 14:30 | 1.20 | 76.50 | 46.45 | 30.05 |
| 14:40 | 1.80 | 78.30 | 48.05 | 30.25 |
| 14:50 | 1.80 | 80.10 | 49.66 | 30.44 |
| 15:00 | 3.80 | 83.90 | 53.09 | 30.81 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 15:10 | 2.60 | 86.50 | 55.44 | 31.06 |
| 15:20 | 2.20 | 88.70 | 57.44 | 31.26 |
| 15:30 | 2.80 | 91.50 | 60.00 | 31.50 |
| 15:40 | 3.00 | 94.50 | 62.75 | 31.75 |
| 15:50 | 4.80 | 99.30 | 67.18 | 32.12 |
| 16:00 | 1.40 | 100.70 | 68.48 | 32.22 |
| 16:10 | 7.90 | 108.60 | 75.84 | 32.76 |
| 16:20 | 6.40 | 115.00 | 81.84 | 33.16 |
| 16:30 | 5.40 | 120.40 | 86.94 | 33.46 |
| 16:40 | 6.20 | 126.60 | 92.81 | 33.79 |
| 16:50 | 3.00 | 129.60 | 95.66 | 33.94 |
| 17:00 | 3.40 | 133.00 | 98.90 | 34.10 |
| 17:10 | 1.70 | 134.70 | 100.52 | 34.18 |
| 17:20 | 2.20 | 136.90 | 102.62 | 34.28 |
| 17:30 | 5.00 | 141.90 | 107.41 | 34.49 |
| 17:40 | 7.60 | 149.50 | 114.71 | 34.79 |
| 17:50 | 5.20 | 154.70 | 119.71 | 34.99 |
| 18:00 | 4.20 | 158.90 | 123.77 | 35.13 |
| 18:10 | 4.20 | 163.10 | 127.82 | 35.28 |
| 18:20 | 4.70 | 167.80 | 132.37 | 35.43 |
| 18:30 | 3.90 | 171.70 | 136.15 | 35.55 |
| 18:40 | 4.90 | 176.60 | 140.91 | 35.69 |
| 18:50 | 9.80 | 186.40 | 150.44 | 35.96 |
| 19:00 | 6.80 | 193.20 | 157.07 | 36.13 |
| 19:10 | 1.40 | 194.60 | 158.43 | 36.17 |
| 19:20 | 1.30 | 195.90 | 159.70 | 36.20 |
| 19:30 | 1.80 | 197.70 | 161.46 | 36.24 |
| 19:40 | 4.60 | 202.30 | 165.95 | 36.35 |
| 19:50 | 5.20 | 207.50 | 171.04 | 36.46 |
| 20:00 | 3.00 | 210.50 | 173.97 | 36.53 |
| 20:10 | 0.40 | 210.90 | 174.36 | 36.54 |
| 20:20 | 0.40 | 211.30 | 174.76 | 36.54 |
| 20:30 | 1.00 | 212.30 | 175.73 | 36.57 |
| 20:40 | 0.40 | 212.70 | 176.13 | 36.57 |
| 20:50 | 0.80 | 213.50 | 176.91 | 36.59 |
| 21:00 | 0.80 | 214.30 | 177.69 | 36.61 |
| 21:10 | 0.30 | 214.60 | 177.99 | 36.61 |
| 21:20 | 0.20 | 214.80 | 178.18 | 36.62 |



| T (Hrs:Min) | Precipitación (mm) | Precipitación Acumulada (mm) | Q (mm) | Abstracciones (mm) |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------------------|
| 21:30 | 0.20 | 215.00 | 178.38 | 36.62 |
| 21:40 | 0.30 | 215.30 | 178.67 | 36.63 |
| 21:50 | 0.70 | 216.00 | 179.36 | 36.64 |
| 22:00 | 0.40 | 216.40 | 179.75 | 36.65 |
| 22:10 | 0.40 | 216.80 | 180.14 | 36.66 |
| 22:20 | 0.30 | 217.10 | 180.44 | 36.66 |
| 22:30 | 0.40 | 217.50 | 180.83 | 36.67 |
| 22:40 | 0.40 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 22:50 | 0.00 | 217.90 | 181.22 | 36.68 |
| 23:00 | 0.10 | 218.00 | 181.32 | 36.68 |
| 23:10 | 0.10 | 218.10 | 181.42 | 36.68 |
| 23:20 | 0.10 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:30 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:40 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 23:50 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |
| 24:00 | 0.00 | 218.20 | 181.51 | 36.69 |

Fuente: Elaboración propia.

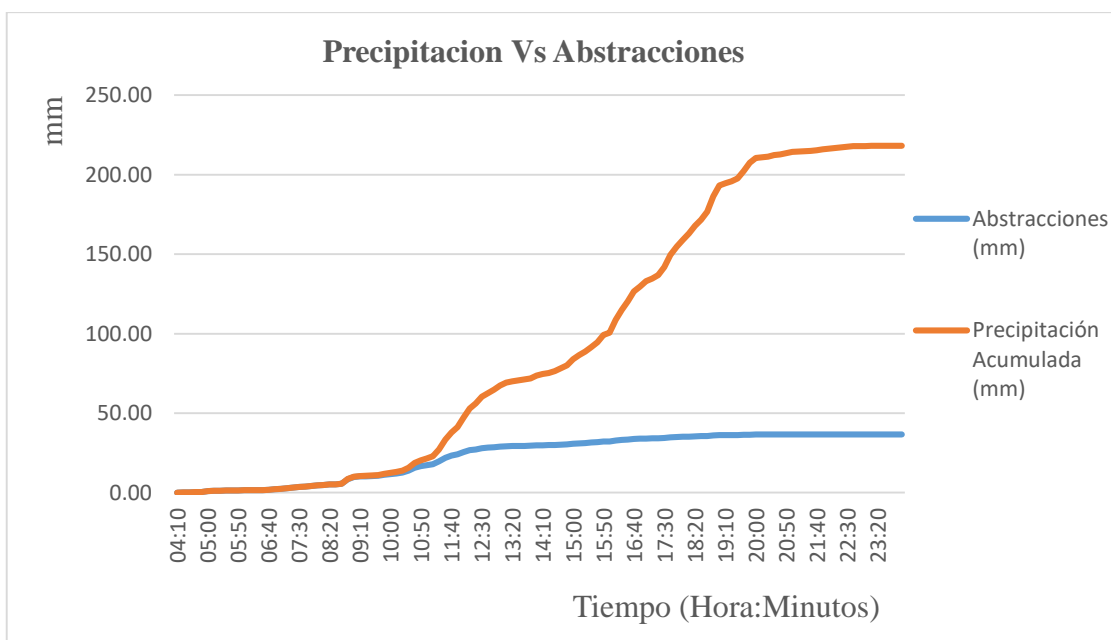


Ilustración 4.9 Precipitación neta de la zona de la Biblioteca

Fuente: Microsoft Excel



4.1.4 Modelo de drenaje pluvial utilizando el Software EPA-SWMM.

Construida la red de drenaje se procedió a cargarlo a manera de modelo en EPA SWMM. La ruta de trabajo para lograr es AUTOCAD – EPACAD – EPA SWMM. Los puntos clave o determinantes del modelo son: Subcuencas, Nodos y Tuberías.

Para las Subcuencas se definieron el sector al que pertenecen, los nodos que descargan, el porcentaje de impermeabilidad, el área y pendiente, en cambio para los nodos se requirió hacer un levantamiento para conocer las elevaciones y para las tuberías se definieron el tipo de sección y longitud.

Esta misma red de drenaje se procedió a cargarlo a manera de modelo en EPA SWMM. La ruta de trabajo para lograr es AUTOCAD – EPACAD – EPA SWMM. En la siguiente imagen se muestra el resultado de dicho modelo:

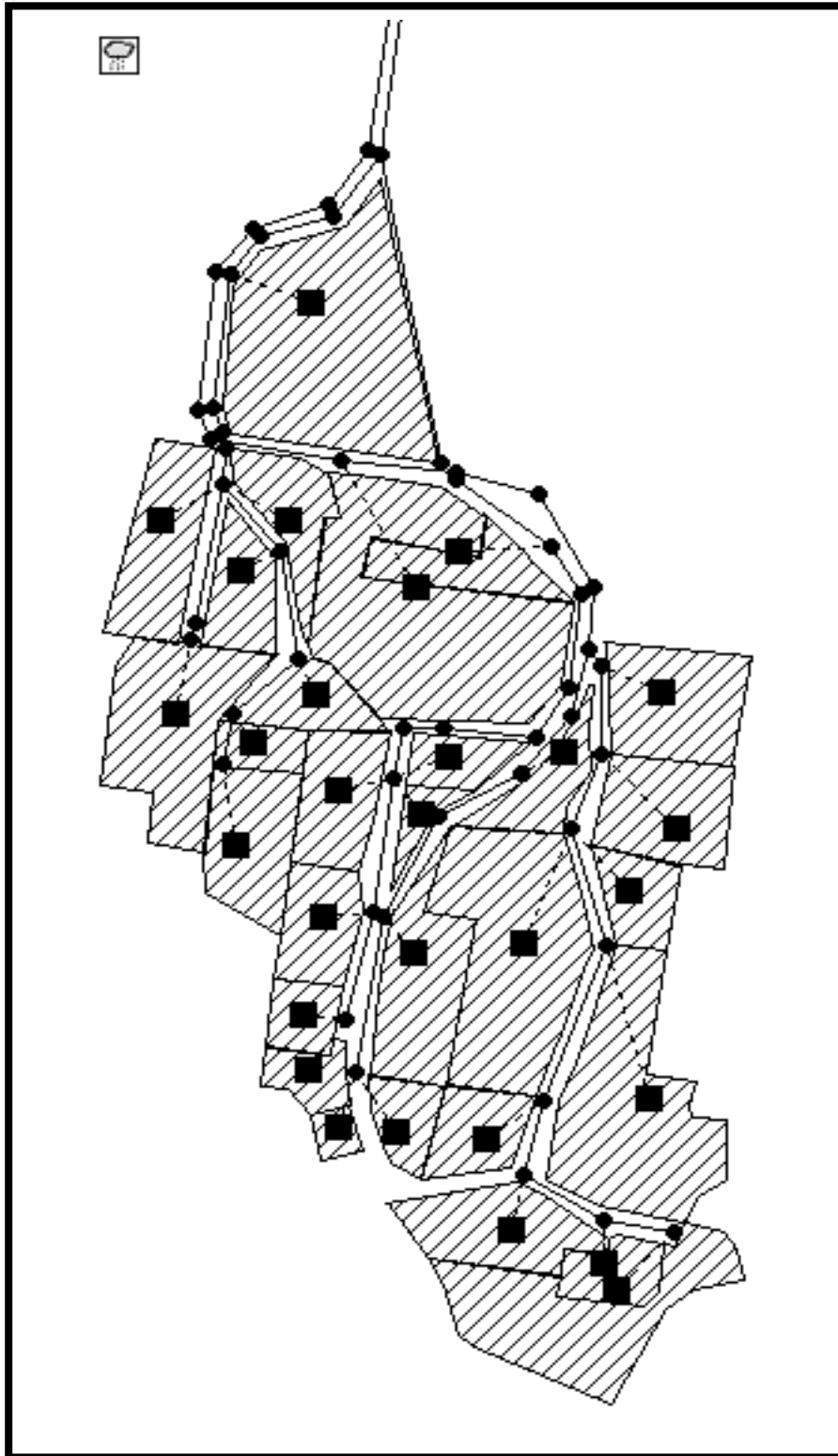


Ilustración 4.10 Esquema de la red de drenaje

Fuente: EPA SWMM

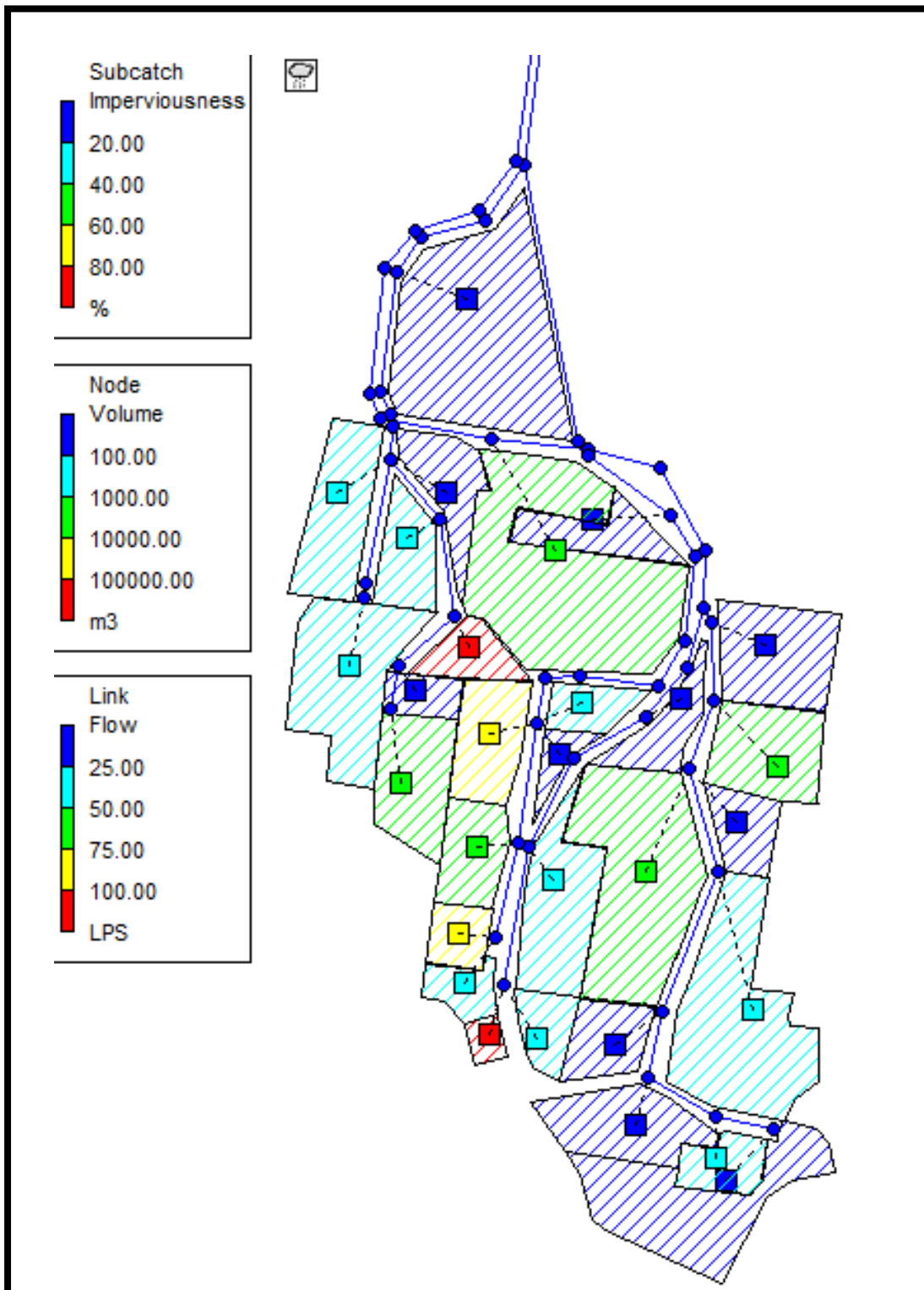


Ilustración 4.11 Impermeabilidad de la red de drenaje

Fuente: EPA SWMM



4.1.5 Calibración del modelo de drenaje pluvial

Ingresando la lluvia de calibración registrada el 14 de Octubre del 2021 al modelo en EPA SWMM, al igual que todos los datos de entrada detallados en el presente documento (página 10), se ajustaron los caudales medidos mediante aforos y los caudales obtenidos del modelo. Para la evaluación de los resultados en términos de tirantes hidráulicos se calcularon los coeficientes definidos en el plan de análisis de resultados (NSE).

El aforo de caudales número 1 realizado en el canal trapezoidal ubicado en la parte Noroeste del Pabellón 50 y el segundo aforo realizado en el canal rectangular que atraviesa el Pabellón 24, se modelaron por los tres métodos de infiltración que el Software EPA SWMM permite, los cuales se detallan a continuación.

4.1.5.1.1 Calibración del modelo por el método de Horton

Tabla 4.16 Ajuste del aforo 1 por el método de Horton

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 01:20 | 0.00 | 14.89 | 221.71 | 1088.34 | -14.89 |
| 01:21 | 1.30 | 17.3 | 255.95 | 1004.15 | -16.00 |
| 01:22 | 12.90 | 24.24 | 128.55 | 403.53 | -11.34 |
| 01:23 | 16.23 | 27.47 | 126.39 | 280.98 | -11.24 |
| 01:24 | 19.83 | 28.9 | 82.18 | 173.06 | -9.07 |
| 01:25 | 23.71 | 29.52 | 33.77 | 86.14 | -5.81 |
| 01:26 | 23.71 | 29.78 | 36.86 | 86.14 | -6.07 |
| 01:27 | 40.00 | 29.89 | 102.25 | 49.17 | 10.11 |
| 01:28 | 43.29 | 29.94 | 178.25 | 106.11 | 13.35 |
| 01:29 | 44.97 | 29.96 | 225.34 | 143.55 | 15.01 |
| 01:30 | 46.67 | 29.97 | 279.05 | 187.27 | 16.70 |
| 01:31 | 48.40 | 33.04 | 235.97 | 237.51 | 15.36 |
| 01:32 | 48.40 | 40.57 | 61.33 | 237.51 | 7.83 |
| 01:33 | 51.92 | 43.38 | 72.97 | 358.43 | 8.54 |
| 01:34 | 55.53 | 44.41 | 123.71 | 508.16 | 11.12 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:35 | 55.53 | 44.83 | 114.54 | 508.16 | 10.70 |
| 01:36 | 57.37 | 45.06 | 151.55 | 594.40 | 12.31 |
| 01:37 | 61.11 | 45.27 | 250.93 | 790.78 | 15.84 |
| 01:38 | 64.94 | 45.52 | 376.97 | 1020.53 | 19.42 |
| 01:39 | 64.94 | 45.83 | 365.03 | 1020.53 | 19.11 |
| 01:40 | 66.88 | 46.21 | 427.23 | 1148.50 | 20.67 |
| 01:41 | 68.84 | 45.69 | 536.10 | 1285.49 | 23.15 |
| 01:42 | 70.83 | 43.93 | 723.52 | 1431.75 | 26.90 |
| 01:43 | 68.84 | 43.54 | 640.28 | 1285.49 | 25.30 |
| 01:44 | 64.94 | 43.62 | 454.36 | 1020.53 | 21.32 |
| 01:45 | 61.11 | 43.88 | 296.90 | 790.78 | 17.23 |
| 01:46 | 57.37 | 44.22 | 172.93 | 594.40 | 13.15 |
| 01:47 | 51.92 | 44.62 | 53.32 | 358.43 | 7.30 |
| 01:48 | 48.40 | 45.04 | 11.30 | 237.51 | 3.36 |
| 01:49 | 38.39 | 45.48 | 50.22 | 29.20 | -7.09 |
| 01:50 | 26.43 | 45.93 | 380.11 | 42.99 | -19.50 |
| 01:51 | 26.43 | 45.31 | 356.32 | 42.99 | -18.88 |
| 01:52 | 25.06 | 43.21 | 329.52 | 62.93 | -18.15 |
| 01:53 | 23.71 | 42.53 | 354.23 | 86.14 | -18.82 |
| 01:54 | 21.10 | 42.35 | 451.68 | 141.44 | -21.25 |
| 01:55 | 18.60 | 42.35 | 563.96 | 207.01 | -23.75 |
| 01:56 | 19.83 | 42.43 | 510.54 | 173.06 | -22.60 |
| 01:57 | 21.10 | 42.55 | 460.22 | 141.44 | -21.45 |
| 01:58 | 29.27 | 42.69 | 180.17 | 13.86 | -13.42 |
| 01:59 | 36.81 | 42.85 | 36.49 | 14.59 | -6.04 |
| 02:00 | 43.29 | 43.01 | 0.08 | 106.11 | 0.28 |
| 02:01 | 44.97 | 42.28 | 7.24 | 143.55 | 2.69 |
| 02:02 | 48.40 | 40.29 | 65.79 | 237.51 | 8.11 |
| 02:03 | 51.92 | 39.48 | 154.81 | 358.43 | 12.44 |
| 02:04 | 51.92 | 39.11 | 164.16 | 358.43 | 12.81 |
| 02:05 | 51.92 | 38.9 | 169.58 | 358.43 | 13.02 |
| 02:06 | 50.15 | 38.79 | 129.06 | 294.48 | 11.36 |
| 02:07 | 38.39 | 38.72 | 0.11 | 29.20 | -0.33 |
| 02:08 | 30.72 | 38.67 | 63.14 | 5.13 | -7.95 |
| 02:09 | 30.72 | 38.65 | 62.82 | 5.13 | -7.93 |
| 02:10 | 29.27 | 38.64 | 87.85 | 13.86 | -9.37 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|---------|
| 02:11 | 29.27 | 36.72 | 55.54 | 13.86 | -7.45 |
| 02:12 | 27.84 | 32.03 | 17.58 | 26.55 | -4.19 |
| 02:13 | 27.84 | 29.92 | 4.34 | 26.55 | -2.08 |
| 02:14 | 26.43 | 28.75 | 5.37 | 42.99 | -2.32 |
| 02:15 | 25.06 | 28.02 | 8.78 | 62.93 | -2.96 |
| 02:16 | 23.71 | 27.51 | 14.45 | 86.14 | -3.80 |
| 02:17 | 22.39 | 27.12 | 22.38 | 112.38 | -4.73 |
| 02:18 | 19.83 | 26.81 | 48.65 | 173.06 | -6.98 |
| 02:19 | 10.85 | 26.55 | 246.49 | 490.17 | -15.70 |
| 02:20 | 6.35 | 26.33 | 399.39 | 709.94 | -19.98 |
| 02:21 | 5.56 | 24.7 | 366.37 | 752.44 | -19.14 |
| 02:22 | 4.81 | 20.79 | 255.22 | 793.87 | -15.98 |
| 02:23 | 4.11 | 19.06 | 223.45 | 833.95 | -14.95 |
| 02:24 | 2.84 | 18.25 | 237.44 | 908.97 | -15.41 |
| 02:25 | 2.28 | 17.92 | 244.72 | 943.33 | -15.64 |
| 02:26 | 1.76 | 17.76 | 255.93 | 975.17 | -16.00 |
| 02:27 | 1.30 | 17.68 | 268.25 | 1004.15 | -16.38 |
| 02:28 | 0.90 | 17.64 | 280.29 | 1029.89 | -16.74 |
| 02:29 | 0.56 | 17.72 | 294.59 | 1051.95 | -17.16 |
| 02:30 | 0.28 | 17.61 | 300.22 | 1069.74 | -17.33 |
| \bar{y}_o | 32.99 | Σ | 14866.81 | 31011.29 | -131.34 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.16 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{14866.81}{31011.29} \rightarrow NSE = 0.52$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta en un rango Bueno.

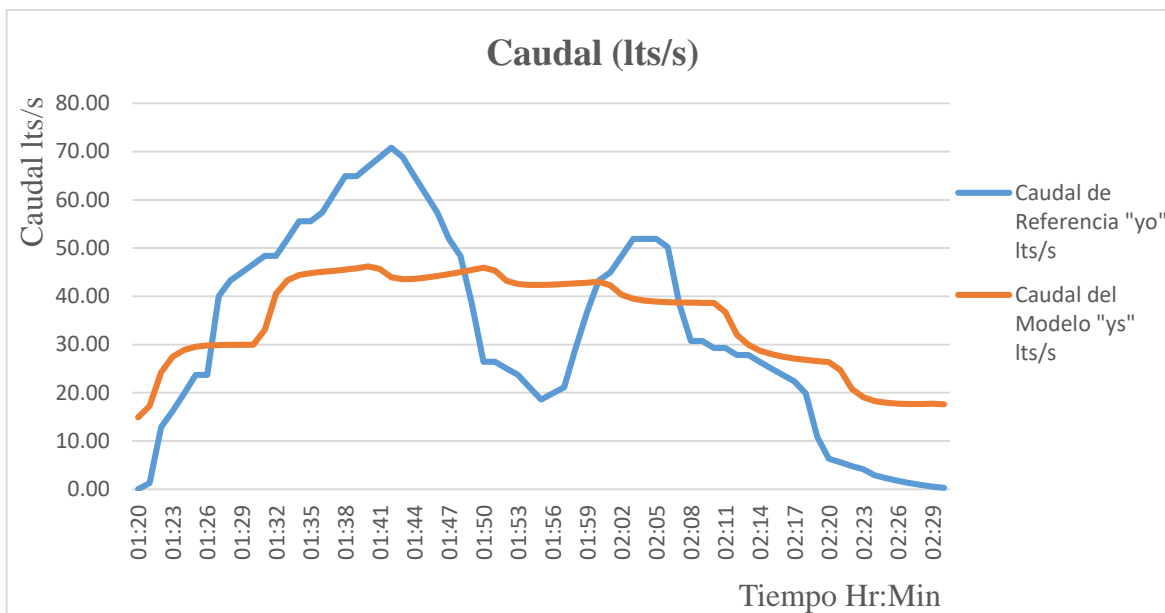


Ilustración 4.12 Caudales del aforo 1 por el método de Horton

Fuente: Microsoft Excel

Tabla 4.17 Ajuste del aforo 2 por el método de Horton

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 01:20 | 25.79 | 12.77 | 169.48 | 29.49 | 13.02 |
| 01:21 | 25.79 | 15.2 | 112.11 | 29.49 | 10.59 |
| 01:22 | 34.79 | 20.7 | 198.47 | 12.74 | 14.09 |
| 01:23 | 44.77 | 23.45 | 454.67 | 183.72 | 21.32 |
| 01:24 | 50.11 | 24.72 | 644.82 | 357.01 | 25.39 |
| 01:25 | 37.19 | 25.3 | 141.48 | 35.71 | 11.89 |
| 01:26 | 37.19 | 25.56 | 135.36 | 35.71 | 11.63 |
| 01:27 | 32.44 | 25.67 | 45.87 | 1.50 | 6.77 |
| 01:28 | 30.16 | 25.72 | 19.71 | 1.12 | 4.44 |
| 01:29 | 27.94 | 25.74 | 4.85 | 10.74 | 2.20 |
| 01:30 | 37.19 | 25.75 | 130.98 | 35.71 | 11.44 |
| 01:31 | 32.44 | 28.74 | 13.71 | 1.50 | 3.70 |
| 01:32 | 25.79 | 34.71 | 79.60 | 29.49 | -8.92 |
| 01:33 | 25.79 | 37.14 | 128.86 | 29.49 | -11.35 |
| 01:34 | 47.41 | 38.09 | 86.95 | 262.32 | 9.32 |
| 01:35 | 64.42 | 38.51 | 671.34 | 1102.34 | 25.91 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{Y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:36 | 76.80 | 38.77 | 1445.99 | 2077.30 | 38.03 |
| 01:37 | 86.59 | 39.02 | 2263.00 | 3066.09 | 47.57 |
| 01:38 | 103.84 | 39.33 | 4161.94 | 5274.31 | 64.51 |
| 01:39 | 114.73 | 39.72 | 5625.93 | 6973.51 | 75.01 |
| 01:40 | 118.44 | 40.21 | 6119.85 | 7607.47 | 78.23 |
| 01:41 | 107.43 | 39.82 | 4570.78 | 5807.79 | 67.61 |
| 01:42 | 80.01 | 38.58 | 1716.72 | 2380.92 | 41.43 |
| 01:43 | 73.63 | 38.41 | 1240.28 | 1798.51 | 35.22 |
| 01:44 | 55.68 | 38.65 | 289.87 | 598.14 | 17.03 |
| 01:45 | 47.41 | 39.09 | 69.30 | 262.32 | 8.32 |
| 01:46 | 32.44 | 39.64 | 51.80 | 1.50 | -7.20 |
| 01:47 | 25.79 | 40.25 | 209.14 | 29.49 | -14.46 |
| 01:48 | 23.70 | 40.92 | 296.46 | 56.50 | -17.22 |
| 01:49 | 25.79 | 41.64 | 251.27 | 29.49 | -15.85 |
| 01:50 | 25.79 | 42.39 | 275.61 | 29.49 | -16.60 |
| 01:51 | 21.68 | 42.03 | 413.98 | 90.92 | -20.35 |
| 01:52 | 16.05 | 40.57 | 601.03 | 229.96 | -24.52 |
| 01:53 | 21.68 | 40.19 | 342.49 | 90.92 | -18.51 |
| 01:54 | 25.79 | 40.23 | 208.56 | 29.49 | -14.44 |
| 01:55 | 25.79 | 40.43 | 214.38 | 29.49 | -14.64 |
| 01:56 | 27.94 | 40.72 | 163.29 | 10.74 | -12.78 |
| 01:57 | 27.94 | 41.05 | 171.83 | 10.74 | -13.11 |
| 01:58 | 27.94 | 41.4 | 181.13 | 10.74 | -13.46 |
| 01:59 | 30.16 | 41.76 | 134.56 | 1.12 | -11.60 |
| 02:00 | 32.44 | 42.13 | 93.85 | 1.50 | -9.69 |
| 02:01 | 30.16 | 41.54 | 129.50 | 1.12 | -11.38 |
| 02:02 | 27.94 | 39.98 | 144.92 | 10.74 | -12.04 |
| 02:03 | 25.79 | 39.31 | 182.83 | 29.49 | -13.52 |
| 02:04 | 25.79 | 39 | 174.55 | 29.49 | -13.21 |
| 02:05 | 25.79 | 38.85 | 170.61 | 29.49 | -13.06 |
| 02:06 | 25.79 | 38.78 | 168.78 | 29.49 | -12.99 |
| 02:07 | 25.79 | 38.75 | 168.00 | 29.49 | -12.96 |
| 02:08 | 25.79 | 38.75 | 168.00 | 29.49 | -12.96 |
| 02:09 | 25.79 | 38.77 | 168.52 | 29.49 | -12.98 |
| 02:10 | 25.79 | 38.8 | 169.30 | 29.49 | -13.01 |
| 02:11 | 21.68 | 36.75 | 227.00 | 90.92 | -15.07 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 02:12 | 16.05 | 32.56 | 272.44 | 229.96 | -16.51 |
| 02:13 | 11.10 | 30.34 | 370.05 | 404.63 | -19.24 |
| 02:14 | 9.61 | 28.95 | 373.88 | 466.76 | -19.34 |
| 02:15 | 8.21 | 27.96 | 390.05 | 529.39 | -19.75 |
| 02:16 | 6.89 | 27.19 | 411.90 | 591.66 | -20.30 |
| 02:17 | 5.67 | 26.55 | 435.93 | 652.69 | -20.88 |
| 02:18 | 5.67 | 26.01 | 413.68 | 652.69 | -20.34 |
| 02:19 | 5.67 | 25.54 | 394.78 | 652.69 | -19.87 |
| 02:20 | 4.54 | 25.12 | 423.40 | 711.57 | -20.58 |
| 02:21 | 4.54 | 23.16 | 346.58 | 711.57 | -18.62 |
| 02:22 | 4.54 | 19.5 | 223.70 | 711.57 | -14.96 |
| 02:23 | 2.60 | 14.54 | 142.63 | 819.19 | -11.94 |
| 02:24 | 2.60 | 16.37 | 189.69 | 819.19 | -13.77 |
| 02:25 | 2.60 | 15.67 | 170.90 | 819.19 | -13.07 |
| 02:26 | 2.60 | 15.31 | 161.62 | 819.19 | -12.71 |
| 02:27 | 1.11 | 15.2 | 198.54 | 906.56 | -14.09 |
| 02:28 | 0.56 | 15.16 | 213.03 | 939.68 | -14.60 |
| 02:29 | 0.56 | 15.14 | 212.44 | 939.68 | -14.58 |
| 02:30 | 0.56 | 15.13 | 212.15 | 939.68 | -14.57 |
| \bar{y}_o | 31.22 | Σ | 41580.72 | 52312.72 | -62.87 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.17 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{41580.72}{52312.72} \rightarrow NSE = 0.21$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta en un rango Satisfactorio.

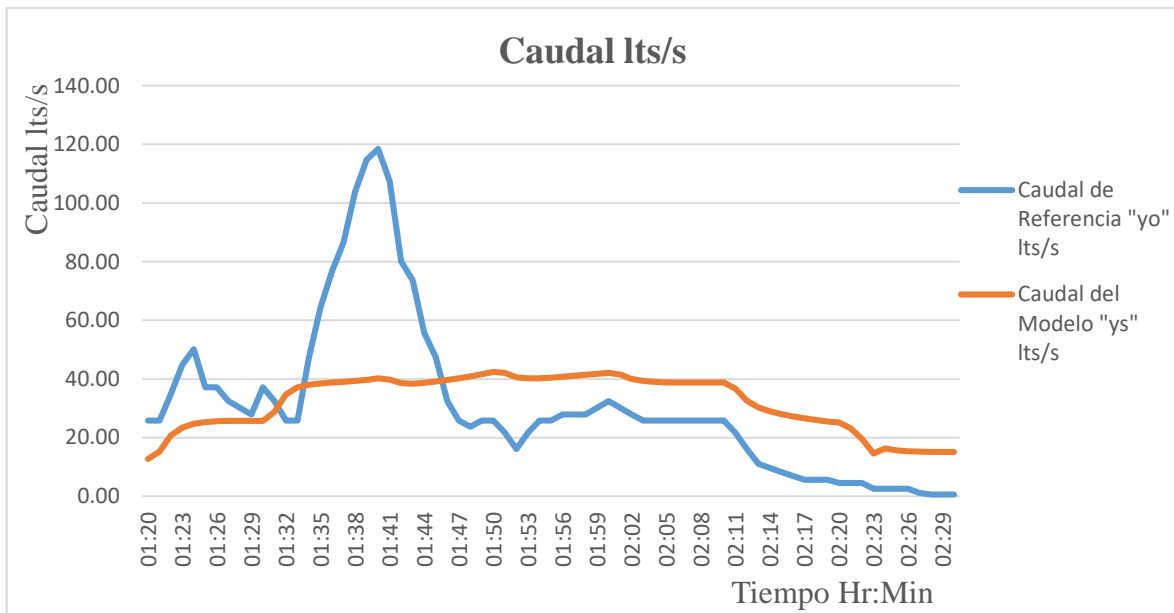


Ilustración 4.13 Caudales del aforo 2 por el método de Horton

Fuente: Microsoft Excel

4.1.5.1.2 Calibración del modelo por el método de Green Ampt

Tabla 4.18 Ajuste del aforo 1 por el método de Green Ampt

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{Y}o)^2$ | yo-ys |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------|--------|
| 01:20 | 0.00 | 14.56 | 211.99 | 1088.34 | -14.56 |
| 01:21 | 1.30 | 17.51 | 262.71 | 1004.15 | -16.21 |
| 01:22 | 12.90 | 25.67 | 163.02 | 403.53 | -12.77 |
| 01:23 | 16.23 | 30.38 | 200.29 | 280.98 | -14.15 |
| 01:24 | 19.83 | 33.51 | 187.01 | 173.06 | -13.68 |
| 01:25 | 23.71 | 35.9 | 148.62 | 86.14 | -12.19 |
| 01:26 | 23.71 | 37.9 | 201.38 | 86.14 | -14.19 |
| 01:27 | 40.00 | 39.66 | 0.12 | 49.17 | 0.34 |
| 01:28 | 43.29 | 41.21 | 4.33 | 106.11 | 2.08 |
| 01:29 | 44.97 | 42.59 | 5.67 | 143.55 | 2.38 |
| 01:30 | 46.67 | 43.79 | 8.32 | 187.27 | 2.88 |
| 01:31 | 48.40 | 48.77 | 0.14 | 237.51 | -0.37 |
| 01:32 | 48.40 | 59.13 | 115.11 | 237.51 | -10.73 |
| 01:33 | 51.92 | 64.46 | 157.19 | 358.43 | -12.54 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{Y}o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------------|--------|
| 01:34 | 55.53 | 67.72 | 148.54 | 508.16 | -12.19 |
| 01:35 | 55.53 | 70.01 | 209.60 | 508.16 | -14.48 |
| 01:36 | 57.37 | 71.75 | 206.77 | 594.40 | -14.38 |
| 01:37 | 61.11 | 73.13 | 144.46 | 790.78 | -12.02 |
| 01:38 | 64.94 | 74.23 | 86.38 | 1020.53 | -9.29 |
| 01:39 | 64.94 | 72.12 | 51.61 | 1020.53 | -7.18 |
| 01:40 | 66.88 | 75.83 | 80.11 | 1148.50 | -8.95 |
| 01:41 | 68.84 | 75.23 | 40.78 | 1285.49 | -6.39 |
| 01:42 | 70.83 | 73.1 | 5.16 | 1431.75 | -2.27 |
| 01:43 | 68.84 | 72.32 | 12.08 | 1285.49 | -3.48 |
| 01:44 | 64.94 | 71.98 | 49.62 | 1020.53 | -7.04 |
| 01:45 | 61.11 | 71.82 | 114.69 | 790.78 | -10.71 |
| 01:46 | 57.37 | 71.73 | 206.20 | 594.40 | -14.36 |
| 01:47 | 51.92 | 71.69 | 390.76 | 358.43 | -19.77 |
| 01:48 | 48.40 | 71.66 | 540.97 | 237.51 | -23.26 |
| 01:49 | 38.39 | 71.65 | 1106.00 | 29.20 | -33.26 |
| 01:50 | 26.43 | 71.66 | 2045.44 | 42.99 | -45.23 |
| 01:51 | 26.43 | 70.43 | 1935.69 | 42.99 | -44.00 |
| 01:52 | 25.06 | 67.68 | 1816.69 | 62.93 | -42.62 |
| 01:53 | 23.71 | 66.45 | 1826.79 | 86.14 | -42.74 |
| 01:54 | 21.10 | 65.77 | 1995.65 | 141.44 | -44.67 |
| 01:55 | 18.60 | 65.35 | 2185.37 | 207.01 | -46.75 |
| 01:56 | 19.83 | 65.05 | 2044.41 | 173.06 | -45.22 |
| 01:57 | 21.10 | 64.84 | 1913.42 | 141.44 | -43.74 |
| 01:58 | 29.27 | 64.69 | 1254.77 | 13.86 | -35.42 |
| 01:59 | 36.81 | 64.58 | 771.21 | 14.59 | -27.77 |
| 02:00 | 43.29 | 64.49 | 449.39 | 106.11 | -21.20 |
| 02:01 | 44.97 | 63.43 | 340.72 | 143.55 | -18.46 |
| 02:02 | 48.40 | 61.09 | 161.00 | 237.51 | -12.69 |
| 02:03 | 51.92 | 60 | 65.25 | 358.43 | -8.08 |
| 02:04 | 51.92 | 59.38 | 55.62 | 358.43 | -7.46 |
| 02:05 | 51.92 | 58.98 | 49.81 | 358.43 | -7.06 |
| 02:06 | 50.15 | 58.7 | 73.09 | 294.48 | -8.55 |
| 02:07 | 38.39 | 58.5 | 404.28 | 29.20 | -20.11 |
| 02:08 | 30.72 | 58.35 | 763.19 | 5.13 | -27.63 |
| 02:09 | 30.72 | 58.23 | 756.58 | 5.13 | -27.51 |
| 02:10 | 29.27 | 58.15 | 834.22 | 13.86 | -28.88 |
| 02:11 | 29.27 | 55.9 | 709.31 | 13.86 | -26.63 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 02:12 | 27.84 | 50.8 | 527.30 | 26.55 | -22.96 |
| 02:13 | 27.84 | 48.36 | 421.20 | 26.55 | -20.52 |
| 02:14 | 26.43 | 46.95 | 420.93 | 42.99 | -20.52 |
| 02:15 | 25.06 | 46.02 | 439.43 | 62.93 | -20.96 |
| 02:16 | 23.71 | 45.37 | 469.20 | 86.14 | -21.66 |
| 02:17 | 22.39 | 44.89 | 506.30 | 112.38 | -22.50 |
| 02:18 | 19.83 | 44.51 | 608.86 | 173.06 | -24.68 |
| 02:19 | 10.85 | 44.22 | 1113.55 | 490.17 | -33.37 |
| 02:20 | 6.35 | 43.99 | 1417.12 | 709.94 | -37.64 |
| 02:21 | 5.56 | 42.01 | 1328.65 | 752.44 | -36.45 |
| 02:22 | 4.81 | 37.49 | 1067.70 | 793.87 | -32.68 |
| 02:23 | 4.11 | 35.16 | 963.99 | 833.95 | -31.05 |
| 02:24 | 2.84 | 33.76 | 955.99 | 908.97 | -30.92 |
| 02:25 | 2.28 | 32.81 | 932.30 | 943.33 | -30.53 |
| 02:26 | 1.76 | 32.12 | 921.59 | 975.17 | -30.36 |
| 02:27 | 1.30 | 31.61 | 918.60 | 1004.15 | -30.31 |
| 02:28 | 0.90 | 31.2 | 918.21 | 1029.89 | -30.30 |
| 02:29 | 0.56 | 30.88 | 919.53 | 1051.95 | -30.32 |
| 02:30 | 0.28 | 30.62 | 920.33 | 1069.74 | -30.34 |
| \bar{y}_o | 32.99 | Σ | 43282.35 | 31011.29 | -1483.19 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.18 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{43282.35}{31011.29} \rightarrow NSE = -0.40$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta con un rango de ajuste Insuficiente.

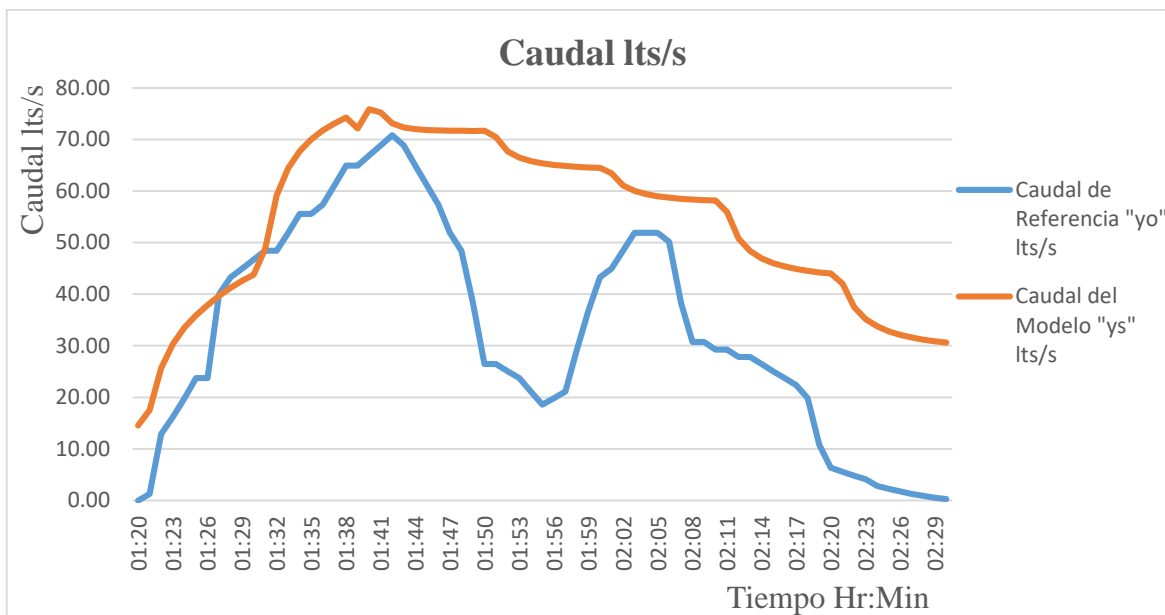


Ilustración 4.14 Caudales del aforo 1 por el método de Green Ampt

Fuente: Microsoft Excel

Tabla 4.19 Ajuste del aforo 2 por el método de Green Ampt

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 01:20 | 25.79 | 15.82 | 99.37 | 29.49 | 9.97 |
| 01:21 | 25.79 | 19.49 | 39.67 | 29.49 | 6.30 |
| 01:22 | 34.79 | 27.53 | 52.68 | 12.74 | 7.26 |
| 01:23 | 44.77 | 33.15 | 135.09 | 183.72 | 11.62 |
| 01:24 | 50.11 | 37.41 | 161.38 | 357.01 | 12.70 |
| 01:25 | 37.19 | 40.98 | 14.33 | 35.71 | -3.79 |
| 01:26 | 37.19 | 44.18 | 48.80 | 35.71 | -6.99 |
| 01:27 | 32.44 | 47.15 | 216.31 | 1.50 | -14.71 |
| 01:28 | 30.16 | 49.95 | 391.64 | 1.12 | -19.79 |
| 01:29 | 27.94 | 52.59 | 607.55 | 10.74 | -24.65 |
| 01:30 | 37.19 | 55.06 | 319.18 | 35.71 | -17.87 |
| 01:31 | 32.44 | 62.23 | 887.29 | 1.50 | -29.79 |
| 01:32 | 25.79 | 74.25 | 2348.53 | 29.49 | -48.46 |
| 01:33 | 25.79 | 82.25 | 3187.92 | 29.49 | -56.46 |
| 01:34 | 47.41 | 88.14 | 1658.53 | 262.32 | -40.73 |
| 01:35 | 64.42 | 92.84 | 807.68 | 1102.34 | -28.42 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:36 | 76.80 | 96.78 | 399.36 | 2077.30 | -19.98 |
| 01:37 | 86.59 | 100.15 | 183.85 | 3066.09 | -13.56 |
| 01:38 | 103.84 | 103.06 | 0.61 | 5274.31 | 0.78 |
| 01:39 | 114.73 | 105.57 | 83.84 | 6973.51 | 9.16 |
| 01:40 | 118.44 | 107.74 | 114.48 | 7607.47 | 10.70 |
| 01:41 | 107.43 | 108.11 | 0.47 | 5807.79 | -0.68 |
| 01:42 | 80.01 | 106.88 | 721.82 | 2380.92 | -26.87 |
| 01:43 | 73.63 | 106.63 | 1089.16 | 1798.51 | -33.00 |
| 01:44 | 55.68 | 106.74 | 2607.57 | 598.14 | -51.06 |
| 01:45 | 47.41 | 106.97 | 3546.81 | 262.32 | -59.56 |
| 01:46 | 32.44 | 107.23 | 5593.16 | 1.50 | -74.79 |
| 01:47 | 25.79 | 107.49 | 6675.16 | 29.49 | -81.70 |
| 01:48 | 23.70 | 107.72 | 7059.05 | 56.50 | -84.02 |
| 01:49 | 25.79 | 107.94 | 6748.89 | 29.49 | -82.15 |
| 01:50 | 25.79 | 108.14 | 6781.79 | 29.49 | -82.35 |
| 01:51 | 21.68 | 106.72 | 7231.20 | 90.92 | -85.04 |
| 01:52 | 16.05 | 103.85 | 7708.11 | 229.96 | -87.80 |
| 01:53 | 21.68 | 102.24 | 6489.34 | 90.92 | -80.56 |
| 01:54 | 25.79 | 101.22 | 5689.93 | 29.49 | -75.43 |
| 01:55 | 25.79 | 100.52 | 5584.82 | 29.49 | -74.73 |
| 01:56 | 27.94 | 99.99 | 5190.98 | 10.74 | -72.05 |
| 01:57 | 27.94 | 99.59 | 5133.50 | 10.74 | -71.65 |
| 01:58 | 27.94 | 99.27 | 5087.75 | 10.74 | -71.33 |
| 01:59 | 30.16 | 99.02 | 4741.69 | 1.12 | -68.86 |
| 02:00 | 32.44 | 98.82 | 4405.96 | 1.50 | -66.38 |
| 02:01 | 30.16 | 97.35 | 4514.49 | 1.12 | -67.19 |
| 02:02 | 27.94 | 94.71 | 4458.02 | 10.74 | -66.77 |
| 02:03 | 25.79 | 93.13 | 4534.90 | 29.49 | -67.34 |
| 02:04 | 25.79 | 92.08 | 4394.58 | 29.49 | -66.29 |
| 02:05 | 25.79 | 91.32 | 4294.40 | 29.49 | -65.53 |
| 02:06 | 25.79 | 90.74 | 4218.72 | 29.49 | -64.95 |
| 02:07 | 25.79 | 90.27 | 4157.88 | 29.49 | -64.48 |
| 02:08 | 25.79 | 89.9 | 4110.30 | 29.49 | -64.11 |
| 02:09 | 25.79 | 89.6 | 4071.93 | 29.49 | -63.81 |
| 02:10 | 25.79 | 89.35 | 4040.08 | 29.49 | -63.56 |
| 02:11 | 21.68 | 86.3 | 4175.29 | 90.92 | -64.62 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 02:12 | 16.05 | 80.62 | 4168.75 | 229.96 | -64.57 |
| 02:13 | 11.10 | 77.19 | 4367.47 | 404.63 | -66.09 |
| 02:14 | 9.61 | 74.89 | 4260.94 | 466.76 | -65.28 |
| 02:15 | 8.21 | 73.2 | 4223.67 | 529.39 | -64.99 |
| 02:16 | 6.89 | 71.89 | 4224.40 | 591.66 | -65.00 |
| 02:17 | 5.67 | 70.85 | 4248.31 | 652.69 | -65.18 |
| 02:18 | 5.67 | 70 | 4138.22 | 652.69 | -64.33 |
| 02:19 | 5.67 | 69.29 | 4047.38 | 652.69 | -63.62 |
| 02:20 | 4.54 | 68.7 | 4116.06 | 711.57 | -64.16 |
| 02:21 | 4.54 | 65.83 | 3756.04 | 711.57 | -61.29 |
| 02:22 | 4.54 | 60.66 | 3149.07 | 711.57 | -56.12 |
| 02:23 | 2.60 | 57.38 | 3001.16 | 819.19 | -54.78 |
| 02:24 | 2.60 | 55.07 | 2753.40 | 819.19 | -52.47 |
| 02:25 | 2.60 | 53.34 | 2574.83 | 819.19 | -50.74 |
| 02:26 | 2.60 | 51.98 | 2438.66 | 819.19 | -49.38 |
| 02:27 | 1.11 | 50.87 | 2476.10 | 906.56 | -49.76 |
| 02:28 | 0.56 | 49.96 | 2439.91 | 939.68 | -49.40 |
| 02:29 | 0.56 | 49.19 | 2364.44 | 939.68 | -48.63 |
| 02:30 | 0.56 | 48.53 | 2300.69 | 939.68 | -47.97 |
| \bar{y}_o | 31.22 | Σ | 221865.30 | 52312.72 | -3409.07 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.19 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{221865.30}{52312.72} \rightarrow NSE = -3.24$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta con un rango de ajuste Insuficiente.

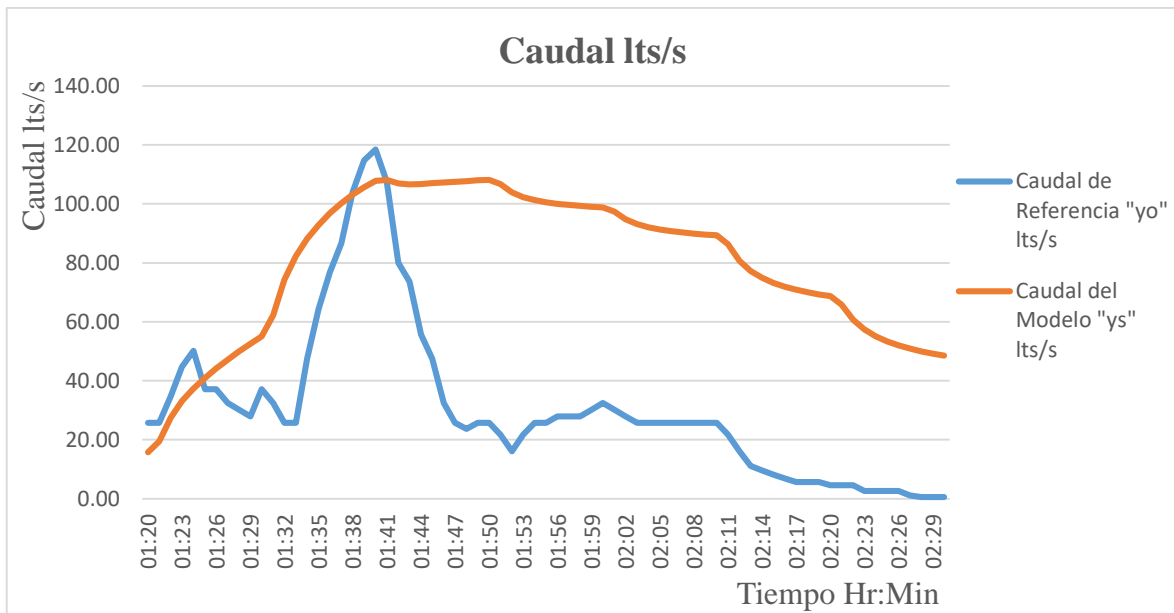


Ilustración 4.15 Caudales del aforo 2 por el método de Green Ampt

Fuente: Microsoft Excel

4.1.5.1.3 Calibración del modelo por el método de Número de Curva

Tabla 4.20 Ajuste del aforo 1 por el método de Número de Curva

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{Y}_o)^2$ | yo-ys |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:20 | 0.00 | 14.02 | 196.56 | 1088.34 | -14.02 |
| 01:21 | 1.30 | 16.44 | 229.17 | 1004.15 | -15.14 |
| 01:22 | 12.90 | 23.34 | 108.95 | 403.53 | -10.44 |
| 01:23 | 16.23 | 26.68 | 109.26 | 280.98 | -10.45 |
| 01:24 | 19.83 | 28.42 | 73.70 | 173.06 | -8.59 |
| 01:25 | 23.71 | 29.53 | 33.88 | 86.14 | -5.82 |
| 01:26 | 23.71 | 30.41 | 44.90 | 86.14 | -6.70 |
| 01:27 | 40.00 | 31.24 | 76.77 | 49.17 | 8.76 |
| 01:28 | 43.29 | 32.07 | 125.91 | 106.11 | 11.22 |
| 01:29 | 44.97 | 32.93 | 144.99 | 143.55 | 12.04 |
| 01:30 | 46.67 | 33.8 | 165.76 | 187.27 | 12.87 |
| 01:31 | 48.40 | 37.95 | 109.23 | 237.51 | 10.45 |
| 01:32 | 48.40 | 46.89 | 2.28 | 237.51 | 1.51 |
| 01:33 | 51.92 | 51.24 | 0.47 | 358.43 | 0.68 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:34 | 55.53 | 53.95 | 2.50 | 508.16 | 1.58 |
| 01:35 | 55.53 | 56.04 | 0.26 | 508.16 | -0.51 |
| 01:36 | 57.37 | 57.86 | 0.24 | 594.40 | -0.49 |
| 01:37 | 61.11 | 59.52 | 2.53 | 790.78 | 1.59 |
| 01:38 | 64.94 | 61.05 | 15.10 | 1020.53 | 3.89 |
| 01:39 | 64.94 | 62.47 | 6.08 | 1020.53 | 2.47 |
| 01:40 | 66.88 | 63.77 | 9.67 | 1148.50 | 3.11 |
| 01:41 | 68.84 | 63.93 | 24.15 | 1285.49 | 4.91 |
| 01:42 | 70.83 | 62.69 | 66.23 | 1431.75 | 8.14 |
| 01:43 | 68.84 | 62.7 | 37.75 | 1285.49 | 6.14 |
| 01:44 | 64.94 | 63.07 | 3.48 | 1020.53 | 1.87 |
| 01:45 | 61.11 | 63.54 | 5.90 | 790.78 | -2.43 |
| 01:46 | 57.37 | 64.02 | 44.22 | 594.40 | -6.65 |
| 01:47 | 51.92 | 64.49 | 157.95 | 358.43 | -12.57 |
| 01:48 | 48.40 | 64.94 | 273.53 | 237.51 | -16.54 |
| 01:49 | 38.39 | 65.37 | 727.74 | 29.20 | -26.98 |
| 01:50 | 26.43 | 65.77 | 1547.36 | 42.99 | -39.34 |
| 01:51 | 26.43 | 65 | 1487.38 | 42.99 | -38.57 |
| 01:52 | 25.06 | 62.78 | 1423.00 | 62.93 | -37.72 |
| 01:53 | 23.71 | 61.99 | 1465.43 | 86.14 | -38.28 |
| 01:54 | 21.10 | 61.69 | 1647.77 | 141.44 | -40.59 |
| 01:55 | 18.60 | 61.59 | 1847.96 | 207.01 | -42.99 |
| 01:56 | 19.83 | 61.58 | 1742.66 | 173.06 | -41.75 |
| 01:57 | 21.10 | 61.62 | 1642.09 | 141.44 | -40.52 |
| 01:58 | 29.27 | 61.69 | 1051.24 | 13.86 | -32.42 |
| 01:59 | 36.81 | 61.79 | 624.04 | 14.59 | -24.98 |
| 02:00 | 43.29 | 61.89 | 345.92 | 106.11 | -18.60 |
| 02:01 | 44.97 | 61.05 | 258.52 | 143.55 | -16.08 |
| 02:02 | 48.40 | 58.98 | 111.91 | 237.51 | -10.58 |
| 02:03 | 51.92 | 58.12 | 38.41 | 358.43 | -6.20 |
| 02:04 | 51.92 | 57.69 | 33.27 | 358.43 | -5.77 |
| 02:05 | 51.92 | 57.46 | 30.67 | 358.43 | -5.54 |
| 02:06 | 50.15 | 57.33 | 51.55 | 294.48 | -7.18 |
| 02:07 | 38.39 | 57.26 | 355.95 | 29.20 | -18.87 |
| 02:08 | 30.72 | 57.23 | 702.57 | 5.13 | -26.51 |
| 02:09 | 30.72 | 57.22 | 702.04 | 5.13 | -26.50 |
| 02:10 | 29.27 | 57.23 | 781.92 | 13.86 | -27.96 |
| 02:11 | 29.27 | 55.15 | 669.92 | 13.86 | -25.88 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 02:12 | 27.84 | 50.33 | 505.94 | 26.55 | -22.49 |
| 02:13 | 27.84 | 48.1 | 410.59 | 26.55 | -20.26 |
| 02:14 | 26.43 | 46.85 | 416.83 | 42.99 | -20.42 |
| 02:15 | 25.06 | 46.06 | 441.11 | 62.93 | -21.00 |
| 02:16 | 23.71 | 45.52 | 475.72 | 86.14 | -21.81 |
| 02:17 | 22.39 | 45.13 | 517.16 | 112.38 | -22.74 |
| 02:18 | 19.83 | 44.84 | 625.26 | 173.06 | -25.01 |
| 02:19 | 10.85 | 44.62 | 1140.41 | 490.17 | -33.77 |
| 02:20 | 6.35 | 44.45 | 1451.96 | 709.94 | -38.10 |
| 02:21 | 5.56 | 42.57 | 1369.79 | 752.44 | -37.01 |
| 02:22 | 4.81 | 38.21 | 1115.27 | 793.87 | -33.40 |
| 02:23 | 4.11 | 36.02 | 1018.13 | 833.95 | -31.91 |
| 02:24 | 2.84 | 34.71 | 1015.64 | 908.97 | -31.87 |
| 02:25 | 2.28 | 33.85 | 996.89 | 943.33 | -31.57 |
| 02:26 | 1.76 | 33.23 | 990.22 | 975.17 | -31.47 |
| 02:27 | 1.30 | 32.78 | 990.89 | 1004.15 | -31.48 |
| 02:28 | 0.90 | 32.43 | 994.26 | 1029.89 | -31.53 |
| 02:29 | 0.56 | 32.15 | 998.16 | 1051.95 | -31.59 |
| 02:30 | 0.28 | 31.93 | 1001.53 | 1069.74 | -31.65 |
| \bar{y}_o | 32.99 | Σ | 37836.49 | 31011.29 | -1167.97 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.20 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{37836.49}{31011.29} \rightarrow NSE = -0.22$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta con un rango de ajuste Insuficiente.

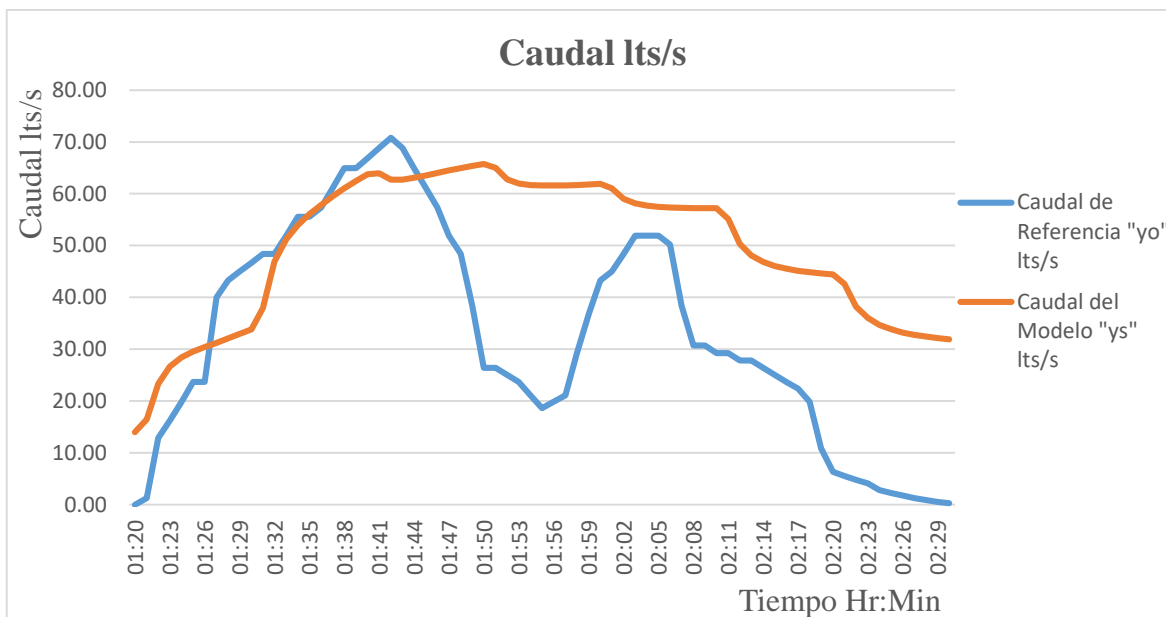


Ilustración 4.16 Caudales del aforo 1 por el método de Número de Curva

Fuente: Microsoft Excel

Tabla 4.21 Ajuste del aforo 2 por el método de Número de Curva

| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys" lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | $y_o - y_s$ |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| 01:20 | 25.79 | 15.14 | 113.39 | 29.49 | 10.65 |
| 01:21 | 25.79 | 18.06 | 59.73 | 29.49 | 7.73 |
| 01:22 | 34.79 | 24.52 | 105.43 | 12.74 | 10.27 |
| 01:23 | 44.77 | 28.3 | 271.36 | 183.72 | 16.47 |
| 01:24 | 50.11 | 30.59 | 381.16 | 357.01 | 19.52 |
| 01:25 | 37.19 | 32.19 | 25.05 | 35.71 | 5.00 |
| 01:26 | 37.19 | 33.51 | 13.58 | 35.71 | 3.68 |
| 01:27 | 32.44 | 34.75 | 5.32 | 1.50 | -2.31 |
| 01:28 | 30.16 | 36.01 | 34.22 | 1.12 | -5.85 |
| 01:29 | 27.94 | 37.33 | 88.14 | 10.74 | -9.39 |
| 01:30 | 37.19 | 38.71 | 2.30 | 35.71 | -1.52 |
| 01:31 | 32.44 | 44.02 | 134.04 | 1.50 | -11.58 |
| 01:32 | 25.79 | 53.4 | 762.40 | 29.49 | -27.61 |
| 01:33 | 25.79 | 59.28 | 1121.69 | 29.49 | -33.49 |
| 01:34 | 47.41 | 63.58 | 261.31 | 262.32 | -16.17 |
| 01:35 | 64.42 | 67.22 | 7.84 | 1102.34 | -2.80 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(yo-ys)^2$ | $(yo-\bar{Y}_o)^2$ | yo-ys |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
| 01:36 | 76.80 | 70.56 | 38.89 | 2077.30 | 6.24 |
| 01:37 | 86.59 | 73.75 | 164.89 | 3066.09 | 12.84 |
| 01:38 | 103.84 | 76.82 | 730.25 | 5274.31 | 27.02 |
| 01:39 | 114.73 | 79.77 | 1221.94 | 6973.51 | 34.96 |
| 01:40 | 118.44 | 82.59 | 1285.18 | 7607.47 | 35.85 |
| 01:41 | 107.43 | 83.99 | 549.32 | 5807.79 | 23.44 |
| 01:42 | 80.01 | 84.1 | 16.70 | 2380.92 | -4.09 |
| 01:43 | 73.63 | 85.14 | 132.54 | 1798.51 | -11.51 |
| 01:44 | 55.68 | 86.5 | 950.14 | 598.14 | -30.82 |
| 01:45 | 47.41 | 87.93 | 1641.47 | 262.32 | -40.52 |
| 01:46 | 32.44 | 89.33 | 3236.18 | 1.50 | -56.89 |
| 01:47 | 25.79 | 90.67 | 4209.63 | 29.49 | -64.88 |
| 01:48 | 23.70 | 91.93 | 4655.08 | 56.50 | -68.23 |
| 01:49 | 25.79 | 93.12 | 4533.55 | 29.49 | -67.33 |
| 01:50 | 25.79 | 94.23 | 4684.26 | 29.49 | -68.44 |
| 01:51 | 21.68 | 93.82 | 5203.67 | 90.92 | -72.14 |
| 01:52 | 16.05 | 92.05 | 5775.37 | 229.96 | -76.00 |
| 01:53 | 21.68 | 91.41 | 4861.78 | 90.92 | -69.73 |
| 01:54 | 25.79 | 91.26 | 4286.54 | 29.49 | -65.47 |
| 01:55 | 25.79 | 91.32 | 4294.40 | 29.49 | -65.53 |
| 01:56 | 27.94 | 91.49 | 4038.40 | 10.74 | -63.55 |
| 01:57 | 27.94 | 91.71 | 4066.41 | 10.74 | -63.77 |
| 01:58 | 27.94 | 91.96 | 4098.36 | 10.74 | -64.02 |
| 01:59 | 30.16 | 92.23 | 3852.68 | 1.12 | -62.07 |
| 02:00 | 32.44 | 92.5 | 3606.90 | 1.50 | -60.06 |
| 02:01 | 30.16 | 91.56 | 3769.95 | 1.12 | -61.40 |
| 02:02 | 27.94 | 89.5 | 3789.44 | 10.74 | -61.56 |
| 02:03 | 25.79 | 88.44 | 3925.23 | 29.49 | -62.65 |
| 02:04 | 25.79 | 87.83 | 3849.17 | 29.49 | -62.04 |
| 02:05 | 25.79 | 87.47 | 3804.63 | 29.49 | -61.68 |
| 02:06 | 25.79 | 87.25 | 3777.53 | 29.49 | -61.46 |
| 02:07 | 25.79 | 87.11 | 3760.34 | 29.49 | -61.32 |
| 02:08 | 25.79 | 87.04 | 3751.76 | 29.49 | -61.25 |
| 02:09 | 25.79 | 87 | 3746.87 | 29.49 | -61.21 |
| 02:10 | 25.79 | 87 | 3746.87 | 29.49 | -61.21 |
| 02:11 | 21.68 | 84.32 | 3923.33 | 90.92 | -62.64 |



| Tiempo Hr:Min | Caudal de Referencia "yo" lts/s | Caudal del Modelo "ys"lts/s | $(y_o - y_s)^2$ | $(y_o - \bar{y}_o)^2$ | yo-ys |
|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|----------|
| 02:12 | 16.05 | 79.13 | 3978.56 | 229.96 | -63.08 |
| 02:13 | 11.10 | 76.12 | 4227.19 | 404.63 | -65.02 |
| 02:14 | 9.61 | 74.16 | 4166.17 | 466.76 | -64.55 |
| 02:15 | 8.21 | 72.77 | 4167.97 | 529.39 | -64.56 |
| 02:16 | 6.89 | 71.73 | 4203.63 | 591.66 | -64.84 |
| 02:17 | 5.67 | 70.91 | 4256.13 | 652.69 | -65.24 |
| 02:18 | 5.67 | 70.25 | 4170.45 | 652.69 | -64.58 |
| 02:19 | 5.67 | 69.72 | 4102.28 | 652.69 | -64.05 |
| 02:20 | 4.54 | 69.28 | 4190.82 | 711.57 | -64.74 |
| 02:21 | 4.54 | 66.63 | 3854.74 | 711.57 | -62.09 |
| 02:22 | 4.54 | 61.77 | 3274.88 | 711.57 | -57.23 |
| 02:23 | 2.60 | 58.74 | 3152.02 | 819.19 | -56.14 |
| 02:24 | 2.60 | 56.64 | 2920.63 | 819.19 | -54.04 |
| 02:25 | 2.60 | 55.09 | 2755.50 | 819.19 | -52.49 |
| 02:26 | 2.60 | 53.89 | 2630.95 | 819.19 | -51.29 |
| 02:27 | 1.11 | 52.92 | 2684.32 | 906.56 | -51.81 |
| 02:28 | 0.56 | 52.13 | 2659.00 | 939.68 | -51.57 |
| 02:29 | 0.56 | 51.46 | 2590.35 | 939.68 | -50.90 |
| 02:30 | 0.56 | 50.9 | 2533.66 | 939.68 | -50.34 |
| \bar{y}_o | 31.22 | Σ | 183885.81 | 52312.72 | -2769.02 |

Fuente: Elaboración propia.

Empleando las sumatorias mostradas en la tabla 4.21 y sustituyendo en la ecuación 2 se obtienen el siguiente resultado:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_o - y_s)^2}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \rightarrow NSE = 1 - \frac{183885.81}{52312.72} \rightarrow NSE = -2.52$$

De acuerdo a los rangos referenciales para la valoración del ajuste de los resultados a evaluar en función del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe NSE, (Tabla N), el resultado se ajusta con un rango de ajuste Insuficiente.

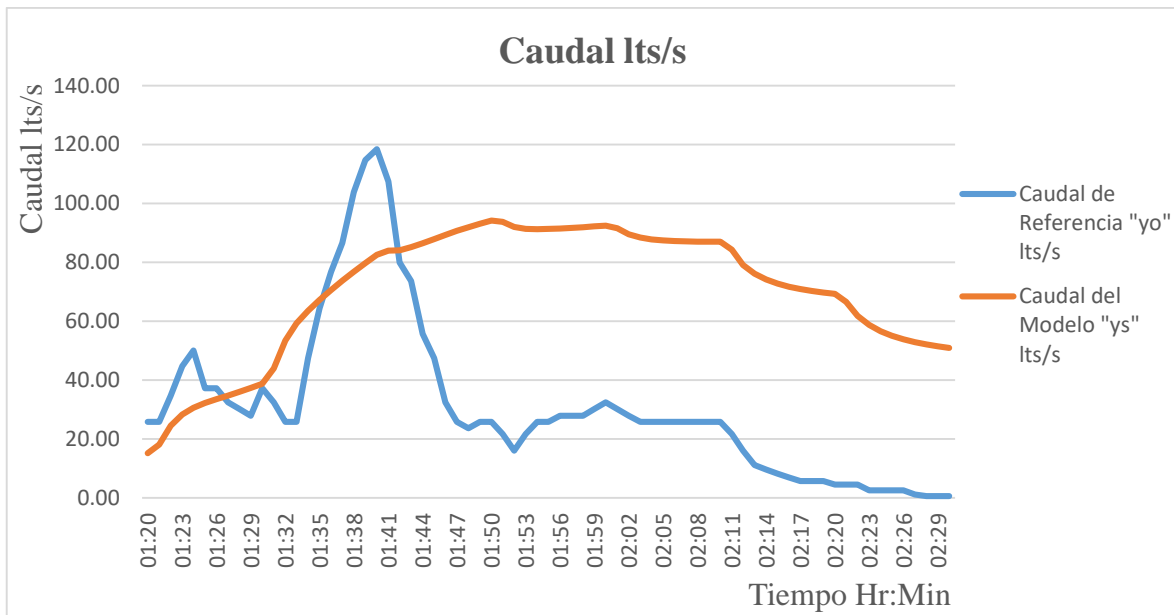


Ilustración 4.17 Caudales del aforo 2 por el método de Número de Curva

Fuente: Microsoft Excel



CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.1. Conclusiones

La red de drenaje pluvial del Sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, está bien definida, fácil de controlar y en su mayoría con la capacidad suficiente para drenar la escorrentía. Los puntos vulnerables a la inundación están claramente identificados favoreciendo su intervención para mejoras.

El análisis de textura se realizó en el mes de Octubre del 2021, lo que significa que el suelo está a un 80% de su capacidad de campo uno, que es cuando el suelo está totalmente saturado, por lo tanto, los resultados de infiltración son más confiables.

El modelo construido y calibrado en EPA SWMM es un análisis hidrológico e hidráulico detallado y confiable para diferentes instantes de lluvia que proporciona la suficiente información que puede servir de base para el diseño de obras de ingeniería en los puntos críticos donde se presentan inundaciones.

Se evaluaron los resultados de modelación hidráulica por medio de los valores referenciales del coeficiente de Nash-Sutcliffe, se encontró que los resultados del modelo en el área de estudio, se ajustan por el método de infiltración de Horton de manera Buena para el aforo número 1 y de forma satisfactoria para el aforo número 2 respecto a los resultados medidos en los aforos, cabe señalar que la lluvia de calibración fue poca duración, pero de alta intensidad.



5.2 Recomendaciones

Con los resultados de infiltración obtenidos, el suelo del Recinto Universitario Rubén Darío tiene la capacidad de infiltrar una cantidad de agua considerable que permita la construcción de Pozos de Infiltración y de esa manera no saturar el punto de cierre que es el portón 6 de la UNAN – Managua.

Se recomienda el uso y manejo del programa EPA SWMM ya que es una herramienta de confiable, ya que presenta un interfaz fácil, rápido y eficaz para el análisis de aguas pluviales, sacando el máximo rendimiento hidrológico e hidráulico de la red drenaje pluvial en estudio.

Se recomienda la construcción de un Cauce que inicie en la parte Norte del POLISAL identificado en esta investigación Monográfica como nodo 4, finalizando al costado de la calle frente al Pabellón 68. La presente tesis cuenta con los parámetros e información suficiente para el diseño de ingeniería.

Se recomienda la implementación de un Tragante o Boca Tormenta que permita conectar el agua pluvial traída por el Cauce mencionado en la recomendación anterior con el Cauce revestido ubicado paralelo a la calle, y de esta manera solucionar la inundación que existe frente al Pabellón 68.

Es recomendable realizar verificaciones en campo, que incluyan una instrumentación en la zona en estudio con equipos de medición y recolección de datos que son fundamentales para una buena calibración, validación e implementación del modelo.

Contar con los registros del proceso de lluvia necesario para la calibración. Esto puede ser una limitante para aprovechar de una manera eficiente los recursos del programa, por esta razón, posibles datos erróneos de entrada como precipitación y datos medidos de caudal pueden ser causa de alta incertidumbre.



5.3 Referencias Bibliográficas

Oswaldo Balmaceda (2021), *Plan de Manejo de agua pluvial para el sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN-Managua*. Informe final para optar al título de Master en Gestión Ambiental. UNAN – Managua.

Sánchez, R. (2008). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Madrid, España: USAL.

Pérez, w; Gómez, J y Fargas, F. (2021). *Evaluación del modelamiento hidráulico, obtenido a partir de la utilización del Modelo Digital de Elevaciones ALOS PALSAR, en un cauce natural del Municipio de Ticuantepe, Managua*. Monografía para optar al título de Ingeniero Ambiental. UNAN – Managua.

Ven Te Chow. *Hidráulica de Canales Abiertos*.

Ortiz Tencio, J. S. (2021). *Modelación hidrológica de la subcuenca del Rio Balsar en el distrito de Ciudad Cortés*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Zárate Rojas, O. J. (2020). *Modelado hidrológico e hidráulico del drenaje pluvial mediante el software SWMM para la urbanización Monterrico de la ciudad de Jaén – Cajamarca*. Perú.

Fatorelli, S. (2011). *Diseño hidrológico*. Zaragoza, España: WASA-GN.

Miranda Prado, C. A. (2019). *Modelación hidrológica y propuesta de un sistema de control de torrentes en la subcuenca del cauce el borbollón a través de un análisis bidimensional mediante el software riverflow2d*.



Segura Serrano, L. P. (2015). *Modelación hidráulica para el análisis y propuesta de obras de mitigación de inundaciones en finca valle La Estrella*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto básico de hidrología*. universidad nacional agraria facultad de recursos naturales y del ambiente. Managua, Nicaragua.

TRAXCO. (1991). *Componentes para sistemas de riego Pívor*.

Laboratory, N. R. (2005). *SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE. Manual de usuario*. Grupo multidisciplinario de modelación de fluidos.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

ANEXOS



| Clase de suelo | Porosidad | Porosidad efectiva | Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado | Conductividad hidráulica |
|----------------------|------------------------|------------------------|--|--------------------------|
| | η | θ_e | ψ (cm) | 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 margosa | 0.437 (0.363–0.506) | 0.401 (0.329–0.473) | 6.13 (1.35–27.94) | 2.99 |
| Marga arenosa | 0.453 (0.351–0.555) | 0.412 (0.283–0.541) | 11.01 (2.67–45.47) | 1.09 |
| Marga | 0.463 (0.375–0.551) | 0.434 (0.334–0.534) | 8.89 (1.33–59.38) | 0.34 |
| Marga limosa | 0.501 (0.420–0.582) | 0.486 (0.394–0.578) | 16.68 (2.92–95.39) | 0.65 |
| Marga arenarcillosa | 0.398 (0.332–0.464) | 0.330 (0.235–0.425) | 21.85 (4.42–108.0) | 0.15 |
| Marga arcillosa | 0.464 (0.409–0.519) | 0.309 (0.279–0.501) | 20.88 (4.79–91.10) | 0.10 |
| Marga limo–arcillosa | 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 |

Anexo 1. Parámetro de infiltración del Green Ampt

Fuente: Rawis, Brakensiek y Miller, 1983.

Nota. Los números entre paréntesis debajo de cada parámetro son una desviación estándar alrededor del valor del parámetro dado.

| HUMEDAD EN EL SUELO | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| Textura del suelo | Capacidad del campo | Punto de marchitamiento | Humedad disponible |
| Arenoso | 9% | 2% | 7% |
| Arenoso – franco | 14% | 4% | 10% |
| Franco arenoso – limoso | 23% | 9% | 14% |
| Franco arenoso + materia orgánica | 29% | 10% | 19% |
| Franco | 34% | 12% | 22% |
| Franco – arcilloso | 30% | 16% | 14% |
| Arcilloso | 38% | 34% | 14% |
| Arcilloso con buena estructura | 50% | 30% | 20% |

Anexo 2. Humedad inicial del suelo por su textura

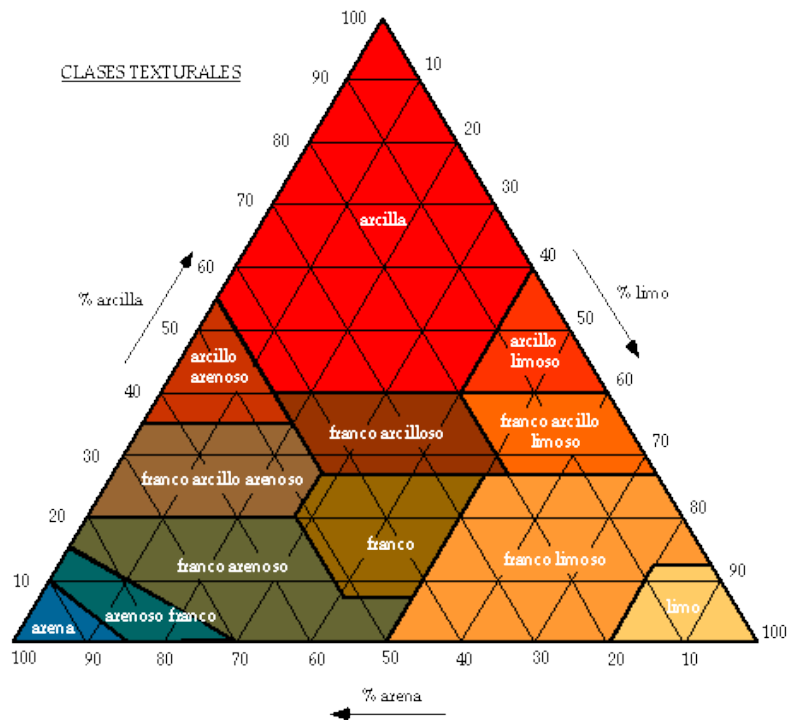
Fuente: TRAXCO (Componentes para sistemas de riego Pívor) 1991.



| Tipo de sección | Área A (m ²) | Perímetro mojado P (m) | Radio hidráulico Rh (m) | Espejo de agua T (m) |
|-----------------|--|------------------------|--|--|
| Rectangular | by | $b+2y$ | $\frac{by}{b+2y}$ | b |
| Trapezoidal | $(b+zy)y$ | $b+2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$ | $b+2zy$ |
| Triangular | zy^2 | $2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $2zy$ |
| Circular | $\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$ | $\frac{\theta D}{2}$ | $(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$ | $\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$ |
| Parabólica | $\frac{2}{3} Ty$ | $T + \frac{8y^2}{3T}$ | $\frac{2T^2y}{3T^2+8y^2}$ | $\frac{3A}{2y}$ |

Anexo 3. Secciones geométricas de los canales

Fuente: Héctor Mayorga Pauth, Hidráulica II, UNAN – Managua.



Anexo 4. Clasificación del suelo por su textura

Fuente: NRCS (1988).



| Material del conducto | <i>n</i> |
|---|---------------|
| Fibrocemento | 0,011 - 0,015 |
| Ladrillo | 0,013 - 0,017 |
| Fundición con revestimiento de cemento y junta recubierta | 0,011 - 0,015 |
| Hormigón (en bloques): | |
| Acabado liso | 0,012 - 0,014 |
| Acabado basto | 0,015 - 0,017 |
| Hormigón (tubo) | 0,011 - 0,015 |
| Metal corrugado ($\frac{1}{2}$ " \times $2\frac{2}{3}$ ") | |
| Sin revestimiento interior | 0,022 - 0,026 |
| Solera recubierta | 0,018 - 0,022 |
| Revestido de asfalto centrifugado | 0,011 - 0,015 |
| Tubería de plástico liso | 0,011 - 0,015 |
| Cerámica vitrificada (gres) | |
| tubería de gres | 0,011 - 0,015 |
| revestimiento por placas | 0,013 - 0,017 |

Anexo 5. Coeficiente *n* de Manning para escorrentía en conductos cerrados

Fuente: Laboratory, N. R. (2005). SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE. Manual de usuario. Grupo multidisciplinario de modelación de fluidos.

| Material del conducto | <i>n</i> |
|---|---------------|
| Canales revestidos: | |
| De asfalto | 0,013 - 0,017 |
| De ladrillo | 0,012 - 0,018 |
| De hormigón | 0,011 - 0,020 |
| De escombros | 0,020 - 0,035 |
| De vegetación | 0,03 - 0,04 |
| Excavado o en zanja: | |
| En tierra, recto y uniforme | 0,020 - 0,030 |
| En tierra, con curvas o no uniforme | 0,025 - 0,040 |
| En roca | 0,030 - 0,045 |
| Sin mantenimiento | 0,05 - 0,14 |
| Canales o cauces naturales ⁸ : | |
| Sección más o menos regular | 0,03 - 0,07 |
| Sección irregular con charcos | 0,04 - 0,10 |

Anexo 6. Coeficiente *n* de Manning para flujo en canales abiertos

Fuente: Laboratory, N. R. (2005). SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE. Manual de usuario. Grupo multidisciplinario de modelación de fluidos.



| Superficie | <i>n</i> |
|--|----------|
| Asfalto liso | 0,011 |
| Hormigón liso | 0,012 |
| Revestimiento de hormigón basto | 0,013 |
| Madera pulida | 0,014 |
| Ladrillo con mortero de cemento | 0,014 |
| Arcilla vitrificada | 0,015 |
| Fundición de hierro | 0,015 |
| Tuberías de metal corrugado | 0,024 |
| Superficie de escombrera | 0,024 |
| Terreno improductivo (libre de residuos) | 0,05 |
| Terreno cultivado | |
| Cubierta de residuos < 20% | 0,06 |
| Cubierta de residuos > 20% | 0,17 |
| Pasto natural | 0,13 |
| Hierba | |
| Corta, pradera | 0,15 |
| Densa | 0,24 |
| Hierba <i>Bermuda</i> | 0,41 |
| Bosque | |
| Con cubierta ligera de arbustos | 0,40 |
| Con cubierta dense de arbustos | 0,80 |

Anexo 7. Coeficiente *n* de Manning para escorrentía superficial

Fuente: Laboratory, N. R. (2005). *SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE. Manual de usuario. Grupo multidisciplinario de modelación de fluidos.*



| Descripción del uso de tierra | 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 optimas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| *Vegas de río: Condiciones optimas | 30 | 58 | 71 | 78 |
| *Bosques: troncos delgados, cubiertas pobre, sin hiervas | 45 | 66 | 77 | 83 |
| *Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. | | | | |
| *Óptimas condiciones: cubiertas de pasto en 75% o mas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| *Aceptables condiciones: Cubiertas de pastos en el 50% al 75% | 49 | 69 | 79 | 84 |
| *Áreas comerciales de negocios (85% impermeables) | 89 | 92 | 94 | 95 |
| *Distritos industriales (72% impermeables) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| *Residencial: | | | | |
| Tamaño promedio del lote | | | | |
| 1/8 acre o menos | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1/4 acre | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1/3 acre | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 1/2 acre | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 1 acre | 51 | 68 | 79 | 84 |
| *Calles y carreteras: | | | | |
| Pavimentos con cunetas y alcantarillas | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Grava | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Tierra | 71 | 82 | 87 | 89 |

Anexo 8. Valores de números de curva para medir condiciones urbanas

Fuente: NRCS (1988).



Anexo 9. Precipitación máxima diaria por cada año

| Año | Precipitación (mm) | Año | Precipitación (mm) | Año | Precipitación (mm) |
|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|
| 1958 | 119.0 | 1979 | 60.4 | 2000 | 110.4 |
| 1959 | 108.0 | 1980 | 85.3 | 2001 | 82.0 |
| 1960 | 88.9 | 1981 | 75.7 | 2002 | 189.8 |
| 1961 | 119.0 | 1982 | 148.5 | 2003 | 76.7 |
| 1962 | 89.9 | 1983 | 55.7 | 2004 | 69.1 |
| 1963 | 59.4 | 1984 | 96.2 | 2005 | 118.1 |
| 1964 | 104.4 | 1985 | 196.7 | 2006 | 52.0 |
| 1965 | 79.9 | 1986 | 59.9 | 2007 | 92.1 |
| 1966 | 75.5 | 1987 | 65.8 | 2008 | 90.7 |
| 1967 | 59.5 | 1988 | 218.2 | 2009 | 43.9 |
| 1968 | 54.0 | 1989 | 55.0 | 2010 | 67.5 |
| 1969 | 51.0 | 1990 | 41.9 | 2011 | 82.3 |
| 1970 | 55.3 | 1991 | 82.0 | 2012 | 112.5 |
| 1971 | 108.0 | 1992 | 60.0 | 2013 | 87.0 |
| 1972 | 75.2 | 1993 | 164.5 | 2014 | 40.5 |
| 1973 | 101.5 | 1994 | 50.6 | 2015 | 161.0 |
| 1974 | 78.0 | 1995 | 71.8 | 2016 | 118.7 |
| 1975 | 146.2 | 1996 | 160.0 | 2017 | 127.5 |
| 1976 | 51.5 | 1997 | 124.0 | 2018 | 173.6 |
| 1977 | 63.1 | 1998 | 99.7 | 2019 | 128.0 |
| 1978 | 61.8 | 1999 | 56.2 | 2020 | 162.8 |

Fuente: Ing. Oswaldo Balmaceda (2021), Plan de Manejo de agua pluvial para el sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN-Managua. Informe final para optar al título de Master en Gestión Ambiental.

Nota. Los datos corresponden a la precipitación máxima registrada en un periodo de 24 horas por cada año desde 1958. La lluvia de mayor precipitación fue la registrada entre el 22 y 23 de Octubre de 1988, la cual fue utilizada como lluvia de diseño en la construcción del modelo.



Anexo 10. Periodo de retorno de precipitación máxima diarias por cada año

| Año | Precipitación (mm) | F ((N+1)/n) | T | Año | Precipitación (mm) | F ((N+1)/n) | T |
|-----|--------------------|-------------|-------|-----|--------------------|-------------|------|
| 1 | 218.2 | 0.016 | 64.00 | 32 | 82.3 | 0.5 | 2.00 |
| 2 | 196.7 | 0.031 | 32.00 | 33 | 82.0 | 0.516 | 1.94 |
| 3 | 189.8 | 0.047 | 21.33 | 34 | 82.0 | 0.531 | 1.88 |
| 4 | 173.6 | 0.063 | 16.00 | 35 | 79.9 | 0.547 | 1.83 |
| 5 | 164.5 | 0.078 | 12.80 | 36 | 78.0 | 0.563 | 1.78 |
| 6 | 162.8 | 0.094 | 10.67 | 37 | 76.7 | 0.578 | 1.73 |
| 7 | 161.0 | 0.109 | 9.14 | 38 | 75.7 | 0.594 | 1.68 |
| 8 | 160.0 | 0.125 | 8.00 | 39 | 75.5 | 0.609 | 1.64 |
| 9 | 148.5 | 0.141 | 7.11 | 40 | 75.2 | 0.625 | 1.60 |
| 10 | 146.2 | 0.156 | 6.40 | 41 | 71.8 | 0.641 | 1.56 |
| 11 | 128.0 | 0.172 | 5.82 | 42 | 69.1 | 0.656 | 1.52 |
| 12 | 127.5 | 0.188 | 5.33 | 43 | 67.5 | 0.672 | 1.49 |
| 13 | 124.0 | 0.203 | 4.92 | 44 | 65.8 | 0.688 | 1.45 |
| 14 | 119.0 | 0.219 | 4.57 | 45 | 63.1 | 0.703 | 1.42 |
| 15 | 119.0 | 0.234 | 4.27 | 46 | 61.8 | 0.719 | 1.39 |
| 16 | 118.7 | 0.25 | 4.00 | 47 | 60.4 | 0.734 | 1.36 |
| 17 | 118.1 | 0.266 | 3.76 | 48 | 60.0 | 0.75 | 1.33 |
| 18 | 112.5 | 0.281 | 3.56 | 49 | 59.9 | 0.766 | 1.31 |
| 19 | 110.4 | 0.297 | 3.37 | 50 | 59.5 | 0.781 | 1.28 |
| 20 | 108.0 | 0.313 | 3.20 | 51 | 59.4 | 0.797 | 1.25 |
| 21 | 108.0 | 0.328 | 3.05 | 52 | 56.2 | 0.813 | 1.23 |
| 22 | 104.4 | 0.344 | 2.91 | 53 | 55.7 | 0.828 | 1.21 |
| 23 | 101.5 | 0.359 | 2.78 | 54 | 55.3 | 0.844 | 1.19 |
| 24 | 99.7 | 0.375 | 2.67 | 55 | 55 | 0.859 | 1.16 |
| 25 | 96.2 | 0.391 | 2.56 | 56 | 54 | 0.875 | 1.14 |
| 26 | 92.1 | 0.406 | 2.46 | 57 | 52 | 0.891 | 1.12 |
| 27 | 90.7 | 0.422 | 2.37 | 58 | 51.5 | 0.906 | 1.10 |
| 28 | 89.9 | 0.438 | 2.29 | 59 | 51 | 0.922 | 1.08 |
| 29 | 88.9 | 0.453 | 2.21 | 60 | 50.6 | 0.938 | 1.07 |
| 30 | 87 | 0.469 | 2.13 | 61 | 43.9 | 0.953 | 1.05 |
| 31 | 85.3 | 0.484 | 2.06 | 62 | 41.9 | 0.969 | 1.03 |
| | | | | 63 | 40.5 | 0.984 | 1.02 |

Fuente: Elaboración propia

Nota. Se ordenan los datos de mayor a menor y utilizando la fórmula de Weibull se calcula la frecuencia de cada evento. Considerando que el periodo es el inverso de la frecuencia, se determinó el periodo de retorno. Nuestra lluvia de diseño tiene un periodo de retorno de 64 años y cada año las posibilidades de que se presente un evento de esa magnitud es del 1.6%.



Anexo 11. Propiedades de las subcuencas

| Código | Sector | Área Ha | Pendiente % | Ancho m | Imperm % | Descarga | Material |
|--------|-------------------------------------|------------|----------------|------------|-------------|----------|---------------------------------------|
| C-1 | Edificio POLISAL 2 | 0.56 | 2.01 | 43.05 | 43.05 | Nodo 1 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-2 | Parqueo Este POLISAL | 0.15 | 4.16 | 43.05 | 39.2 | Nodo 2 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-3 | Edificio POLISAL 1 | 0.33 | 5.98 | 55.74 | 27.22 | Nodo 3 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-4 | Costado Este Auditorio 52 | 0.19 | 4.84 | 44.38 | 55.19 | Nodo 4 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-5 | Del Pabellón 54 Al 58 | 0.72 | 5.40 | 74.12 | 29.56 | Nodo 5 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-6 | Sector Cedi Y Canchas POLISAL | 0.78 | 4.19 | 60.02 | 40.57 | Nodo 6 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-7 | Frente Al Iguanero | 0.16 | 4.13 | 40.2 | 0 | Nodo 6 | Pasto Natural |
| C-8 | Pabellón 60,62 Y 64 | 0.32 | 3.22 | 63.31 | 49.37 | Nodo 7 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-9 | Pabellón 68 | 0.28 | 4.24 | 29.8 | 16.77 | Nodo 8 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-10 | Costado Oeste Auditorio 52 | 0.13 | 6.60 | 20.99 | 20.99 | Nodo 9 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-11 | Parqueo Edificio Arqueología | 0.05 | 6.32 | 20.15 | 100 | Nodo 9 | Asfalto |



| Código | Sector | Área Ha | Pendiente % | Ancho m | Imperm % | Descarga | Material |
|--------|--|------------|----------------|------------|-------------|----------|--|
| C-12 | Quiosco 2 | 0.38 | 2.15 | 40.4 | 37.96 | Nodo 10 | Techos Pasto Natural Asfalto |
| C-13 | Costado Norte Canchas POLISAL | 0.17 | 4.12 | 18.15 | 4.61 | Nodo 12 | Pasto Natural Concret o |
| C-14 | Pabellón 32 | 0.11 | 2.38 | 20.73 | 22.31 | Nodo 15 | Techos Pasto Natural Concret o |
| C-15 | Pabellón 34 Y 36 | 0.12 | 4.06 | 35.47 | 61.7 | Nodo 15 | Techos Pasto Natural Concret o |
| C-16 | Pabellón 38,40 Y 42 | 0.2 | 2.97 | 33.6 | 55.7 | Nodo 16 | Techos Pasto Natural Concret o |
| C-17 | Costado Este Pabellón 38,40 Y 42 | 0.1 | 2.06 | 33.25 | 5 | Nodo 17 | Techos Pasto Natural Concret o |
| C-18 | Pabellón 44,46,48 Y 50 | 0.23 | 6.92 | 39.5 | 64.43 | Nodo 17 | Techos Pasto Natural Concret o |
| C-19 | Donde Fue Comedor Moscú | 0.13 | 2.07 | 26.68 | 20 | Nodo 17 | Pasto Natural Concret o |
| C-20 | Costado Noroeste del Pabellón 50 | 0.43 | 3.06 | 43 | 65 | Nodo 28 | Techos Pasto Natural Concret o |



| Código | Sector | Área Ha | Pendiente % | Ancho m | Imperm % | Descarga | Material |
|--------|---------------------------------|---------|-------------|---------|----------|----------|-------------------------------|
| C-21 | Morgue Medicina | 0.13 | 2.19 | 32.31 | 100 | Nodo 29 | Techos Concreto |
| C-22 | Del Pabellón 14 Al 24 | 0.53 | 5 | 54.23 | 44.41 | Nodo 31 | Techos Pasto Natural Concreto |
| C-23 | Costado Este Biblioteca | 0.2 | 6.55 | 31.22 | 20 | Nodo 30 | Techo Pasto Natural Concreto |
| C-24 | Costado Oeste Biblioteca | 0.33 | 4.20 | 32.72 | 30 | Nodo 33 | Techo Pasto Natural Concreto |
| C-25 | Facultad De Medicina | 1.12 | 5.58 | 70 | 45 | Nodo 45 | Techo Pasto Natural Asfalto |
| C-26 | Costado Este Medicina | 0.2 | 1.17 | 18.98 | 0 | Nodo 23 | Pasto Natural |
| C-27 | Costado Norte Biblioteca | 0.21 | 6.13 | 25 | 10 | Nodo 33 | Pasto Natural Concreto |
| C-28 | Costado Este Campo De Béisbol | 0.97 | 5.47 | 108.3 | 0 | Nodo 37 | Pasto Natural |
| C-29 | Pabellón 38,40,42,44,46,48 Y 50 | 0.39 | 6.10 | 46 | 50 | Nodo 55 | Techos Pasto Natural Concreto |

Fuente: Ing. Oswaldo Balmaceda (2021), Plan de Manejo de agua pluvial para el sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN-Managua. Informe final para optar al título de Master en Gestión Ambiental.



Anexo 12. Aportaciones de los nodos a los tramos de la red

| Nodo | Aportación | Nodo | Aportación |
|------|----------------------------|------|--------------------------|
| N.1 | C-1 | N.28 | C-20 |
| N.2 | Tramo 1, C-2 | N.29 | Tramo27, C-21 |
| N.3 | Tramo2, C-3 | N.30 | Tramo28, C-23 |
| N.4 | Tramo3, C-4 | N.31 | C-22 |
| N.5 | Tramo4, C-5 | N.32 | Tramo30 |
| N.6 | Tramo5, C-6 Y C-7 | N.33 | Tramo29, Tramo 31 Y C-24 |
| N.7 | Tramo6, C-8 | N.34 | Tramo32 |
| N.8 | Tramo7, C-9 | N.35 | Tramo33 |
| N.9 | C-10 Y C-11 | N.36 | Tramo34 |
| N.10 | Tramo9, C-12 | N.37 | Tramo35, C-28 |
| N.11 | Tramo10 | N.38 | Tramo36 |
| N.12 | Tramo11, C-13 | N.39 | Tramo37 |
| N.13 | Tramo12 | N.40 | Tramo37, Tramo39 |
| N.14 | Tramo 8 Y Tramo13 | N.41 | Tramo40 |
| N.15 | C-14 Y C-15 | N.42 | Tramo41 |
| N.16 | Tramo14, C-16 | N.43 | Tramo42 |
| N.17 | Tramo15, C-17, C-18 Y C-19 | N.44 | Tramo26 |
| N.18 | Tramo16 | N.45 | Tramo43, C-25 |
| N.19 | Tramo17 | N.46 | Tramo44 |
| N.20 | Tramo18 | N.47 | Tramo45 |
| N.21 | Tramo19 | N.48 | Tramo46 |
| N.22 | Tramo20 | N.49 | Tramo47 |
| N.23 | Tramo23, C-26 | N.50 | Tramo48 |
| N.24 | Tramo24 | N.51 | Tramo49 |
| N.25 | Tramo21 | N.52 | Tramo50 |
| N.26 | Tramo22 | N.53 | Tramo51 |
| N.27 | Tramo25 | N.54 | Tramo52 |
| | | N.55 | Tramo 53 |

Fuente: Ing. Oswaldo Balmaceda (2021), Plan de Manejo de agua pluvial para el sector Este del Recinto Universitario Rubén Darío, UNAN-Managua. Informe final para optar al título de Master en Gestión Ambiental.



Anexo 13. Propiedades de los conductos de la red de drenaje

| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|---------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 1 | Nodo 1 | Nodo 2 | 34.39 | |
| Tramo 2 | Nodo 2 | Nodo 3 | 45.39 | |
| Tramo 3 | Nodo 3 | Nodo 4 | 39 | |
| Tramo 4 | Nodo 4 | Nodo 5 | 86.15 | |
| Tramo 5 | Nodo 5 | Nodo 6 | 61.75 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 6 | Nodo 6 | Nodo 7 | 40.93 | |
| Tramo 7 | Nodo 7 | Nodo 8 | 45.42 | |
| Tramo 8 | Nodo 8 | Nodo 9 | 9.47 | |
| Tramo 9 | Nodo 9 | Nodo 10 | 81.29 | |
| Tramo 10 | Nodo 10 | Nodo 11 | 57.32 | |
| Tramo 11 | Nodo 11 | Nodo 12 | 46.5 | |
| Tramo 12 | Nodo 12 | Nodo 13 | 37.76 | |
| Tramo 13 | Nodo 13 | Nodo 14 | 34.83 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 14 | Nodo 15 | Nodo 16 | 55.72 | |
| Tramo 15 | Nodo 16 | Nodo 17 | 57.21 | |
| Tramo 16 | Nodo 17 | Nodo 18 | 40.26 | |
| Tramo 17 | Nodo 18 | Nodo 19 | 20.1 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 18 | Nodo 19 | Nodo 20 | 45.4 | |
| Tramo 19 | Nodo 20 | Nodo 21 | 29.91 | |
| Tramo 20 | Nodo 21 | Nodo 22 | 48.66 | |
| Tramo 21 | Nodo 14 | Nodo 25 | 32.85 | |
| Tramo 22 | Nodo 25 | Nodo 26 | 54.69 | |
| Tramo 23 | Nodo 22 | Nodo 23 | 28.25 | |
| Tramo 24 | Nodo 23 | Nodo 24 | 58.05 | |
| Tramo 25 | Nodo 24 | Nodo 27 | 10.62 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 26 | Nodo 26 | Nodo 44 | 49.71 | |
| Tramo 27 | Nodo 28 | Nodo 29 | 42.36 | |
| Tramo 28 | Nodo 29 | Nodo 30 | 56.48 | |
| Tramo 29 | Nodo 30 | Nodo 33 | 43.77 | |
| Tramo 30 | Nodo 31 | Nodo 32 | 8.93 | |

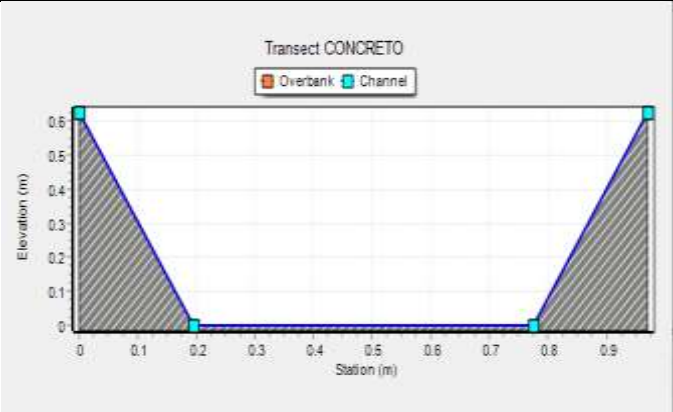


| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 31 | Nodo 32 | Nodo 33 | 72.19 | |
| Tramo 32 | Nodo 33 | Nodo 34 | 18.62 | |
| Tramo 33 | Nodo 34 | Nodo 35 | 8.09 | |
| Tramo 34 | Nodo 35 | Nodo 36 | 13.32 | |
| Tramo 35 | Nodo 36 | Nodo 37 | 69.69 | |
| Tramo 36 | Nodo 37 | Nodo 38 | 24.41 | |
| Tramo 37 | Nodo 38 | Nodo 39 | 37.61 | |
| Tramo 38 | Nodo 39 | Nodo 40 | 38.85 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| Tramo 39 | Nodo 27 | Nodo 40 | 161.32 | |
| Tramo 40 | Nodo 40 | Nodo 41 | 323.29 | |
| Tramo 41 | Nodo 41 | Nodo 42 | 16.07 | |
| Tramo 42 | Nodo 42 | Nodo 43 | 15.72 | |
| Tramo 43 | Nodo 44 | Nodo 45 | 58.39 | |
| Tramo 44 | Nodo 45 | Nodo 46 | 69.52 | |
| Tramo 45 | Nodo 46 | Nodo 47 | 12.07 | |
| Tramo 46 | Nodo 47 | Nodo 48 | 71.4 | |
| Tramo 47 | Nodo 48 | Nodo 49 | 29.87 | |
| Tramo 48 | Nodo 49 | Nodo 50 | 37.56 | |
| Tramo 49 | Nodo 50 | Nodo 51 | 33.84 | |
| Tramo 50 | Nodo 51 | Nodo 52 | 322.48 | |
| Tramo 51 | Nodo 52 | Nodo 53 | 18.72 | |
| Tramo 52 | Nodo 53 | Nodo 54 | 13.22 | |



| Tramo | Nodo Inicio | Nodo Final | Longitud (m) | Sección |
|----------|-------------|------------|--------------|--|
| Tramo 53 | Nodo 55 | Nodo 28 | 17.67 |  |

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Esta tabla muestra la información de los conductos que forman parte de la red. En este caso se le llamo conducto a elementos como: calles, cauces en terreno natural y concreto.



Anexo 14. Levantamiento Topográfico

Fuente: Elaboración propia



Anexo 15. Ensayo de infiltración por el método de Porchet

Fuente: Elaboración propia



Anexo 16. Inundaciones del Costado este auditorio 52

Fuente: Elaboración propia



Anexo 17. Inundaciones del Pabellón 24

Fuente: Elaboración propia



Anexo 18. Inundaciones del Costado Oeste del Pabellón 68

Fuente: Elaboración propia



Anexo 19. Medida de caudales en el aforo número 1

Fuente: Elaboración propia



Anexo 20. Medida de caudales en el aforo número 2

Fuente: Elaboración propia



Fecha de: 29/10/2021
Entrega

Cliente: Kevin Alexander Méndez Sequeira

ID: 0801-1988-04804

Correo:

Descripción de las muestras:

MN1: UNAN Managua costado sur-este POLISAL

MN2: UNAN Managua costado este pabellón 46

MN3: UNAN Managua costado sur este Biblioteca

En las muestras entregadas al laboratorio se determinó según los parámetros para los análisis correspondientes a las muestras de suelo encontrando los siguientes valores:

| Textura (Bouyoucos) | | | | | | |
|---------------------|----------|---------|-------|------|-------|----------------|
| Ítem | MUESTRAS | ARCILLA | ARENA | LIMO | TOTAL | Clasificación |
| 1 | MN1 | 11.5 | 50.4 | 38.1 | 100 | Franco |
| 2 | MN2 | 13.4 | 50.5 | 36.0 | 100 | Franco |
| 3 | MN3 | 19.8 | 54.6 | 25.6 | 100 | Franco Arenoso |

MSC. Ing. José Méndez Úbeda
Jefe Dpto. Ingeniería agrícola

Ing. Zadis Vanegas Bustos
Responsable LAB. Edafología

CC. Jefe Dpto. Ing. Agrícola

Anexo 21. Análisis de textura

Fuente: Laboratorio de Edafología de la Universidad nacional de Ingeniería RUPAP