



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD EN LADERAS CRÍTICAS SUJETAS A LLUVIAS INTENSAS”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

IVAN JENARO CLAUDES SALDIVAR

ASESOR DE TESIS:

DR. DAVID DE LEON ESCOBEDO

NOVIEMBRE 2025

Índice

Resumen.....	1
Introducción	2
Justificación	3
Objetivo General	4
Objetivos particulares	4
Hipótesis General:	4
Planteamiento del Problema	5
Alcance	6
1.- MARCO TEÓRICO: INTRODUCCIÓN	8
1.1 DEFINICIÓN.....	12
1.2 CAUSAS DE INESTABILIDAD	14
1.3 PROBLEMA FÍSICO: DESLIZAMIENTO DE LADERA	17
1.4 SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS	29
1.5 EFECTO DE LA LLUVIA.....	34
2.- METODOLOGÍA PROPUESTA	42
2.1 CONDICIONES DE BORDE (INICIALES)	43
2.2 ANALISIS DE DATOS DE LLUVIAS	49
2.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA.....	59
2.4 ANALISIS DE CONFIABILIDAD.	62
2.4.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	66
2.4.2 DISTRIBUCIÓN BETA	68
2.4.3 DISTRIBUCIÓN GAMA.....	70
2.5.- FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD	72
3.- ANALISIS DE RESULTADOS	76
4.- CONCLUSIONES	81
4.1 CONCLUSIONES PARTICULARES:	81
4.2 CONCLUSIONES GENERALES:	81
4.3 RECOMENDACIONES A FUTURO	82
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS	88

Resumen

El siguiente trabajo utiliza metodologías estadísticas, probabilísticas y deterministas para la obtención de la confiabilidad de una ladera con condiciones críticas a no presentar falla por caído a causa de lluvias intensas y que sirva como una generalización de la peligrosidad que representa una ladera con condiciones similares. Lo anterior es llevado a cabo empleando definiciones de la teoría de la mecánica de suelos tradicional y de la teoría relativamente reciente de suelos parcialmente saturados: se hace mediante la distinción del comportamiento de los parámetros de resistencia del suelo en estado seco y saturación total, en comparación con el estado de saturación parcial a causa de la infiltración de agua. Se utilizan, además, metodologías que consideran una falla interna en la ladera vinculado a un factor de seguridad, el cual es resultado de la aplicación de diferentes intensidades de lluvia en diferentes días (obtenidas a partir de un análisis de datos históricos de lluvias) que provocan alteración de las propiedades del suelo, para finalmente obtener cierto número de factores de seguridad favorables y desfavorables ante el tentativo movimiento para su posterior tratamiento estadístico y así obtener el análisis de confiabilidad de la ladera.

El alcance de este trabajo se ve limitado por el poco fundamento teórico consolidado de la teoría de suelos parcialmente saturados debido a las barreras que ofrecen las investigaciones realizadas por diversos autores al considerarse una teoría que subraya condiciones de alta incertidumbre en las propiedades del suelo en función del contenido de agua, en comparación con las teorías extremistas de antaño (suelo seco y totalmente saturado) que son impartidas en las escuelas de ingeniería y que han funcionado como base en el diseño geotécnico en muchas obras civiles y que no consideran las condiciones antes mencionadas (Meza Ochoa, 2012). Lo anterior justifica que la ladera sea estudiada bajo las consideraciones de un estado de humedad tanto total como parcial, debido a que estará sometida a lluvias de distintas magnitudes e intensidades que podrían posicionarla en alguno de estos dos casos debido a las diferentes formas de infiltración del líquido en el suelo.

Introducción

El aspecto del entorno terrestre puede ser considerado como un registro de aquellos movimientos geológicos que lo han marcado a través del tiempo. Aquellos valles o fisuras son claras muestras de dichos movimientos, que en su mayoría son causados por la manifestación de fenómenos intrínsecos a la naturaleza del planeta (Tarbuck y Lutgens, 2005). El movimiento de la Tierra es un tema de gran relevancia hoy en día y su principio fundamental de estudio siempre ha sido salvaguardar la seguridad humana, hacer las condiciones de vida óptimas, conservar el paisaje natural y estudiar su evolución a lo largo del tiempo (Cervantes Pérez y Sieron, 2015) además de generar recomendaciones para la prevención de desastres y el manejo de riesgos relacionados al movimiento de laderas.

Es bien sabido que el riesgo ante fenómenos naturales relacionados al movimiento de grandes masas de tierra es mayor en países en vías de desarrollo, en donde se registran los mayores siniestros en términos de pérdidas humanas y destrucción de viviendas, mientras que en países desarrollados registran los daños en su mayoría referidos a la infraestructura perjudicada, como el bloqueo de carreteras, volteo de torres de transmisión o la interrupción de flujo de agua de un río (Banochea Pico, 2006).

La ocurrencia de movimientos de laderas está en función del tiempo y el espacio, por lo que los estudios se concentran en aquellos factores que provocan dichos desastres, ya que son variables e independientes de la ladera, por lo que es necesario obtener parámetros de seguridad por medio de técnicas probabilísticas que aseguren que una ladera quede exenta de movimiento ante la presencia de los agentes desencadenantes (lluvias).

Justificación

Se busca conocimiento base para establecer lineamientos de protección y medidas de prevención ante la probabilidad de ocurrencia de eventos relacionados al movimiento de masas de tierra (laderas críticas) en zonas con recurrentes lluvias intensas debido al gran impacto negativo en la sociedad.

Considerando a la lluvia como el mayor precursor de estos eventos, es necesario poder predecir su efecto con base en los parámetros de resistencia de la ladera y la intensidad con la que ésta se presente. Debido a su alta incertidumbre (tanto en su ubicación como en cantidad), es necesario proponer metodologías y procedimientos matemáticos que den como resultado modelos predictivos para la manifestación de la ruptura del cerro en función de la cantidad de agua infiltrada, geometría de la ladera, el tipo y propiedades del suelo, entre otros, con el fin de alertar a la población y establecer limitaciones territoriales ante futuros asentamientos humanos (Poveda et al., 2020).

Esta investigación, además, busca remarcar el impacto existente y la importancia de la teoría de suelos parcialmente saturados, al ser conocimiento poco impartido en carreras universitarias y además de que es el estado natural que la mayoría de los suelos presenta (Meza Ochoa, 2012), sugiriendo el empleo de un enfoque de estudio combinado (probabilístico y determinista) dadas las exigencias que el fenómeno en estudio establece.

Objetivo General

- Determinar el grado de confiabilidad de una ladera con condiciones críticas para saber la necesidad de implementar medidas de mitigación al desastre.

Objetivos particulares

- Obtener la variación del factor de seguridad ante el movimiento de la ladera en cuestión y la influencia directa de la lluvia.
- Calcular la confiabilidad de una ladera sujeta a lluvias intensas mediante la combinación de metodologías estadísticas, deterministas y probabilísticas.
- Establecer los alcances en caso de requerir medidas de mitigación.

Hipótesis General:

- La probabilidad de falla de la ladera seleccionada, bajo las intensidades de lluvia consideradas, es mayor al 20% y, de acuerdo con estándares internacionales, requiere una intervención de mitigación ya que su seguridad es insuficiente.

Planteamiento del Problema

El impacto de los movimientos de ladera se asocia con la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos que provocan la ruptura y condicionan el estado de equilibrio de dichos cuerpos de tierra (Llorens y Masquef, 2009; Valiente Sanz et al., 2016). Esta movilización de grandes volúmenes de masa de tierra regularmente es un movimiento cuesta abajo inducido por la gravedad (Highland y Bobrowsky, 2008), en donde la continua meteorización física y química del medio también suelen ser factores determinantes (Chacón, 2012).

Los movimientos de laderas son catalogados como desastres naturales de alto nivel destructivo, representando una amenaza que deja daños cuantiosos, desde el cambio visual del paisaje, hasta daños estructurales en infraestructura y pérdidas humanas (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021). Estos eventos son considerados como el tercer lugar de fenómenos que producen gran cataclismo en la población, solo por detrás de las inundaciones y los sismos (Llorens y Masquef, 2009).

Son de gran importancia las implicaciones que traerán consigo los efectos del cambio climático, específicamente al alterar los regímenes de lluvia en varias partes del mundo, creando largas temporadas de estiaje o, por el contrario, la presencia de largos periodos de lluvias de gran intensidad, afectando directamente a la estabilidad de las laderas con susceptibilidad a la falla (condiciones críticas) (Alfaro Alejo et al., 2022).

Alcance

El alcance de este trabajo es aplicativo y se lleva a cabo empleando conceptos de la teoría de la mecánica de suelos tradicional y la teoría de suelos parcialmente saturados, definiendo en el marco teórico información relevante para ambos tópicos.

Éste último se considera como un enfoque de mayor complejidad debido a que se trata de un estado de humedad del suelo sensible al cambio ante la presencia de agua, teniendo impacto tanto en las propiedades físicas como mecánicas de éste, por lo que la incertidumbre de comportamiento resistente en la ladera queda íntimamente condicionada por eventos de lluvia (descartando análisis pseudo estáticos). Por lo anterior, es necesario caracterizar el fenómeno de estudio bajo una modelación probabilística aplicando modelos deterministas y estadísticos, ya que se busca predecir qué tan confiable es una ladera crítica a que no presente ruptura ante la presencia de lluvias intensas, generalizando el efecto en otras laderas con características similares a las antes mencionadas, y para lograrlo, es necesario establecer las condiciones iniciales que mayor se ajusten al objetivo de esta tesis, haciendo fundamental definir condiciones hipotéticas tanto en la ladera como en el entorno.

En primera instancia, se plantea un escenario hipotético en el cual se cumpla la existencia de una ladera susceptible a la falla dentro de una zona con altos regímenes de lluvia en la mayor parte del año. Una ladera con estas características hace suponer su existencia en algunas partes del mundo y sus propiedades son extraídas con base a los datos topográficos y físicos de una ladera real con condiciones críticas. De igual forma, la elección de la zona de la cual se analizan las precipitaciones o caída de agua se realiza a partir de los datos correspondientes a una estación pluviométrica real, la cual contiene cifras intensas durante el año. Lo anterior define que, tanto en la ladera como en la estación pluviométrica elegida para el estudio no hay una coincidencia espacial, dejando claro que a pesar de la existencia de laderas críticas en varias zonas del planeta puede que no presenten falla hasta la manifestación de lluvias con caídas intensas de agua gracias al cambio climático.

Al tratarse de una ladera “crítica”, esta característica queda sujeta por la geometría y las propiedades mecánicas y físicas del suelo, es decir, una ladera crítica es susceptible a fallar debido a la presencia de una geometría irregular con grandes pendientes, además de que el material constitutivo es sensible a los cambios de humedad, repercutiendo en los atributos resistentes y físicos del medio, por lo que es necesario saber la reacción del terreno en diferentes escenarios de tormentas (lluvias).

La creación de distintos escenarios de lluvia se realiza empleando la metodología de Monte Carlo a partir de un análisis estadístico de la frecuencia y ocurrencia temporal de distintas intensidades de lluvia que toma como base los datos históricos encontrados de la estación pluviométrica elegida. Las conclusiones de dicho análisis permiten tener juicio para identificar aquellos casos donde es necesario implementar medidas que disminuyan el riesgo de desastre, mejorando así la seguridad.

Para conocer el impacto de cada uno de los escenarios de lluvia creados anteriormente, se realiza la introducción de los parámetros debidos dentro del software GeoStudio versión 2012. En él, es posible modelar la forma, composición y propiedades del suelo de la ladera junto con la introducción de las magnitudes de lluvia para conocer su posterior efecto y estudiar la evolución de la seguridad del cuerpo de tierra. También se utilizan hojas de cálculo y programas de diseño asistidos por computadora que sirven como complemento para el propósito de este trabajo.

A pesar de definir condiciones de borde que disminuyen la complejidad del estudio, el elegir un procedimiento probabilístico junto con las metodologías deterministas y estadísticas hacen idóneo enfocar el análisis hacia los efectos de las lluvias intensas en laderas susceptibles a la falla.

Se da la libertad de indagar este procedimiento en la aplicación en otros casos en los cuales exista la oportunidad de eliminar algunas barreras que aquí se han impuesto y que permitan caracterizar con mayor afinidad todas las variables involucradas. Lo mencionado marca una pauta para mejores propuestas y dar paso a investigaciones que enriquezcan a éste.

1.- MARCO TEÓRICO: INTRODUCCIÓN

Se entiende por talud, de forma general, a aquellas superficies de tierra inclinadas de forma permanente respecto a un plano horizontal. Su origen puede ser natural (laderas) o artificial (creadas por el hombre) (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo II).

Es posible que un talud natural o ladera sufra modificaciones debido a la necesidad de hacer cortes para hacer caminos, carreteras, o explotar recursos del subsuelo, por lo que el resultado de ese corte ya es considerado un talud artificial (siempre y cuando haya existido un estudio y aplicación técnica estabilizadora) o simplemente talud, mientras que el lado de una montaña sin modificar seguirá siendo una ladera (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Laderas naturales y taludes artificiales son vulnerables a sufrir algún tipo de fallo o ruptura; la gran diferencia radica en que el primer tipo es más propenso a presentar este fenómeno. Un talud artificial es diseñado con metodologías, normas y técnicas basadas en la mecánica de suelos asegurando, con un pequeño margen de error, su funcionalidad para el que fue proyectado para cierto periodo de tiempo (Llorens y Masquef, 2009). En una ladera siempre existirá mayor probabilidad de movimiento dadas las condiciones de equilibrio que han sido impuestas a lo largo de su génesis natural (Tarbuck y Lutgens, 2005) y por su incidencia al cambio cuando hay presencia de aquellos factores que causan desequilibrio, por lo que su estudio está más enfocado hacia la probabilidad de ocurrencia de desestabilización y la prevención y mitigación de los efectos catastróficos que puedan repercutir en la sociedad. Es probable que, gracias a las condiciones internas del medio de la ladera, se pueda mantener estable su posición por largos periodos de tiempo, dejando a aquellos factores externos como los potenciadores capaces de alterar las propiedades estabilizadoras y causar ruptura en ella (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

El estudio de movimiento de laderas es frecuente cuando se toman en cuenta futuros asentamientos humanos. En ocasiones, estos eventos se pueden suscitar en las lejanías de una población rural o en zonas urbanas con asentamientos cercanos a una montaña o cerro.

Por ende, el impacto destructivo queda en función de la población que se encuentra vulnerable a estos fenómenos dada la cercanía a una ladera (Alcántara Ayala y Murillo García, 2007), dejando clara la necesidad de estudios de análisis de riesgos en zonas susceptibles (Llorens y Masquef, 2009).

Es necesaria la participación de expertos, tanto de empresas privadas como del gobierno, con amplios conocimientos en disciplinas relacionadas a las ciencias de la Tierra para obtener una mejor comprensión sobre las causas de estos eventos naturales y una mejor planeación y actuación ante su posible aparición (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021). Trabajos recientes definen medios por el cual pueden disminuir el efecto negativo del movimiento de masas de tierra: las de tipo cartográficas, educativas y medidas de protección/prevención.

A continuación, se mencionan algunos eventos suscitados en varias partes de México.

A principios del mes de junio del año 2000, se produjo un derrumbe de sólidos rocosos en una cantera ubicada en el cerro El Tortuguero, Macuspana, Tabasco. Se reportaron pérdidas materiales por parte de la empresa que se encontraba realizando la explotación de los recursos, aunque se tuvo el incidente de afectación de viviendas donde 7 habitantes aledaños perdieron la vida (Alcántara Ayala et al., 2008).

El 10 de septiembre del año 2021, un desprendimiento de rocas de gran tamaño aplastó y sepultó viviendas y calles en la colonia Lázaro Cárdenas, Tlalnepantla, Estado de México, dejando víctimas mortales y desaparecidas, además del desalojo de personas de las viviendas cercanas (Figura 1) (Venegas, 2022).

Figura 1. *Caída de rocas en el cerro del Chiquihuite, Tlalnepantla, Estado de México.*



Nota. *Vecinos del Cerro del Chiquihuite: entre el miedo y la incertidumbre a un nuevo derrumbe.* [Fotografía] por Gobierno de Tlalnepantla, 2022, El Sol de Toluca. <https://oem.com.mx/elsoldetoluca/local/vecinos-del-cerro-del-chiquihuite-entre-el-miedo-y-la-incertidumbre-a-un-nuevo-derrumbe-14376642>

La ciudad de Teziutlán, Puebla, se encuentra sobre un terreno de montañas con poca elevación y con diferentes pendientes. En octubre de 1999, en la colonia la Aurora, situada cerca de una ladera ocurrió un flujo de materiales, dejando varias viviendas sepultadas y decenas de personas desaparecidas. Actualmente las personas que siguen habitando en el lugar continúan con el temor de la repetición de un desastre de esta naturaleza (Alcántara Ayala et al., 2008).

Durante el mes de octubre del año 2007 en la zona sureste de México, específicamente en el estado de Chiapas, se caracterizó por un periodo de precipitaciones intensas prolongadas debido a la tormenta tropical “Noel”. Del 28 de octubre hasta el 1 de noviembre, se registraron grandes cantidades de precipitación. Para el día 4 de noviembre habría ocurrido el movimiento de una gran masa de tierra de grandes volúmenes de aproximadamente 5 millones de metros cúbicos, suficientes para crear afectaciones en las zonas circundantes; una de ellas fue la interrupción del río Grijalva gracias a la creación de un tapón en toda la sección del cauce, dando paso a la formación de una presa natural. El otro suceso fue la inundación del poblado San Juan de Grijalva a causa de las grandes olas provocadas por el azote de las grandes masas de suelo sobre el cuerpo de agua, destruyendo viviendas y dejando decenas de personas muertas y desaparecidas (Garnica et al., 2010) (Figura 2).

Figura 2. *Obstrucción del cauce en el río Grijalva, Chiapas, México.*



Nota. *Tapón del Grijalva.* [Fotografía] por Sánchez, Arturo, 2015, Metanoia.
<https://arturosanchezgomez.blogspot.com/2015/04/fotos-del-tapon-del-grijalva.html>

1.1 DEFINICIÓN

El movimiento de laderas puede definirse como el movimiento colina abajo de suelo, roca, materiales orgánicos y algunas veces infraestructura, que es resultado del efecto de la gravedad y otros factores que causan fractura en ella. Existen diferentes tipos y su clasificación varía de acuerdo con ciertas propiedades y características, tales como el volumen de material arrastrado, velocidad, mecanismo de falla o movimiento, el tamaño y tipo de material que es arrastrado, entre otros, los cuales hacen variar su potencial destructivo (Highland y Bobrowsky, 2008).

Alcántara Ayala (1999) propone referirse a este fenómeno por medio de términos como procesos gravitacionales o procesos de remoción de masa.

Salazar et al. (2012) dan un punto de vista sobre la terminología de movimiento de laderas; enfatizando que debe haber distinción en cada tipo de movimiento con características únicas, haciendo posible una clasificación de acuerdo con entidades propias. Diferentes institutos y grupos de investigadores coinciden en la propuesta de una tipología para nombrar a cada movimiento de ladera existente, ya que su variación se considera grande y compleja, por lo que su clasificación se hace con base a características primordiales (Llorens y Masquef, 2009) que en su mayoría toman en cuenta los tipos y el tamaño de las partículas movilizadas. La importancia de la identificación de cada uno de ellos radica en dar posibles soluciones para evitar su presencia y dar un diagnóstico apropiado en la aplicación de soluciones de estabilización (Corominas, 2000).

Corominas (2000) enfatiza en que la característica principal que distingue cada uno de los tipos de movimiento de ladera está basada en la cinemática del cuerpo, es decir, la forma en como suele ser desplazada la masa de suelo.

Terzagui (1950), como se citó en Alcántara Ayala (1999), destaca la clasificación de cada mecanismo a partir de su rapidez de ocurrencia, en donde la composición variada (rocas, sedimentos o suelo residual) actúa como un conjunto.

Varnes (1978) toma en cuenta la clasificación por el tipo de movimiento y el tipo de material arrastrado involucrado, dando así origen a diferentes términos que refieren a los tipos de movimiento hoy en día conocidos, como deslizamientos de laderas, flujos, desprendimiento de rocas, entre otros.

Montero (2012) ofrece una clasificación desde el punto de vista mecánico, tomando en cuenta los distintos modos de fallas en el suelo: falla frágil y falla plástica. Caídas, deslizamientos y flujos son los principales movimientos básicos; los dos primeros se caracterizan por el comportamiento frágil del terreno, mientras que los flujos corresponden al comportamiento viscoso o plástico del suelo.

Montero (2009) define una clasificación en el movimiento de laderas desde el punto de vista temporal, donde propone el concepto de diacronía como el desarrollo o sucesión de hechos a través del tiempo. Los movimientos diacrónicos suceden en intervalos de tiempo grandes (meses, años o siglos), aunque existen aquellos cuya duración está en función de segundos o minutos.

En general, se suelen realizar los estudios necesarios (geomorfológicos, geológicos y topográficos) del suelo, previo o durante el movimiento de la ladera para deducir la clase de material desplazado y el tipo de mecanismo que ha dado lugar al siniestro (Corominas, 2000)

En la tabla 1 se mencionan algunos de los principales tipos de movimientos de ladera basados en la clasificación dada por Varnes (1978) y aceptada mundialmente (Alcántara Ayala, 1999), en el cual se resalta el mecanismo, el tipo de material arrastrado (suelo o roca) y la velocidad de ocurrencia.

Tabla 1. Principales tipos de movimiento de laderas. Adaptado de Varnes (1978).

Tipo de Movimiento	Estado físico del suelo	Material arrastrado	Velocidad de ocurrencia
Desprendimientos o caídas	Rigidez casi completa en todo el medio.	Principalmente roca, acompañado de pequeños fragmentos de suelo.	De lento a rápido, con velocidades de orden de (cm/día) y (m/s).
Deslizamientos	Estado semirrígido.	Acompañado en su mayoría por material propio del suelo, algunas veces con proporciones considerables de roca.	Ocurrencia rápida, de orden de metros por segundo.
Flujos	Estado viscoso.	Principalmente compuesto por material de suelo, siendo más abundante material fino con gran poder de arrastre de otros fragmentos.	Ocurrencia de rápida a muy lenta, llevando velocidades de m/s hasta cm/año.

1.2 CAUSAS DE INESTABILIDAD

Una ladera se vuelve inestable cuando se rompe el equilibrio existente entre fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes que se manifiestan internamente entre las partículas constituyentes del medio (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Todas las características físicas (topográficas, geológicas y geotécnicas) condicionan la estabilidad de una ladera debido al equilibrio entre las fuerzas internas involucradas, con la desventaja de que estos parámetros presentan cierta sensibilidad al cambio de forma desfavorable ante la manifestación de eventos externos, como la excesiva precipitación por periodos prolongados, sismos de gran magnitud, actividad volcánica (Highland y

Bobrowsky, 2008), por cuestiones de nuevos asentamientos humanos y, en algunas ocasiones, la deforestación de vegetación que una vez dio rigidez al suelo (Llorens y Masquef, 2009). Lo anterior plantea la inexistencia de limitaciones geográficas que puedan interferir la ocurrencia de un movimiento de ladera, ya que estos siniestros pueden ocurrir en lechos rocosos, suelos agrícolas, laderas con o sin vegetación, en zonas habitadas, además de que pueden hacer acto de presencia bajo el agua de ríos. Las áreas con exceso de humedad o sitios muy secos también suelen ser zonas potenciales de aparición de un movimiento de tierras (Highland y Bobrowsky, 2008).

La apariencia visual es un gran indicativo del nivel de criticismo de una ladera a presentar movimiento (altas pendientes, rocas fracturadas o material constitutivo débil); sin embargo, en la mayoría de los casos, es necesaria la presencia de los agentes potenciadores que originen el desprendimiento (Highland y Bobrowsky, 2008). A pesar de ello, no existe un agente decisivo único que influya totalmente en la ocurrencia de la inestabilidad de laderas (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021)

Terzagui (1950) junto con Selby (1943), como se citaron en Alcántara Ayala (1999), definen dos tipos de factores que originan los movimientos de ladera: de origen interno o condicionantes y externos o desencadenantes, que engloban las propiedades físicas del suelo y aquellos fenómenos naturales ajenos al medio, respectivamente.

Las causas internas o condicionantes se refieren a las propiedades intrínsecas del suelo que son responsables de proporcionar estabilidad o, en otras palabras, condicionan el equilibrio según la constitución y naturaleza del material predominante presente. Lo anterior involucra las diferentes tipologías del suelo (propiedades mecánicas), cercanías de fallas geológicas y la topografía del terreno.

Las causas externas o desencadenantes son aquellos fenómenos ajenos a la ladera que alteran desfavorablemente cada una de las propiedades del terreno (condicionantes) y causan inestabilidad. Estos factores están ligados principalmente a fenómenos naturales, como huracanes con lluvias intensas, sismos de grandes magnitudes o intemperismo. Por otro lado, las actividades antropogénicas también son consideradas como agentes externos

que generan alteración en el equilibrio de la ladera y esto se ve reflejado en actividades como la deforestación, la construcción de infraestructura sobre la ladera, vibraciones por maquinaria pesada, excavaciones artificiales y alteración del flujo de un río (Alcántara Ayala, 1999).

La mayoría de las veces, la influencia de los agentes externos es combinada: una tormenta con altas precipitaciones puede ocasionar una falla en la ladera, acompañada de un previo deterioro del suelo; sismos de gran magnitud que alteran el acomodo interno de las partículas junto con la deforestación y actividades antropogénicas a las cuales el suelo jamás había estado sometido suele ser otro detonante combinado. Tanto los agentes desencadenantes como sus combinaciones son variados a través del tiempo y el espacio, dejando en manos de especialistas investigar la influencia de cada uno de ellos de forma particular y, también, su probabilidad de ocurrencia en el medio (Highland y Bobrowsky, 2008). La incertidumbre en la identificación de un principal factor desencadenante debe ser manejada con precaución para posteriores estudios estadísticos (Llorens y Masquef, 2009); cada caso debe ser cuidadosamente seleccionado para ser agrupado en la correcta población de causas, sin dejar de ignorar aquellos factores secundarios (Ayala-Carcedo y Corominas, 2003).

A pesar de lo anterior mencionado, los datos históricos determinan que la presencia de lluvias sea de forma intensa, extrema o en periodos prolongados con una intensidad baja-intermedia, es considerada como el principal causante externo de movimiento que impacta en las propiedades resistentes del medio físico, reduciendo significativamente su valor por la posible saturación debido al aumento del NAF. Lo anterior también sugiere que las propiedades hidráulicas del suelo poseen un rol de resistencia importante; un suelo donde la infiltración no es favorable permitiría una saturación temprana de tal forma que la presión de poro positiva condicione el equilibrio entre partículas del suelo, genere tubificación y diluya el cementante que mantiene unidas algunas partículas de suelo, debilitando la estructura en conjunto (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Algunos de los registros pluviométricos contienen cifras que definen umbrales o magnitudes máximas de precipitación en las cuales han provocado movimiento de laderas con anterioridad en zonas susceptibles. Las autoridades deben ejecutar acciones de alerta y prevención cuando los valores de precipitación en zonas con antecedentes de movimiento puedan desatar otro fenómeno de esta naturaleza (Ayala-Carcedo y Corominas, 2003).

1.3 PROBLEMA FÍSICO: DESLIZAMIENTO DE LADERA

El análisis del movimiento de laderas se basa principalmente en el pronóstico, detección y prevención de las fallas (Oliva González, 2015) a partir de la extracción de información en campo, tal como observaciones detalladas sobre la morfología, estudios estratigráficos, geológicos y geotécnicos y su posterior tratamiento estadístico (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021). El propósito es obtener los parámetros numéricos del estado físico del medio (geometría, resistencia, humedad, permeabilidad, cohesión y resistencia al esfuerzo cortante) para poder predecir la falla ante situaciones que lo hacen inminente a lo largo del tiempo en condiciones variables de geología o clima (Mogologolo, 2015). Varios autores definen diferentes tipos de análisis para obtener conclusiones de lo anterior.

Uno de ellos son los análisis cualitativos o heurísticos, que consisten en el análisis de inventarios de deslizamientos previos en algunas zonas, haciendo necesaria la colaboración de expertos que, con base a registros, visualización en campo y a su experiencia, infieren en las posibles causas de los movimientos e incluso su predicción (García-Aristizábal et al., 2019). Lo anterior implica una asignación numérica de influencia relativa al movimiento únicamente hacia los factores condicionantes del suelo (Domínguez Morales et al., 2020), que se relacionan entre sí a través de una suma ponderada de cada uno, obteniendo al final valores que indican el grado de peligrosidad de presenciar un deslizamiento gracias a rangos establecidos que constituyen las cifras límites de riesgo de movimiento (García-Aristizábal et al., 2019). Los resultados suelen ser representados a través de mapas propios de los sistemas de información geográfica (SIG) (Alfaro Alejo et al., 2022) y poseen la ventaja de tener un estudio de alcance de grandes áreas, ya sea de forma regional, municipal e incluso

nacional (Domínguez Morales et al., 2020). En estos estudios, no se considera el impacto generado por los agentes desencadenantes.

Por otro lado, los análisis cuantitativos se subdividen en dos categorías: los de análisis estadístico y modelos determinísticos. Los análisis estadísticos implican la utilización de metodologías y técnicas propias de esta rama de las matemáticas para analizar la correlación entre la frecuencia de un movimiento de tierras y la ocurrencia de los factores desencadenantes (Alfaro Alejo et al., 2022).

Los modelos deterministas se basan en principios fisicomatemáticos basados en la mecánica de suelos que toman en cuenta la evaluación de las fuerzas resistentes y actuantes en la ladera (Fellenius, 1922, como se citó en Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021), teniendo como referencia los valores numéricos de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su variación (topografía, hidrología, geotecnia) (García-Aristizábal et al., 2019), relacionándolos entre sí con modelos matemáticos ya establecidos. Su uso se debe a la afinidad de aproximación mediante datos reales y actuales, siendo así los más requeridos en diferentes investigaciones. Se definen más especificaciones sobre este tipo de modelado a continuación.

Un criterio conocido que se centra en averiguar las reacciones resistentes del suelo es la relación de Mohr-Coulomb, que establece una relación entre el esfuerzo cortante resistente y los esfuerzos normales generados por fuerzas externas aplicadas a un cuerpo (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo II) a través de la siguiente ecuación simplificada:

$$\tau = c + \sigma \tan\Phi \quad \dots (1)$$

Donde:

τ = Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

c = Cohesión del suelo.

σ = Esfuerzo normal generado en la potencial superficie de falla.

Φ = Ángulo de fricción entre partículas.

La ecuación de recta en (1) también es conocida como la envolvente de falla y ha sido de gran importancia en los estudios de estabilidad. Es clave para mostrar los puntos o combinaciones de los esfuerzos normales y tangenciales que inducen falla en el suelo (figura 3).

Este criterio es base para el enfoque más empleado en el análisis determinista de movimiento de laderas que corresponde al análisis límite; dicho enfoque se centra en determinar y comparar las fuerzas involucradas en el movimiento imaginando una superficie de ruptura interna en la ladera y ésta aparece cuando las fuerzas máximas resistentes del material se ven superadas por las fuerzas actuantes (Sanhueza Plaza y Rodríguez Cifuentes, 2013).

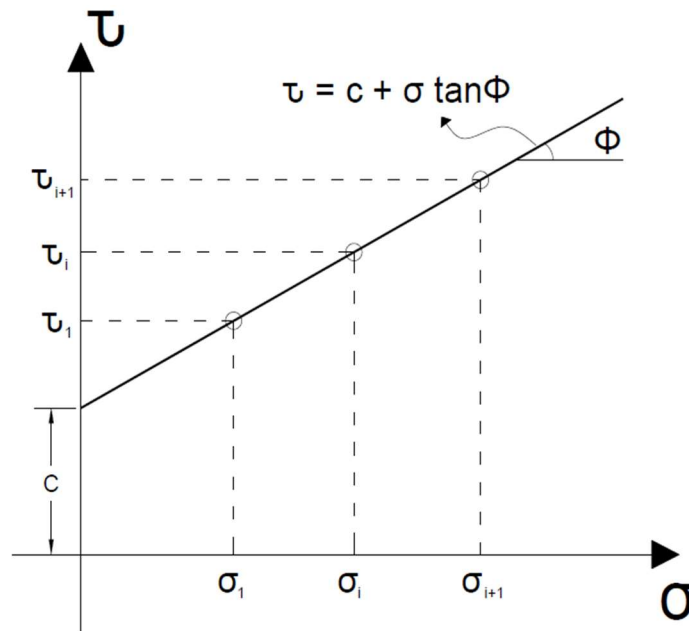


Figura 3. Gráfica de Relación Mohr - Coulomb

Autores como Colín (1845), como se citó en Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo II), propusieron por primera vez el concepto de superficie de falla que, a través del análisis de movimientos suscitados en varios lugares de Europa, se asemejan a formas circulares o planas (Figura 4).

La conceptualización de dicha superficie de falla es sencilla y Oliva González (2015) la define a través de los siguientes supuestos:

- En todos los puntos de la falla recae el peso total de la ladera.
- El esfuerzo cortante resistente generado entre las partículas de suelo es máximo.
- La forma de falla tiende a estar asociada a un círculo con centro en un punto externo a la ladera o a un plano paralelo a un estrato del suelo.
- La superficie de falla suele considerarse como un interfaz entre el volumen en movimiento y la parte en reposo.

También se da por verdadera la hipótesis de que existen fracturas en diferentes puntos internos de la ladera que precisamente son los que dan forma inicial a la curva de falla (Sanhueza Plaza y Rodríguez Cifuentes, 2013).

Las propuestas en la forma de la falla o ruptura (plana o circular) dan una simplicidad de cálculo, aunque en realidad, el suponer estas geometrías no aplica para todos los diferentes tipos de movimiento de ladera existentes (Oliva González, 2015) y es poco común que se cumplan este tipo de formas en una falla real, pero su uso no se aleja mucho de los resultados verdaderos.

El tipo geométrico de falla plana corresponde a los análisis de cuerpo rígido, es decir, aquellos movimientos que involucran el movimiento de masas rocosas que muestran una relativa deformación mínima ante el movimiento (cuerpo rígido) y la superficie de falla suele ser paralela a un estrato sensible, de ahí que su superficie se suponga plana. Este tipo de movimientos también son conocidos como deslizamientos traslacionales (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo II).

Para el tipo correspondiente a superficies de falla circulares son propios de los deslizamientos tipo rotacional y es el más utilizado para el análisis de movimiento en laderas. La figura 4 muestra las principales partes de un talud cuando es estable y distintas superficies potenciales de falla de forma circular en la parte interior. Se muestra que los diferentes tipos de superficie de falla varían en profundidad y, en consecuencia, del volumen potencial de desprendimiento.

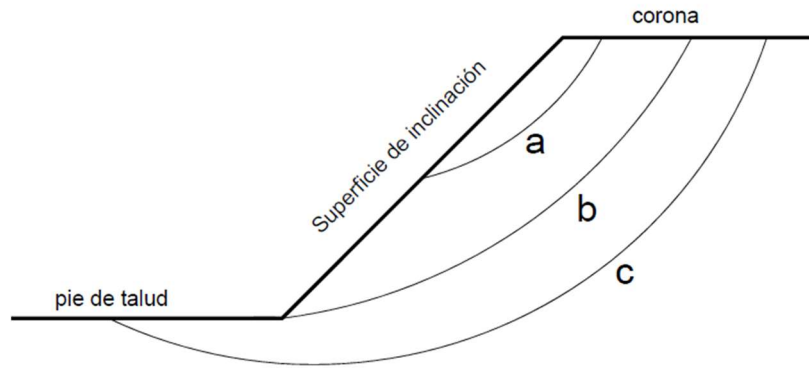


Figura 4. *Distinción de las diferentes superficies de falla rotacionales.* Adaptado de Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo II).

La curva 'a' es llamada falla superficial y se caracteriza por tener una superficie de falla cercana a la corona y a la superficie de inclinación. Su origen se debe a que en esta zona se encuentra un estrato de suelo más débil, además de que es la porción de suelo mayor expuesta a agentes externos. La curva en 'b' se conoce como falla por el pie de talud y posee la etiqueta de cruzar en la intersección de la línea de pie del talud y la superficie de inclinación. Su causa es similar a la anterior, donde se deduce que el estrato base inferior de apoyo es de mayor resistencia, por lo que la falla no logra penetrar en él. Finalmente, la llamada falla de base es como se muestra la curva 'c'; en este caso, la curva de falla logra clavar hasta el estrato de apoyo del talud, lo que conlleva a un mayor despliegue de volumen de tierra (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo II).

La figura 5 muestra con detalle las principales fuerzas que actúan en una falla de este tipo, considerando el caso de falla de base como la más general. Aquí se destaca el efecto generado por el peso W de la ladera, actuando principalmente como fuerza desestabilizadora o actuante que tiende a girar toda la masa, mientras que las fuerzas tangenciales a la superficie de falla S_i son las fuerzas que se manifiestan en dirección contraria al giro y corresponden a las fuerzas resistentes. Los momentos generados por ambos tipos de fuerza con respecto al centro de la circunferencia O de la superficie son opuestos (signos opuestos).

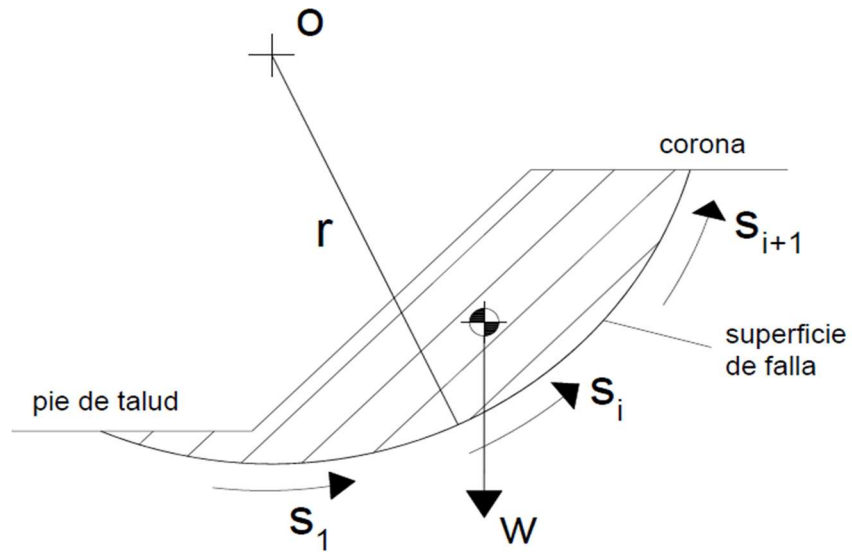


Figura 5. Principales solicitaciones en el deslizamiento rotacional.

En los métodos determinísticos, dentro del enfoque de análisis límite, se define la forma más común de estimar la susceptibilidad de una ladera que pueda presentar deslizamientos y es a través de un valor numérico denominado factor de seguridad (Sanhueza Plaza y Rodríguez Cifuentes, 2013). Este factor resulta ser una forma sencilla de obtener un número que indica que tan desfavorables son las condiciones de la ladera para que se presente desprendimiento y se define como un cociente entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes que se manifiestan en la curva de falla (Fellenius, 1922, como se citó en Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021). Se representa mediante la siguiente relación:

$$F.S. = \frac{F_R}{F_A} \quad \dots (2)$$

Donde

- F.S. = Factor de Seguridad
- F_R = Fuerzas Resistentes
- F_A = Fuerzas Actuantes

Para el caso de estudio de laderas con falla rotacional para el ejemplo de la figura 5, la ecuación (2) se transforma en (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo II):

$$FS = \frac{M_R}{M_A} \quad \dots (3)$$

Donde:

- FS = Factor de Seguridad
- M_R = Momento resistente
- M_A = Momento Actuante

Terzaghi (1950), como se citó en Domínguez Morales y De León Escobedo (2021), concluye que las fuerzas resistentes F_R son intrínsecas al material del cual está compuesta la ladera o talud (propiedades condicionantes del suelo) y se supone que actúan de forma homogénea a lo largo de la superficie de falla. Para conocer su valor numérico es necesario obtener muestras de suelo inalteradas a suficiente profundidad con las correspondientes metodologías de extracción, con la intención de obtener cifras lo más cercanas a la realidad, gracias a las prácticas en laboratorio. Las fuerzas actuantes F_A son las solicitaciones a la que está sometida la ladera que, en otras palabras, corresponden a su peso limitada por la parte superficial y la superficie de falla interna, además de peso extra por infraestructura existente en el exterior. La estimación numérica de este parámetro se realiza una vez obteniendo el peso volumétrico del suelo, en seguida se multiplica por el volumen de arrastre estimado según la superficie de falla generada (adicionando el valor del peso de la infraestructura cercana) (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Los agentes desencadenantes suelen considerarse como factores que influyen tanto en las fuerzas actuantes como en las fuerzas resistentes, a través de un aumento del peso del suelo y, a su vez, disminuyen la resistencia entre las partículas sólidas, convirtiendo el factor F.S. dependiente del agente desencadenante en cuestión.

Con base a las ecuaciones (2) y (3) se debe asegurar que el valor de F.S. siempre sea mayor a 1, es decir, las fuerzas resistentes F_R siempre deben ser mayores que las actuantes F_A . Lo anterior se logra aumentando el valor del numerador o bien, disminuyendo el valor del

denominador. Varios reglamentos de construcción de taludes y otros autores sugieren un valor conservador de F.S. = 1.5 o mayor como aquel que asegura la estabilidad de la ladera en condiciones estáticas (Barboza Mejía, 2024), dejando los valores menores a este último como aquellos que merecen una mayor vigilancia en cuanto su comportamiento con el paso del tiempo. En trabajos de análisis de estabilidad de laderas hechas por Ray y De Smedt (2009), sugieren diferentes clases de estabilidad para distintos rangos de valores de F.S. (Tabla 2). Por ejemplo, valores menores a uno advierten el desastre inminente, mientras que cifras entre 1 y 1.25 consideran una pobre estabilidad en la ladera que merece ser monitoreada y, en la mayoría de las veces, tratada con obras de estabilización para aumentar su valor. Entre 1.25 y 1,5 se considera una estabilidad moderada donde se minimiza el monitoreo de su comportamiento (sin quedar exenta de ello) y para valores iguales o mayores a 1.5, se considera una ladera estable. En la tabla 2 se muestra un resumen de dichos valores, destacando el comportamiento de la ladera acorde al valor de F.S. obtenido.

Tabla 2. Tipologías de estado de una ladera. Adaptado de Ray y De Smedt (2009).

<i>Factor de Seguridad</i>	<i>Estado de seguridad de la ladera</i>	<i>Actividades por ejecutar, según el estado de seguridad de la ladera.</i>
$F.S. \geq 1.50$	Estable	Ladera exenta de presentar falla.
$1.25 \leq F.S. \leq 1.50$	Moderadamente Estable	Vigilancia moderada. Se evalúa la necesidad de implementar medidas estabilizadoras.
$1 < F.S. < 1.25$	Ligeramente Estable	Monitoreo extremo y necesaria implementación de medidas estabilizadoras.
$F.S. \leq 1$	Inestable	Desastre inminente. Se considera urgente emplear medidas estabilizadoras o, en su caso, emplear otras medidas de reducción de riesgos.

Existen medidas técnicas que permiten aumentar el valor de F_R mediante la modificación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la ladera; uno de ellos es disminuir la pendiente de la ladera con el fin de atenuar la geometría y evitar su movimiento; otro ejemplo sería implementar obras de sujeción. Lo anterior obliga la realización de un estudio costo-beneficio en la elección de la mejor técnica ingenieril de estabilización sobre el terreno, según sus condiciones y considerando también aquellos factores desencadenantes a los que estaría sometida la ladera a lo largo del tiempo (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Algunas de las medidas que están focalizadas en la disminución de las F_A son través de la disminución del peso actuante de la ladera, realizando cortes o retirando, en la medida de lo posible, otros pesos que puedan influir en la desestabilización. En la mayoría de los casos, estas medidas se relacionan mayormente a los factores de origen humano, llevando a cabo actividades de concientización por parte de las autoridades competentes hacia la población para la realización de actividades enfocadas en la buena administración de terreno y una correcta planificación para futuros asentamientos. Un estudio adecuado permitiría ejecutar medidas de mitigación y, en dado caso, tener planes de evacuación en la población en caso de una ocurrencia de un movimiento de ladera. También se puede dar asesoramiento sobre el uso del suelo y control de deforestación a través de la plantación de árboles, así como la prevención y mitigación de incendios forestales. Es importante también la colaboración y asistencia de diferentes asociaciones ambientales, para fortalecer las medidas sobre el uso óptimo de los recursos del suelo (Domínguez Morales y De León Escobedo, 2021).

Suele ser común que existan suelos no homogéneos tanto en su composición como en la presencia de humedad en diferentes profundidades, por lo que nace la necesidad de tomar en cuenta un análisis diferencial del medio. Dentro del análisis límite, la metodología por dovelas considera las variaciones de las propiedades y composición del suelo que influyen en la falla y ésta consiste en dividir a la ladera en un número de n dovelas o franjas verticales de un ancho definido, con el propósito de analizar propiedades, las fuerzas y reacciones en cada una.

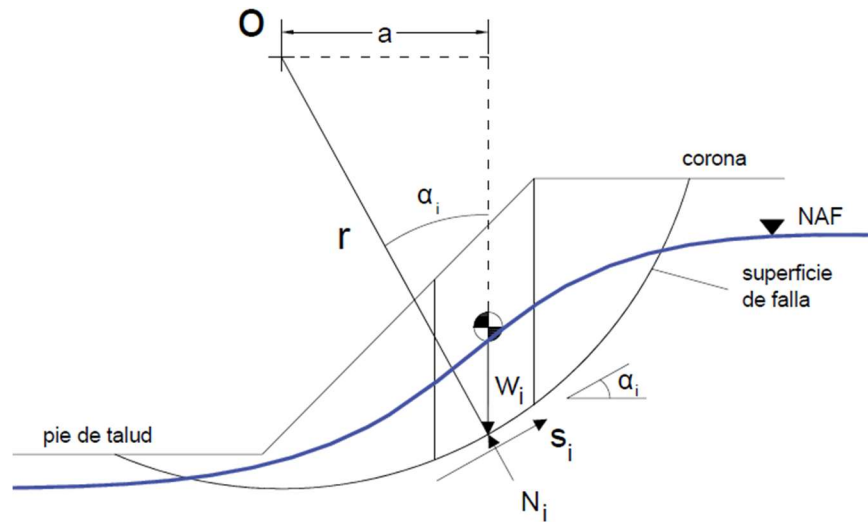


Figura 6. Solicitaciones en la superficie de falla en el análisis por dovelas.

La figura 6 muestra la variación de las fuerzas resistentes S_i de cada dovela a lo largo de la línea de falla, considerando las proporciones de los diferentes estados del suelo, que va desde su tipología y el porcentaje de agua, ya sea en un estado saturado, parcialmente saturado o estado seco.

Tomando en cuenta la circunferencia de radio r y centro O ubicado fuera de la ladera, se supone que cada dovela tiene un peso W_i distinto, y el momento generado por cada una estaría condicionada por la distancia perpendicular (a) entre la línea de acción del peso W_i y el centro de circunferencia O , dejando claro que la suma total de los momentos generados por el peso de cada dovela i es igual a:

$$M_A = \sum_i^n W_i a_i \quad \dots (4)$$

Siendo M_A el momento actuante.

Pero $a_i = r \sin \alpha_i$, por lo que la ecuación queda:

$$M_A = \sum_i^n W_i r \sin \alpha_i \quad \dots (5)$$

Para los momentos resistentes M_R , se toma la suma de todos los momentos generados por las fuerzas resistentes S_i a lo largo de la falla respecto al punto O a una distancia perpendicular r , considerando que el momento generado por las fuerzas normales N_i suele ser nula debido a que su línea de acción coincide con el radio:

$$M_R = \sum_i^n r S_i \quad \dots (6)$$

Considerando que cada fuerza cortante S_i actúa paralela a un área rectangular en la línea de falla, de largo ΔL y de ancho unitario, de tal forma que actúe un esfuerzo cortante τ_i como se muestra a continuación:

$$\tau_i = S_i / \Delta L_i \quad \dots (7)$$

al sustituir S_i de (7) en la ecuación (6), quedaría:

$$M_R = \sum_i^n r \tau_i \Delta L_i \quad \dots (8)$$

Donde $S_i = \tau_i \Delta L_i$

Se sustituyen las ecuaciones (5) y (8) en la definición del factor de seguridad F.S. según la ecuación (3):

$$F.S. = \frac{\sum r \tau_i \Delta L_i}{\sum r W_i \sin \alpha_i} \quad \dots (9)$$

Considerando al radio r como factor común y partiendo de la definición de la relación Mohr-Coulomb de la ecuación (1) que, sustituyéndola en (9), se obtiene la ecuación general de equilibrio de análisis por dovelas:

$$F.S. = \frac{\sum (C_i + \sigma_i \tan \phi) \Delta L_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad \dots (10)$$

La ecuación (10) suele caracterizarse por ser partidaria de los estudios de análisis límite por dovelas y ha sido base para posteriores metodologías (figura 7) que toman en cuenta cada uno de los principios planteados anteriormente y otras consideraciones para resultados

más confiables, entre ellos está la estimación de otras fuerzas dentro de una dovela y la aplicación simultánea de las ecuaciones de equilibrio de la estática. La tabla 3 (Pérez Fajardo, 2018) muestra diferentes metodologías (según los respectivos autores) con un resumen sobre las solicitaciones que cada una contempla.

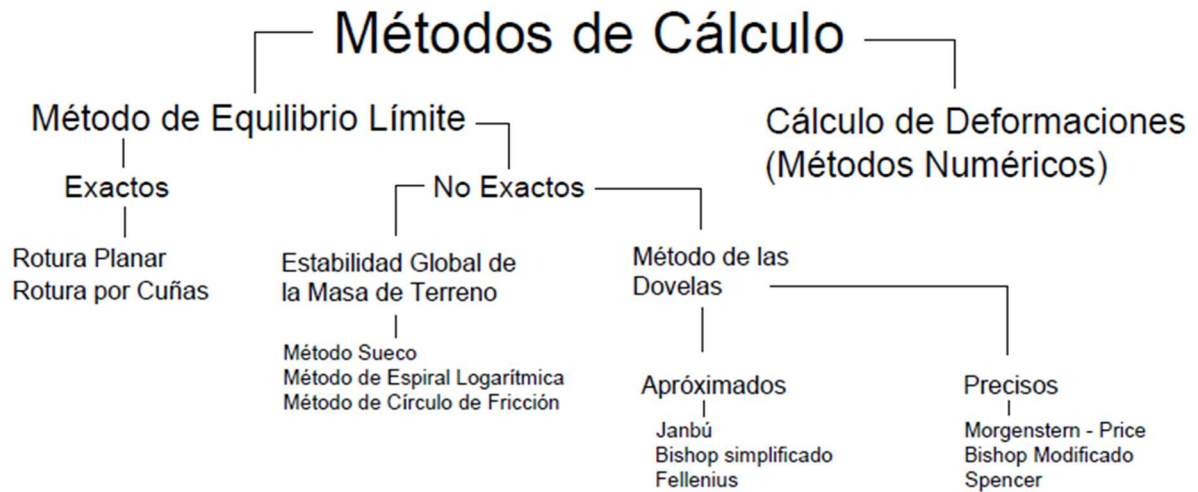


Figura 7. *Métodos de Cálculo en el Análisis del Movimiento de Laderas.* Tomado de Oliva González (2015).

Tabla 3. *Condiciones de equilibrio de diferentes metodologías de análisis límite.* Tomado de Pérez Fajardo (2018).

Método	Equilibrio de Fuerzas		Equilibrio de Momentos
	Dirección Vertical	Dirección Horizontal	
Fellenius (ordinario)	✓	X	✓
Bishop Simplificado	✓	X	✓
Janbú Simplificado	✓	✓	X
Spencer	✓	✓	✓
Morgenstern-Price	✓	✓	✓
Corps of Engineers	✓	✓	X
Lowe-Karadfiath	✓	✓	X
Janbú Generalizado	✓	✓	X
Sarma	✓	✓	✓

1.4 SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS

La problemática con los suelos parcialmente saturados comenzó cuando se intentaba estudiar la naturaleza expansiva de algunas arcillas, las cuales su cambio de volumen estaba en función del porcentaje de humedad, por lo que se planteaba la propiedad de deformaciones volumétricas en función del contenido de agua; algo que la teoría tradicional no podría explicar ni modelar (Meza Ochoa, 2012). Fue a partir de los inicios de los años 70 cuando se plantearon nuevos conceptos y teorías focalizadas de esta condición de suelo (como las relaciones de flujo – deformación), para posteriormente obtener las modelaciones matemáticas que intentaran predecir su comportamiento, sin embargo, este progreso trajo consigo nuevas problemáticas. Debido a la alta variabilidad de las propiedades físicas del suelo que dependían del contenido de humedad, se da por hecho que este obstáculo debía ser tratado como un problema con flujo no estacionario, destacando la variabilidad no lineal de las propiedades físicas en periodos cortos de tiempo debido a la dependencia de la humedad por el agua infiltrada, y ésta a su vez con la permeabilidad del suelo, aumentando así la dificultad de análisis y modelamiento. Lo anterior exigió un análisis más detallado en la medición de los parámetros físicos, demandando una tecnología más sofisticada para la obtención de resultados y un replanteo de la teoría convencional (Alonso y Lloret, 1985).

La teoría de la mecánica de suelos clásica propuesta por Terzaghi (1925), como se citó en Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo I), se basa en el estudio de dos fases elementales; una saturación total de agua en el suelo y su contraparte definida en un estado totalmente seco. Cada una se compone por la parte sólida (gravas y arenas) y los espacios porosos llenos de agua o aire respectivamente.

Según la teoría de suelos parcialmente saturados, el interior del terreno está compuesto por los 3 estados fundamentales de la materia que se presentan simultáneamente a través de las 3 fases: aire, agua y granos sólidos. Tanto el agua como el aire influyen en los estados de esfuerzo (Fredlund et al., 2012, como se citó en Jiménez Almeida, 2019).

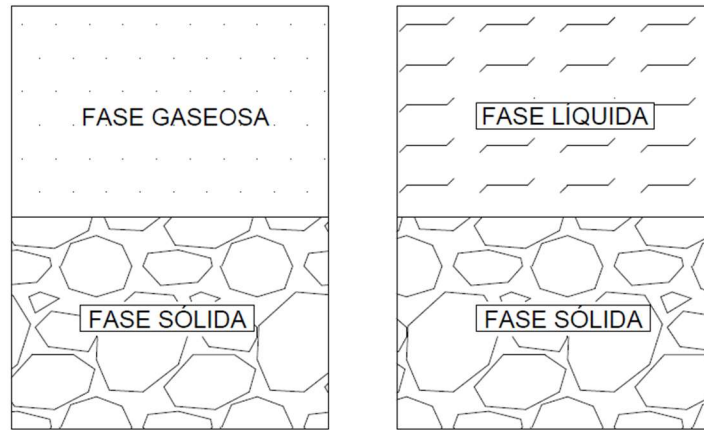


Figura 8. Fases del suelo según la teoría de suelos tradicional.

En la interacción entre partículas del sólido y el líquido dentro del suelo parcialmente saturado se definen las fuerzas de adhesión y cohesión; la primera corresponde a las fuerzas de unión entre partículas de los sólidos y el agua; la segunda hace referencia a las fuerzas de unión internas entre partículas del mismo líquido. Cuando las fuerzas de adhesión son mayores que las de cohesión, existe el fenómeno de tensión superficial debido a una expansión en el área de la membrana contráctil, creando un menisco en el perímetro de contacto entre el agua y sólidos. Por los principios de hidrostática, por los ensayos similares a lo anterior descrito en tubos capilares y gracias a la interacción entre las fuerzas mencionadas, el sistema por sí solo encontrará el equilibrio cuando el nivel del agua se eleva a una altura h (Jímenez Almeida, 2019).

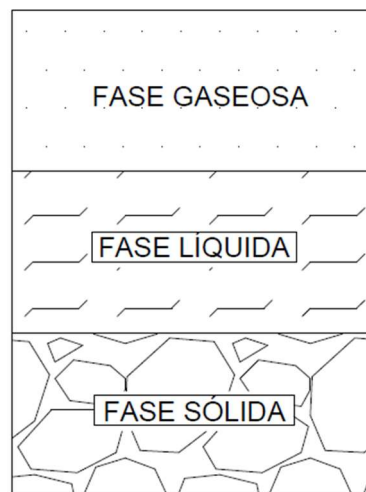


Figura 9. Fases del suelo según la teoría de suelos parcialmente saturados.

Dada la imposibilidad de alcanzar un equilibrio de presiones dentro de un poro (debido a la imposibilidad de aumento de altura de agua), da lugar la existencia de diferencias entre las presiones de aire (atmosférica) y el agua. Lo anterior define en magnitud una propiedad conocida como succión mátrica o succión matricial Ψ_m (Meza Ochoa, 2012).

$$\Psi_m = U_a - U_w \quad \dots (11)$$

- Ψ_m = Succión matricial (kPa)
- U_a = Presión de aire (kPa)
- U_w = Presión de agua (kPa)

La succión matricial se define como aquella fuerza que poseen las partículas sólidas del suelo de atraer y retener agua; depende en gran medida del grado de saturación de los poros (la cantidad de aire y agua presente) y de la interacción de las fuerzas capilares (cohesión y adhesión). Se mide comúnmente en términos de energía y volumen (kJ/m^3) y es de gran relevancia debido a su influencia en el estado de esfuerzo y en otras propiedades del suelo parcialmente saturado (Alonso y Lloret, 1985).

Otro tipo de succión es la llamada osmótica π , y se rige bajo la misma definición de capacidad de retención de agua, con la diferencia de que depende de las propiedades químicas del suelo y es independiente de los fenómenos asociados a las fuerzas de capilaridad. La succión matricial suele ser de mayor relevancia en el suelo al influir en mayor medida a su estabilidad, mientras que la succión osmótica, al tener una naturaleza química, su influencia en la resistencia resulta irrelevante y su estudio recae en intereses agroquímicos (Meza Ochoa, 2012).

Ambos tipos de succión generan una succión total, definida como:

$$\Psi_T = \Psi_m + \pi \quad \dots (12)$$

- Ψ_T = Succión Total
- Ψ_m = Succión mátrica
- π = Succión Osmótica

La succión matricial es considerada una fuerza adicional de enlace donde las fuerzas de tensión en el agua son las que mantienen la unión entre partículas sólidas; tanto las fuerzas de adhesión como de cohesión entre el agua y las paredes de los granos sólidos del suelo son fuerzas que precisamente actúan como enlace y, por ende, provocan un aumento sensible de resistencia en el suelo (Alonso y Lloret, 1985).

La presencia del aire en un poro es la razón de aparición de la succión matricial; cuando existe una saturación total de agua dentro de los poros, la presencia de aire es nula, por lo que la succión desaparece y se manifiesta el efecto de la presión de poros positiva, la cual es la presión del agua que acciona hacia fuera y debilita el esfuerzo efectivo entre sólidos, dejando así el caso de saturación total como el caso crítico para presentar falla. En el caso de un estado totalmente seco no existe esa fuerza de enlace, pero hay un máximo de esfuerzo efectivo (Alonso y Lloret, 1985).

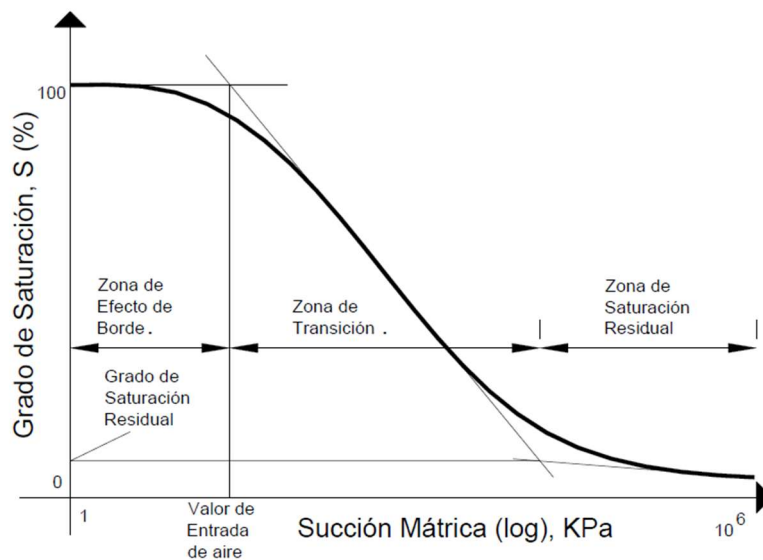


Figura 10. Gráfica logarítmica de la relación de Succión Matricial – Grado de Saturación.

Tomado de Meza Ochoa (2012)

Las curvas SWCC (Soil Water Characteristic Curve) describen una relación entre la succión y el volumen de agua almacenado en el medio. Debido a la alta dependencia de la succión con el contenido de agua, las curvas SWCC asocian este parámetro con distintas formas de descripción de volumen de agua contenido en el suelo por medio de distintas relaciones,

tal como succión – contenido de agua volumétrica o succión – grado de saturación del suelo. Las gráficas en las figuras 10 y 11 son ejemplos de curvas SWCC y presentan formas comunes para algunos tipos de suelo. La dificultad para su obtención es debida a la medición de la succión en campo, quedando la limitación de su medición en laboratorio con instrumentación sofisticada (Meza Ochoa, 2012).

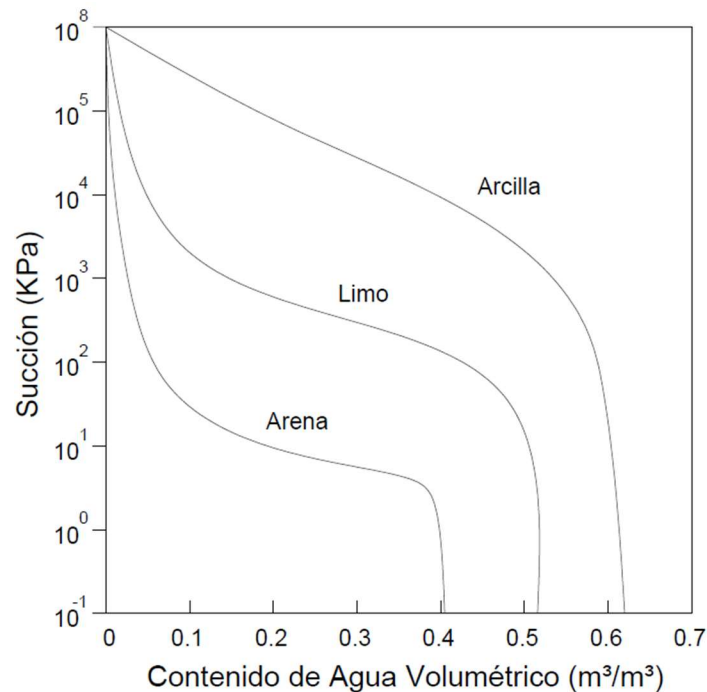


Figura 11. Gráfica logarítmica de la relación de Succión Matricial – Contenido de Agua. Adaptado de Lu Ning & Likos W. J., 2004, como se citó Meza Ochoa (2012).

La metodología de Van Genuchten permite obtener la curva de succión – contenido volumétrico de agua de forma aproximada al establecer los valores de cada variable correspondiente a un tipo de suelo en específico (Meza Ochoa, 2012) según la siguiente ecuación:

$$\theta(h) = \theta_T + \frac{\theta_S - \theta_T}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad \dots (13)$$

- $\theta(h)$: Contenido de agua volumétrico a una succión h .
- θ_S : contenido de agua a saturación.

- θ_T : contenido de agua residual.
- h : succión del suelo (kPa).
- α : parámetro relacionado con la inversión de succión, $1/\alpha = h$ cuando $\theta = (\theta_S + \theta_T)/2$.
- n : parámetro relacionado con la pendiente de la curva.
- m : parámetro de forma ($m = 1 - 1/n$)

También es posible obtener la gráfica aproximada del grado de saturación en función de la succión por el método de Van Genuchten (Meza Ochoa, 2012), sustituyendo en la siguiente identidad la ecuación 13:

$$S_T = \frac{(\theta - \theta_T)}{(\theta_S - \theta_T)} \quad \dots (14)$$

Dando como resultado:

$$S_T(h) = \frac{1}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad \dots (15)$$

Donde $S_T(h)$ es el grado de saturación en función de la succión (h).

1.5 EFECTO DE LA LLUVIA

El efecto negativo de las lluvias en el suelo está íntimamente ligado en la manera en cómo se manifiesta y cómo repercute en las propiedades hidráulicas del suelo. Siendo el agua de lluvia considerada como el detonante con mayor impacto en el movimiento de laderas, su influencia se caracteriza por crear un movimiento de corto periodo de tiempo, que va desde los segundos y minutos, aunque en la naturaleza existen los movimientos con velocidades más bajas.

Varios autores, como se citaron en Aristizábal et al. (2010), explican 2 maneras fundamentales en la que se manifiesta la lluvia: la primera de ellas es a través de lluvias intensas, es decir, altas cantidades de precipitación en un tiempo de duración corto; la otra forma es a través de lluvias de intensidad media - baja con duraciones largas. La intensidad de lluvia y su duración suelen ser condicionantes elementales para el análisis de

movimiento de laderas críticas, sin embargo, las propiedades físicas y mecánicas del suelo, además de la morfología de la zona, influyen en la forma en cómo el agua navega internamente y se distribuye por los vacíos del suelo y depende de las propiedades hidráulicas de éste; en un caso, se permite su traspaso en grandes cantidades con poco escurrimiento superficial o en el caso contrario, cuando existe baja cantidad de agua infiltrada y mayores cantidades en escurrimiento cuesta abajo en la superficie (Bizimana y Sönmez, 2015).

Aristizábal et al. (2010) definen el carácter de fallas en laderas ligado a la conductividad hidráulica del suelo; el estado de esfuerzos en cualquier punto queda asociado principalmente por la porosidad, y éste a su vez queda en función de la conductividad hidráulica, misma que hace variar las magnitudes de fuerzas resistentes dentro de la ladera, haciendo más difícil la localización de una potencial superficie de falla.

Varios autores definen la conductividad hidráulica K como la capacidad del suelo de permitir el paso del agua a través de él y se mide en unidades de velocidad (m/s). Según la Ley de Darcy (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, Tomo I), es dependiente de la saturación en el suelo y no se considera como una propiedad homogénea en todo el medio, pues su variación depende del porcentaje de humedad presente (la conductividad hidráulica es máxima cuando el suelo está 100% saturado).

Para el caso de suelos totalmente saturados, Darcy (1856), como se citó en Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo I), estudió la infiltración de agua a través de ensayos en suelos porosos, el cual concluye con una relación proporcional entre la velocidad del flujo v y el gradiente hidráulico i entre 2 puntos a través de la siguiente ecuación:

$$v = ki \quad \dots (16)$$

Definiendo la velocidad del flujo v con una constante de proporción k .

El gradiente hidráulico i es definido como la relación entre la diferencia de carga de altura total de dos puntos y la distancia horizontal L entre ellos que recorre el flujo de agua (Figura 12):

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L} \quad \dots (17)$$

Donde:

- v = velocidad de infiltración (m/s).
- i = gradiente hidráulico (adimensional).
- Δh = diferencia de alturas piezométricas entre dos puntos (m).
- L = longitud recorrida por el fluido (m).
- k = coeficiente de conductividad hidráulica (m/s).

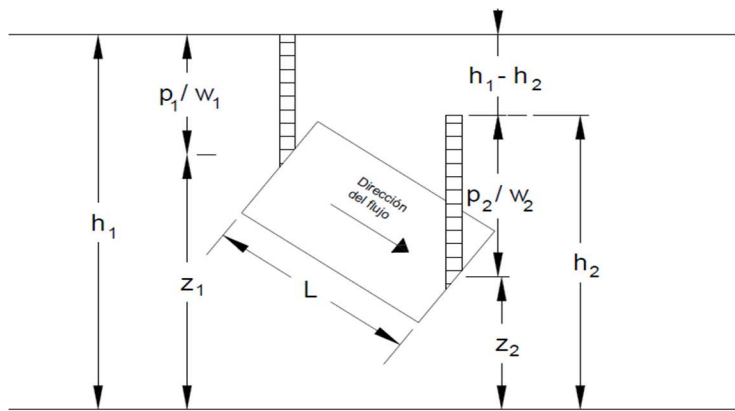


Figura 12. Dispositivo para flujo de agua experimental de Darcy. Adaptado de Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo I).

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973, Tomo I), definen el coeficiente k en (16) como la velocidad de infiltración del agua con un gradiente hidráulico unitario, es decir, una relación uno a uno entre la diferencia de alturas piezométricas Δh y la longitud L recorrida por el agua. Sustituyendo la velocidad v de la ecuación (16) en la fórmula de continuidad $q = Av$ queda:

$$q = Ak \left(\frac{\Delta h}{L} \right) \quad \dots (18)$$

Donde:

- q = gasto (m^3/s).
- A = área transversal de poro (m^2).

- k = coeficiente de conductividad hidráulica (m/s).
- Δh = diferencia de alturas piezométricas entre dos puntos (m).
- L = longitud recorrida por el fluido (m).

La ley de Darcy plantea que, para el caso de un suelo totalmente saturado, es donde se alcanza el máximo valor de la velocidad de infiltración del agua, permitiendo alcanzar a su vez el máximo gasto dentro del medio poroso. Lo anterior reafirma la idea de que el coeficiente k (o la conductividad hidráulica K) varía respecto a la cantidad de agua contenida en el suelo, por lo que su valor no es constante en un estado de saturación parcial.

La ecuación de flujo en medios no saturados o ecuación de Richards establece la idea general de la variación de humedad del suelo y la succión mátrica (Pérez Fajardo, 2018) respecto al tiempo en una dirección (dirección vertical), representada por una ecuación diferencial gobernada por relaciones no lineales entre las variables consideradas, como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial \theta(\Psi)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\Psi) \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad \dots (19)$$

Donde:

- $\theta(\Psi)$ = Humedad del suelo en función de la succión mátrica.
- Ψ = Succión mátrica.
- t = tiempo.
- $K(\Psi)$ = conductividad del suelo no saturado en función de la succión mátrica.
- z = Coordenada vertical.

Dentro de la igualdad, la ecuación de Richards en (19) establece la variación de la conductividad hidráulica y la humedad del suelo en función de la succión matricial y el tiempo.

Al asociar la conductividad hidráulica k de un suelo con las lluvias, varios autores, como se citaron en Aristizábal et al. (2010), explican la forma en cómo se infiltra el agua en el medio

y su influencia en dicha propiedad; en suelos con bajos valores de k junto con precipitaciones de intensidad media-baja y larga duración, la infiltración suele llevar un tiempo mayor debido a la dificultad de transporte y permitiendo el escurrimiento de mayor cantidad de agua en la superficie, por lo que los parámetros como porosidad o drenaje también suelen cambiar lentamente. En su contraparte, suelos con alta k y precipitaciones intensas (corta duración) tienden a saturar rápidamente el suelo y, por consecuencia, aumenta el nivel de aguas freáticas. Con lo anterior, los mismos autores deducen que las lluvias intensas pueden provocar la saturación casi inmediata del suelo superficial (de los 0.50m hasta los 2m de profundidad), ocasionando falla debido a la disminución del esfuerzo efectivo entre partículas sólidas por la presión de poro positiva.

Por otro lado, las lluvias de intensidad media - baja con largas duraciones inciden en el suelo de forma particular; cuando pasa el tiempo, la infiltración alcanza grandes profundidades, pero no garantiza la saturación total en todo el volumen, por lo que la potencial falla queda asociada por la disminución de succión, dejando claro que el estado totalmente saturado no siempre es la situación ideal para presenciar una ruptura. Generalmente la falla por disminución de succión suele darse en movimientos de ladera tipo deslizamiento rotacional que arrastra grandes cantidades de tierra (Aristizábal et al., 2010), aunque lo anteriormente expuesto no hace referencia a una ley establecida del efecto de los modos de lluvia; en menor medida, una lluvia intensa de corta duración puede ocasionar también la disminución de succión, siempre y cuando las condiciones de suelo permitan su infiltración en profundidades mayores.

Aristizábal et al. (2010) explica la influencia de lluvias previas respecto al movimiento de laderas en suelos con baja conductividad hidráulica: una vez finalizada la lluvia, el suelo tendrá poca capacidad de drenaje y, por ende, mantendría humedad por periodos de tiempo largos, dejando inciertas las condiciones húmedas (y, por ende, de succión) para futuras lluvias. Este fenómeno es conocido como efectos de histéresis en el suelo, dejando claro que no siempre el efecto inmediato de las lluvias intensas puede generar desequilibrio, ya que la influencia de la humedad generada por lluvias anteriores también suele ser relevante para la desestabilización en laderas.

Al considerar la capacidad de infiltración del agua como una propiedad elemental que condiciona la fortaleza general de la ladera, su influencia de alto impacto hacia todos los parámetros que ofrecen resistencia en conjunto hace viable etiquetar al flujo interno de agua con condiciones no estacionarias en todo momento, dejando inciertas las condiciones de estabilidad cuando se está expuesta a lluvias intensas.

(Hidalgo Montoya y Pacheco de Assis, 2011) resaltan la incertidumbre de las variables físicas medibles de los suelos influenciadas por agentes externos y su impacto en estudios de análisis de riesgos, definiendo cómo es que su mejor tratamiento de prevención es a través de métodos probabilísticos y estadísticos. La variabilidad radica en la distinta naturaleza de los datos; desde su extracción hasta su manipulación a través de modelos matemáticos empíricos que mantienen cierto margen de error. Algunas de las incertidumbres se deben, además, por la variabilidad de fenómenos externos y su aparición aleatoria a través del tiempo y el espacio, aunque las incertidumbres suelen disminuir debido a la existencia de modelos que pronostican su aparición y/o aproximación en la medición de sus efectos.

El sitio en donde se manifiestan los fenómenos meteorológicos, junto con la extracción de datos en los parámetros afectados, ha descansado en modelación matemática y procesamientos que han mejorado a lo largo del tiempo, sin embargo, su naturaleza impide conclusiones certeras que frustran la idea de definir patrones de comportamiento.

Varios autores definen a la probabilidad como el estudio formal de la incertidumbre y la relacionan con la confiabilidad, la cual se define como el periodo estipulado en el cual un sistema trabaja con éxito cuando es sometido a solicitudes en condiciones normales de operación en largos periodos de tiempo. Lo opuesto a la idea anterior se define como probabilidad de falla, y se centra en la detección de una anomalía que impide el trabajo exitoso del sistema en cuestión (Hidalgo Montoya y Pacheco de Assis, 2011).

El análisis de confiabilidad enfocado a estudios geotécnicos consiste en relacionar las magnitudes de las solicitudes a los que se somete un cuerpo de suelo con respecto a la resistencia que éste puede aportar, comúnmente mediante el uso de parámetros o factores de seguridad, como se mencionó en apartados anteriores. Generalmente, cuando un factor

de seguridad es menor a un valor establecido, se dice que el sistema ha fallado (Hidalgo Montoya y Pacheco de Assis, 2011).

En términos matemáticos, la confiabilidad se define como la probabilidad de funcionamiento correcto de un sistema en un tiempo determinado y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$C = 1 - P(X) \quad \dots (20)$$

- C = probabilidad de éxito o confiabilidad.
- $P(X)$ = probabilidad de falla.

Para la obtención de la confiabilidad, se opta por la aplicación de métodos que producen funciones o distribuciones de probabilidad de una variable dependiente con base al análisis de sus variables independientes que se generan aleatoriamente (Hidalgo Montoya y Pacheco de Assis, 2011).

El método de Monte Carlo es una técnica estadística que consiste en la generación de un gran número de escenarios o muestras aleatorias de las variables independientes a través de modelos matemáticos o relaciones de frecuencia. Al finalizar el empleo de la metodología de Monte Carlo, cada resultado es procesado a través de una ecuación que los relaciona con la variable dependiente, obteniendo al final diferentes resultados acordes al número de las muestras generadas (Pérez Fajardo, 2018).

El análisis de los resultados finales frecuentemente es tratado y organizado en histogramas divididos en categorías o intervalos que coleccionan las cantidades de los datos obtenidos que recaen en cada una de las categorías mencionadas (Figura 13). Lo anterior permite obtener una forma asociada a una función de densidad de probabilidad (FDP) que sirve como modelo predictivo del comportamiento de la variable dependiente en cuestión (Figura 14).

La mayoría de las FDP poseen una forma visual ya definida acorde a modelos establecidos y su elección dependerá de la naturaleza de los datos obtenidos (Canavos, 1988). Varios ensayos han demostrado que cuando mayor es el número de datos como resultados de un

experimento, los gráficos tenderán a una forma específica lo cual, en la mayoría de los casos, es un filtro suficiente para la selección de la función en sí; sin embargo, debe tenerse especial cuidado al hacer esta selección, con el fin de evitar una función que no sea acorde al comportamiento observado. Algunos parámetros de ajuste funcionan como verificación adicional para saber qué tan representativo es el modelo extraído.

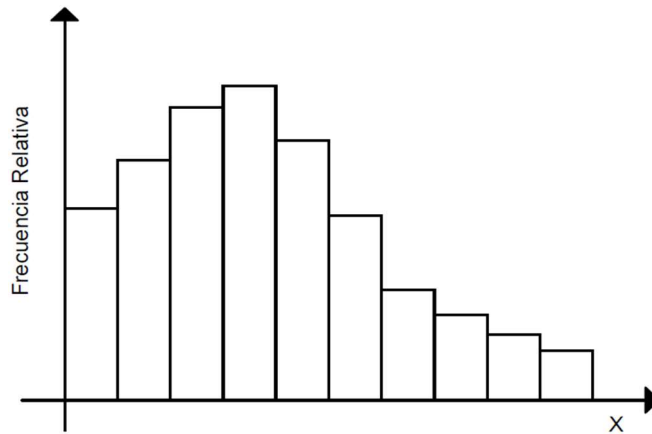


Figura 13. *Tabla de frecuencias relativas.* Adaptado de Canavos (1988).

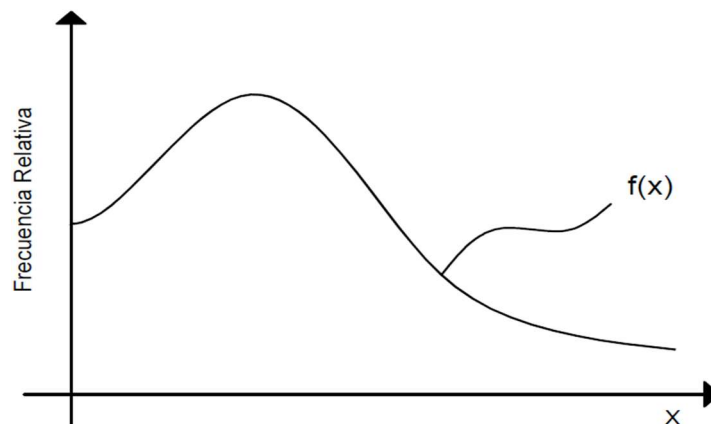


Figura 14. *Curva de FDP $f(x)$ a partir de un histograma.* Adaptado de Canavos (1988).

2.- METODOLOGÍA PROPUESTA

Conforme a lo presentado en el marco teórico, se había preestablecido el uso de un enfoque de análisis combinado (determinista, probabilístico y estadístico) para este trabajo. Se ha mencionado también la alta dependencia de las propiedades del suelo con el contenido de agua presente, priorizando el interés en el efecto generado por las lluvias intensas sobre laderas críticas pudiendo generalizar los resultados a otras laderas con características similares a la presentada en este estudio.

Si bien existe alto grado de complejidad, es necesario hacer una reducción de esto mediante el establecimiento de condiciones de borde que marquen pauta para el caso de estudio. Se deben establecer las condiciones iniciales de la ladera, tanto por el tipo de suelo, propiedades geotécnicas, hidráulicas y geométricas, además de la ubicación geográfica. Al tratarse la lluvia como el principal causante del movimiento de laderas, se debe estar sujeto a las características de ella, tal como sus magnitudes, ocurrencias, frecuencias (periodo de retorno) junto con el fenómeno meteorológico que las provoca, resaltando que hay mayor preferencia en estudiar el efecto de lluvias intensas.

Con auxilio del software GeoStudio Versión 2012, es posible realizar una evaluación del efecto de lluvias intensas en la ladera junto con su impacto en las propiedades estabilizadoras de mayor relevancia de un suelo, para tener como producto final un valor de F.S.

Lo anterior se divide en diferentes etapas, en donde la primera de ellas se definen las condiciones de borde de la ladera bajo estudio; se definen tanto la geometría de la ladera como sus propiedades físicas e hidráulicas iniciales con base a la elección de una ladera susceptible a presentar ruptura. Además, se crean los diferentes escenarios de lluvia empleando las simulaciones por Monte Carlo con base a un análisis previo de datos de lluvia históricos correspondientes a la estación pluviométrica elegida, recordando que entre la ladera y la estación no existe una concordancia geográfica. Como siguiente etapa, se obtienen los resultados de las simulaciones una vez aplicadas dentro del software y cómo es que repercuten en los valores de los F.S. Posterior a lo anterior, se aplican técnicas

estadísticas en los resultados con el objetivo de obtener una función de confiabilidad que mejor describe la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento. Finalmente se discuten los resultados obtenidos y se extraen conclusiones con base a lo establecido en el marco teórico. La figura 15 muestra el resumen de lo anterior descrito.

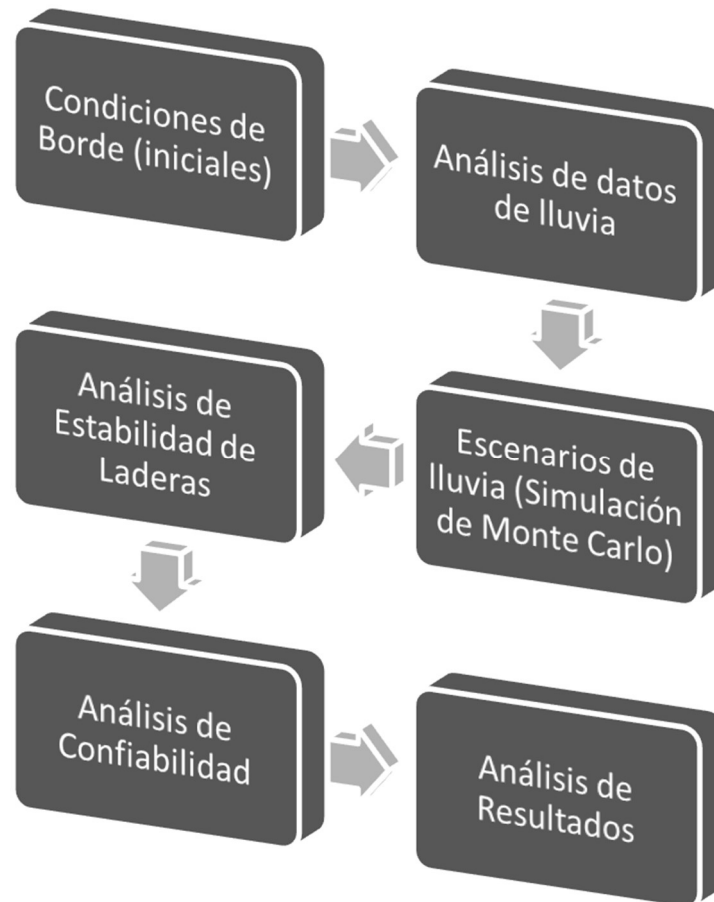


Figura 15. Metodología empleada.

2.1 CONDICIONES DE BORDE (INICIALES)

Este apartado implica la definición de las condiciones iniciales de borde que caracterizan a la ladera tanto en el aspecto geotécnico-hidráulico como geométrico, en un estado sin la presencia de lluvias ni su efecto previo. La geometría del perfil de la ladera fue obtenida con el auxilio de programas computarizados que permiten el análisis topográfico virtual de varias zonas en el planeta, por lo que fue posible obtener la forma aproximada de una ladera de un cerro real (Figura 16).

El software Google Earth versión 2023 permitió la obtención de alturas de puntos topográficos del relieve (Figura 17) a lo largo de la ladera de interés, permitiendo estimar la forma aproximada del corte transversal. En adición a lo anterior, la extensión CivilCAD 2021 del software AutoCAD 2021, permite hacer la exportación de los datos ubicados anteriormente hacia este programa, facilitando su trazo. El perfil de ladera es como el mostrado en la figura 16; en este caso, se aprecia en la parte inferior izquierda la existencia de una carretera donde se transita habitualmente, aumentando el riesgo ante un deslizamiento, además de poseer una geometría irregular con pendientes variables en todo el perfil.

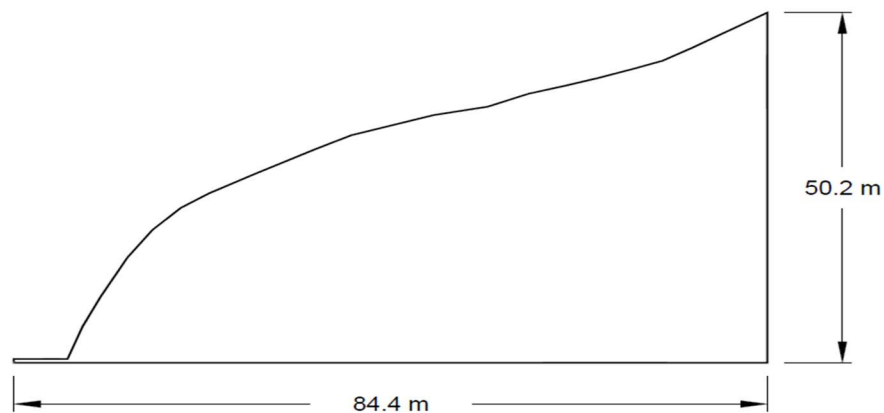


Figura 16. Perfil de ladera importada desde Google Earth.



Figura 17. Puntos topográficos establecidos en Google Earth.

En esta etapa inicial, el suelo tiene características de flujo estacionario considerando las propiedades físicas homogéneas en todo el medio; las condiciones iniciales húmedas se

consideran cerca de la nulidad, dejando libre de efectos de lluvias anteriores (histéresis) debido al interés del estudio hacia el efecto de los cambios de humedecimiento repentinos y abruptos.

La composición de la ladera se considera de tipo arcilloso arenoso y no es contemplado peso adicional por encima de ella, por lo que las fuerzas actuantes están limitadas únicamente por el peso propio de la masa del suelo, con los siguientes valores en sus propiedades:

Tabla 4. Magnitudes de propiedades geotécnicas del suelo.

Propiedad	Magnitud	Unidades
Peso específico	20.14	kN/m ³
Ángulo de Fricción	23.27	°
Cohesión	14.5	kPA

La introducción de los valores anteriores dentro del programa se puede visualizar en la figura 18.

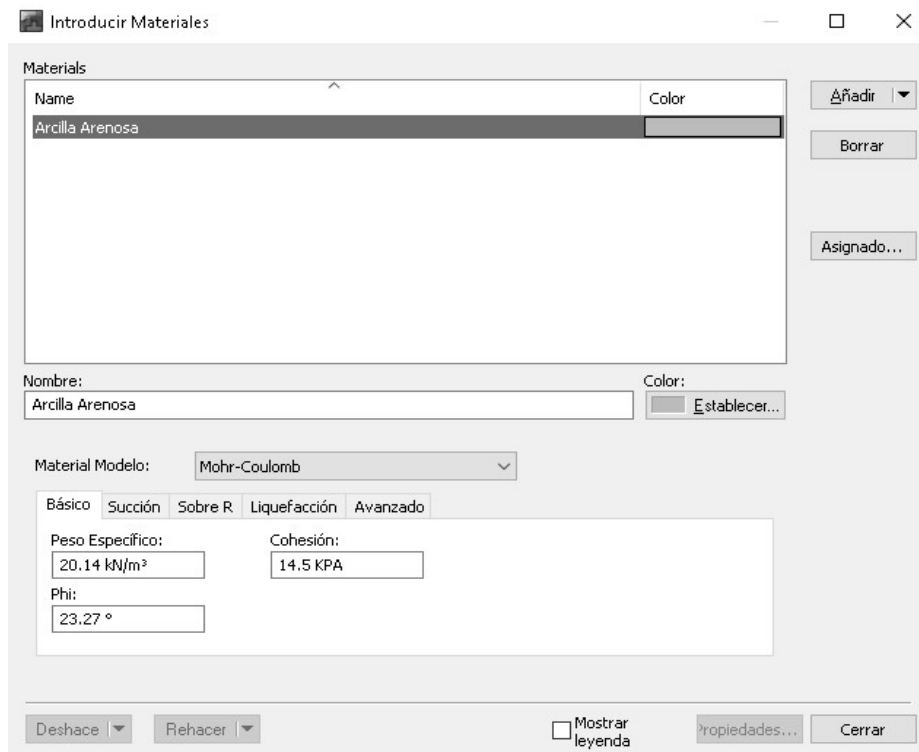


Figura 18. Introducción de propiedades geotécnicas iniciales de ladera.

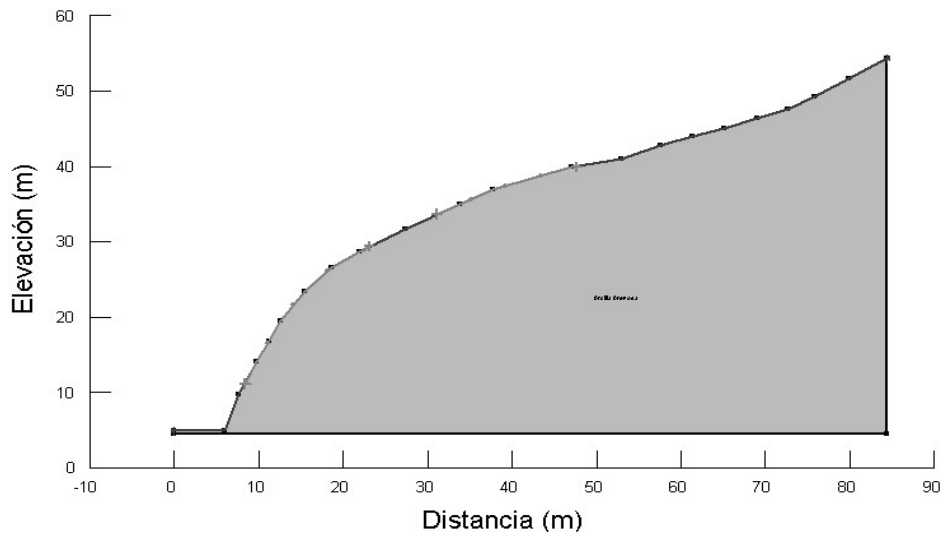


Figura 19. Perfil de ladera en GeoStudio.

Otra simplificación en esta parte inicial del análisis fue no considerar la presencia de nivel de aguas freáticas (NAF) debido a la localización de la ladera sobre un estrato permeable en la altura de la zona de estudio, permitiendo infiltraciones de agua y su posible escurrimiento en niveles inferiores, haciendo imposible la saturación en niveles más arriba.

Al considerar que en la mayor parte del tiempo del análisis el suelo tendrá una naturaleza de saturación parcial acorde a lo expuesto en apartados anteriores, contemplando además las condiciones de flujo no estacionario, es importante definir algunas relaciones con respecto a la succión. La relación de succión – presión de poro puede ser obtenida mediante la metodología de Van Genuchten (Meza Ochoa, 2012), que ya está establecida en el software GeoStudio.

Tipos:		Función de Van Genuchten	
a:	3.633 KPA	Mv:	0 /KPA
n:	1.23	Sábado	0.38 m ³ /m ³
m:	0.1869918699186992	Res WC.:	0.1 m ³ /m ³

Figura 20. Parámetros para la obtención de curva Presión de Poro – Succión.

Su obtención es sencilla mediante la introducción de algunos parámetros con valores promedio al tipo de suelo correspondiente, debido a la ausencia de estudios geotécnicos

precisos dadas las dificultades que emanan de la extracción de datos de pruebas reales (Alonso & Lloret, 1985). Lo anterior se muestra en la figura 20 y la gráfica obtenida mostrada en la figura 21.

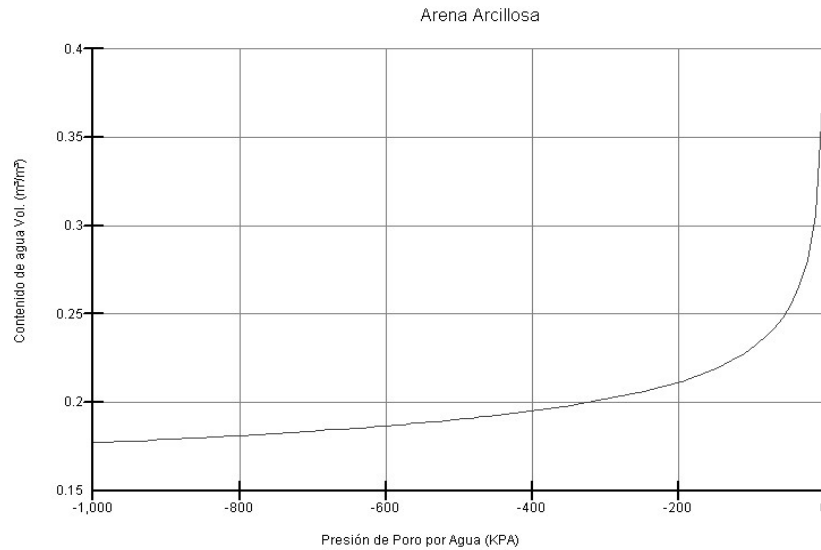


Figura 21. Gráfica Presión de poro – Contenido de agua.

Lo propio ocurre con la relación de succión – conductividad hidráulica; la metodología de Van Genuchten permite obtener dicha relación haciendo uso de gráfica anteriormente obtenida (Meza Ochoa, 2012), además de un ajuste en los parámetros que exige el método dentro del software. La gráfica obtenida se muestra en la figura 23.

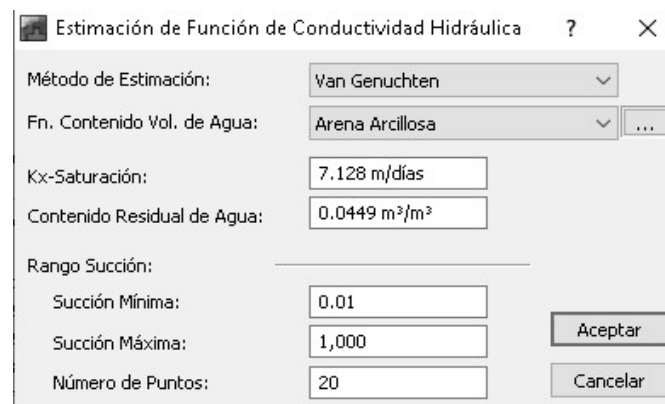


Figura 22. Parámetros para la obtención de curva Succión - Conductividad Hidráulica.

Otra de las condiciones de borde iniciales definidas fue el establecimiento de los sitios en la superficie de la ladera donde el agua de lluvia podría caer y, por ende, infiltrarse. En este

caso, la lluvia recae en casi toda el área de la ladera de manera homogénea, permitiendo su drenado en algunas zonas en la parte inferior izquierda (Figura 24). Se considera además una caída de lluvia uniforme.

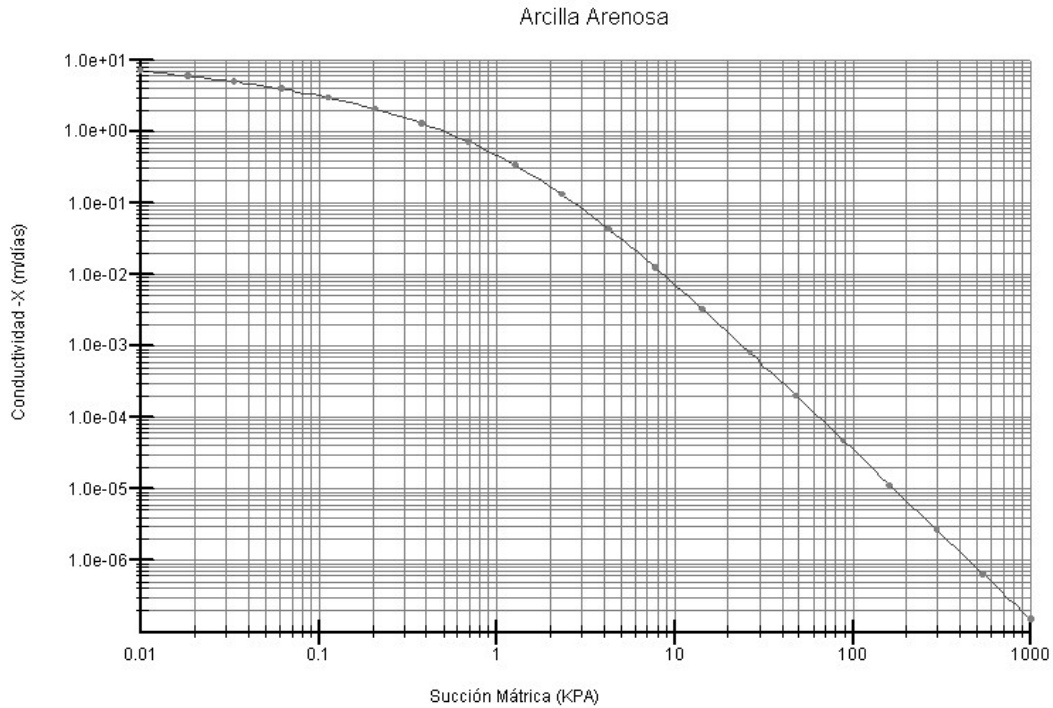


Figura 23. Gráfica Succión – Conductividad Hidráulica.

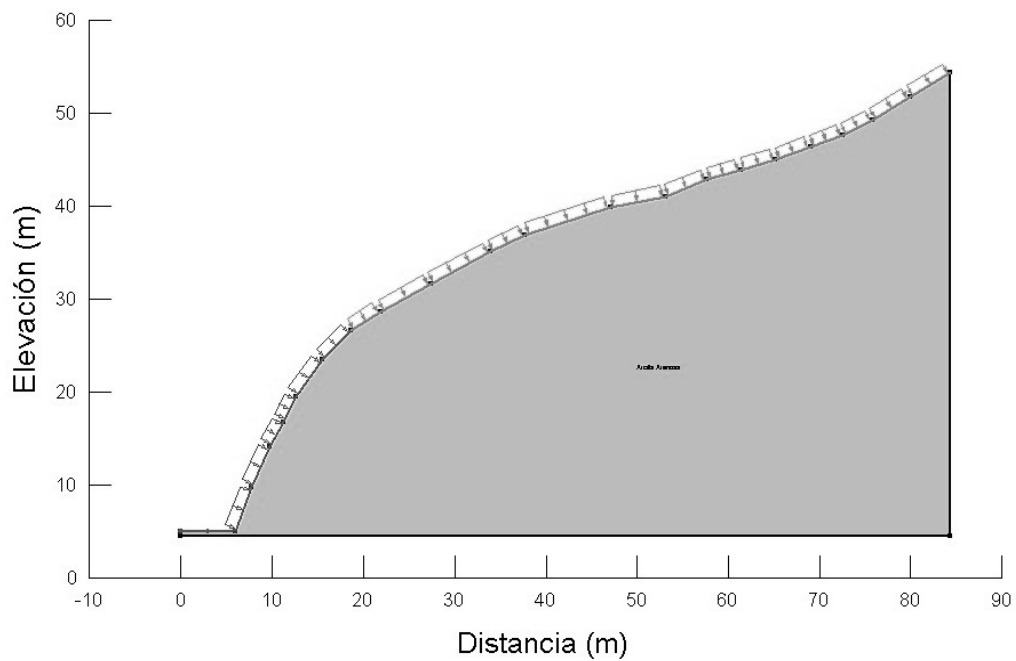


Figura 24. Área de posible caída de lluvia en la ladera.

Definido lo anterior, es posible obtener el valor de F.S. en estas condiciones iniciales. Como es de esperarse, el análisis muestra un valor de F.S. inicial mayor a 1 (F.S. = 1.449), correspondiente a un valor suficiente para mantener a la ladera exenta de movimiento a pesar de que es considerada como crítica ante el deslizamiento, con base a lo señalado por algunos autores y reglamentos de diseño de taludes (valores de F.S. mayores a 1.5 se consideran taludes estables y seguros). La obtención del valor de F.S. = 1.449 se realiza al ejecutar el programa, una vez finalizado el ingreso de datos iniciales, considerando la geometría de la ladera invariable en todo momento (hasta su falla) con ausencia de humedad.

El valor de F.S. obtenido se verá reducido una vez introducidas las diferentes variaciones del agente detonador (lluvias).

2.2 ANALISIS DE DATOS DE LLUVIAS

La distribución de intensidades de lluvia posee alta variación, por lo que se toma en cuenta su ocurrencia basada en un registro pluviométrico con altos valores de precipitaciones durante todo el año, por lo que se trata de imitar el patrón encontrado a través de un análisis de datos de lluvia y así, poder crear los escenarios de tormenta empleando la metodología de Monte Carlo. Se contempla, además, la aparición de lluvias intensas relacionadas a cualquier evento meteorológico, haciendo indiferente y descartado el análisis basado en un fenómeno meteorológico en particular.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), una lluvia intensa conlleva duraciones que oscilan en periodos de 0.5 a 2 horas con precipitaciones mayores a los 50 mm/hora. La información disponible en la estación pluviométrica usada para este estudio presenta los datos de precipitación en mm/día, por lo que se toma esta unidad para la medición de lluvias intensas, además que dentro del análisis de datos de lluvia se considera que la precipitación por arriba de los 50mm/día es intensa y no es homogénea durante las 24 horas del día, es decir, es probable que en una parte del día haya existido caída de lluvia intensa en lapsos de tiempo menores (horas).

Las condiciones de precipitación se basan conforme a los datos de la estación meteorológica llamada “Pijijiapan” con no. 7129, de acuerdo con la nomenclatura de la base de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

La figura 25 muestra la cantidad de lluvia acumulada en cada uno de los meses del año a partir del año 1959 hasta el 2019. La figura 26 muestra las cifras máximas alcanzadas de cada mes en cada año durante este periodo. Se demuestra la tendencia histórica de presencia de precipitaciones con valores por arriba de los 200 mm entre los meses de mayo y noviembre.

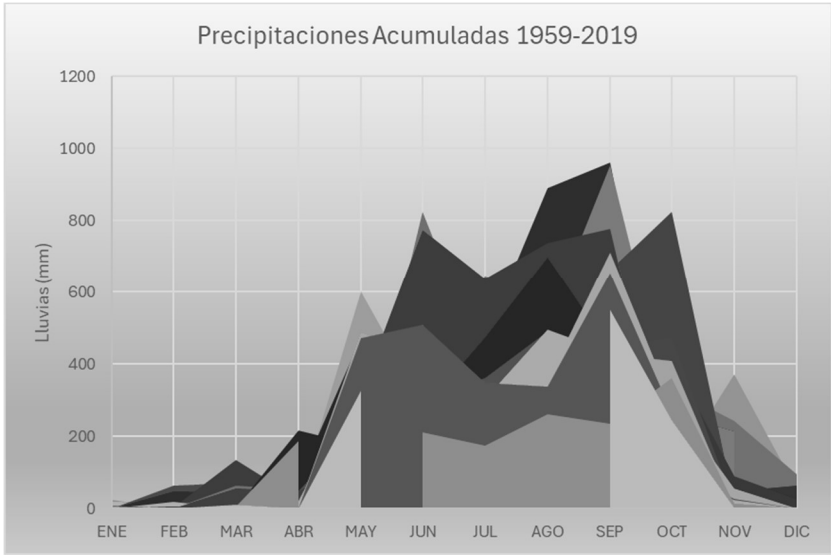


Figura 25. *Precipitaciones acumuladas mensuales del periodo 1959-2019.*

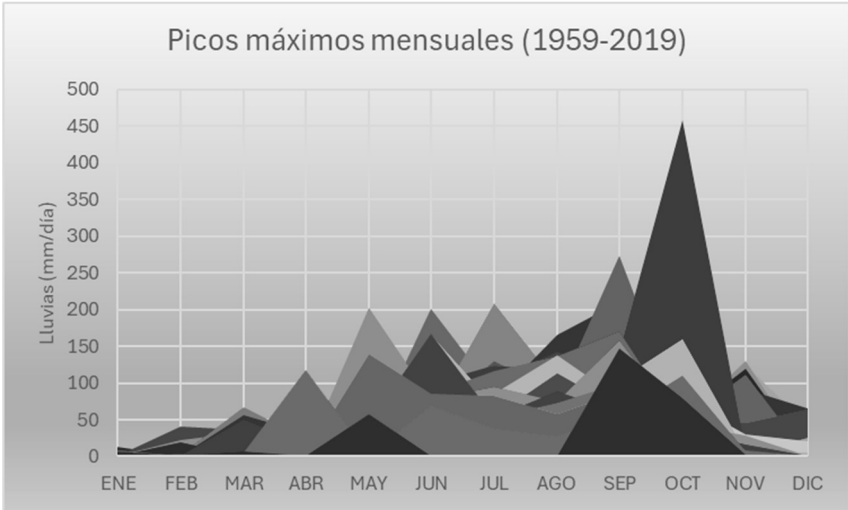


Figura 26. *Precipitaciones máximas mensuales del periodo 1959-2019.*

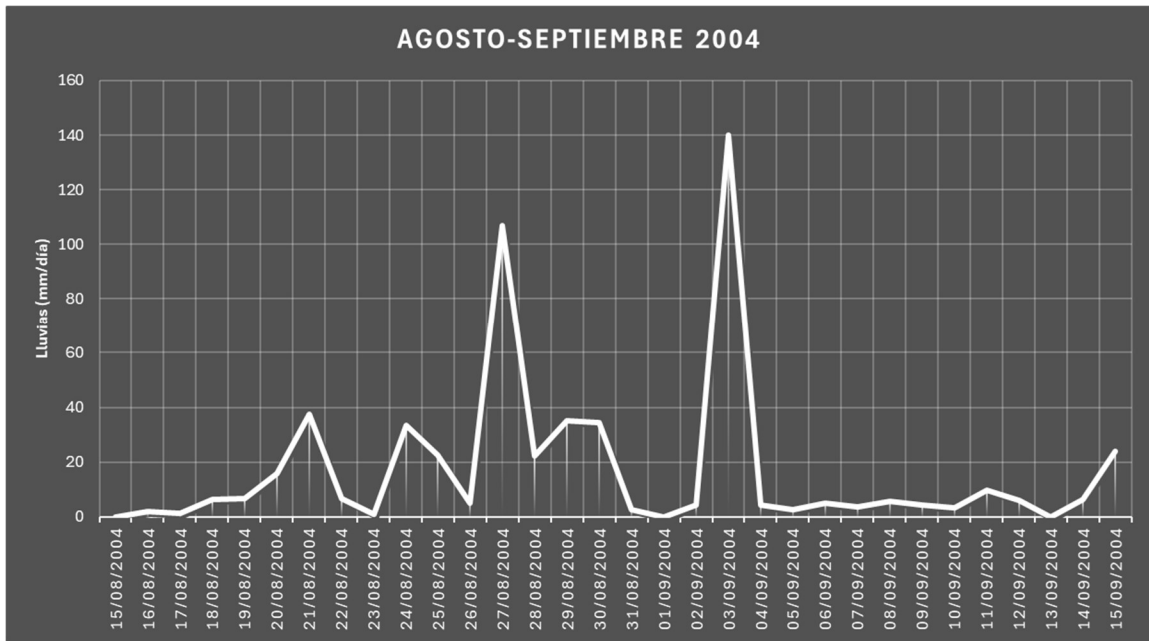


Figura 27. Precipitaciones diarias en agosto-septiembre de 2004 de la estación Pejijiapan.

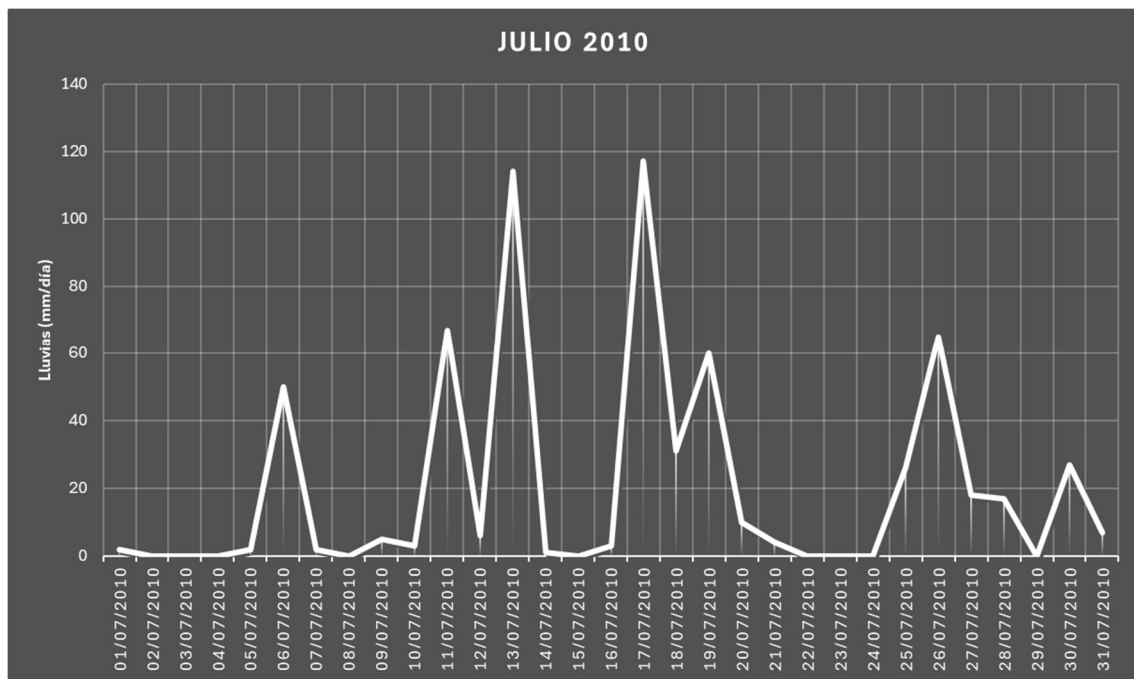


Figura 28. Precipitaciones diarias en julio de 2010 de la estación Pejijiapan.

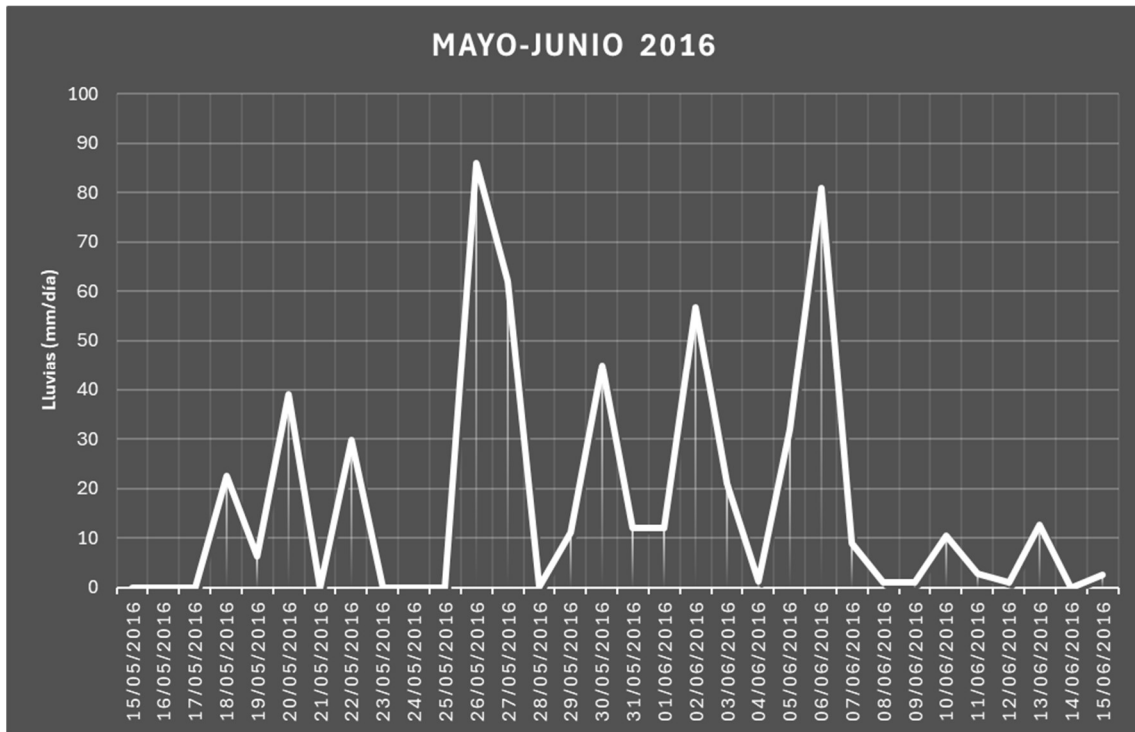


Figura 29. Precipitaciones diarias en mayo-junio de 2016 de la estación Pejijiapan.

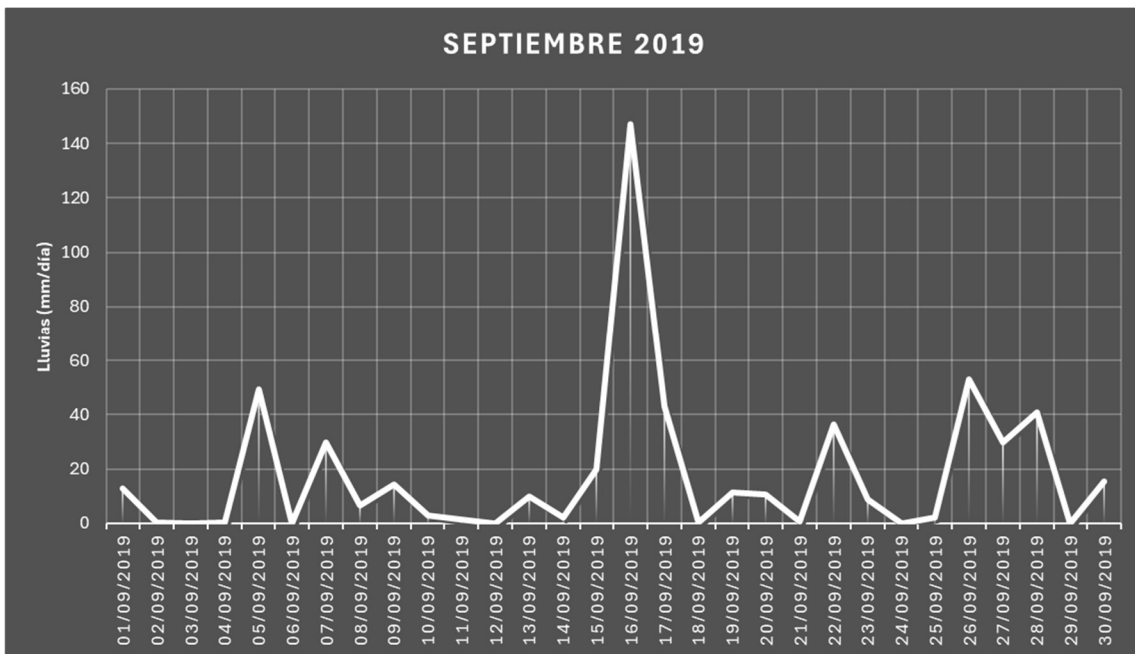


Figura 30. Precipitaciones diarias en septiembre de 2019 de la estación Pejijiapan.

Según los gráficos en las figuras 27-30, muestran la ocurrencia de lluvias intensas diarias en los meses correspondientes en años aleatorios dentro del periodo anual de gran acumulación de agua que se mostró en las figuras 25 y 26. La información refleja la presencia de lluvias intensas (lluvias mayores a los 50 mm/día) en lapsos no mayores en un día, es decir, los valores altos no reflejan continuidad y constancia al paso de los días, por lo que existe un abrupto aumento y el posterior descenso de altura de lluvia en un lapso no mayor a las 24 horas. Además, existe la presencia de varios días de lluvia intensa con intervalos de tiempo no mayores a una semana, apreciando la alternancia de días con lluvias intensas y días con lluvia pobre o nula en cortos periodos (de 7 a 10 días). Lo anterior demuestra que una lluvia intensa no suele aparecer en solitario, por lo que en la mayoría de los casos es necesario el acompañamiento de lluvias de menor intensidad en días antes y después de haber sucedido, lo cual es común en fenómenos meteorológicos como huracanes o frentes fríos.

Aunando lo anterior, se elige el análisis basado en periodos de lluvia de 10 días, el cual es un periodo de tiempo suficiente para observar la presencia y el efecto de las lluvias intensas, además de minimizar el efecto de lluvias de menor magnitud, a pesar de que su presencia suele ser necesaria para que una lluvia intensa aparezca dada la naturaleza de los eventos meteorológicos. En caso de elegir un periodo mayor, el efecto de las lluvias de intensidad media-baja podría ser más significativo y de mayor impacto debido a la acumulación de agua por grandes lapsos de tiempo, además de que su existencia dentro de un periodo mayor ocuparía gran parte de los días de tormenta, disminuyendo el impacto real de una lluvia intensa. Al elegir empíricamente esta duración de tormenta, se estima que dentro de ella existe, por lo menos, un día de lluvia intensa y máximo tres, dejando el resto para la aparición de lluvias de media-baja o nula precipitación.

La elección de las magnitudes de intensidad de lluvias para la creación de escenarios de lluvia se hizo acorde a lo observado en las cifras extraídas de la base de datos de la estación pluviométrica en cuestión. En este punto, se trata de realizar un análisis de datos que revelen un patrón de ocurrencia de lluvias en magnitud y frecuencia.

Con base a cada uno de los valores de precipitación diarios dentro del periodo de 61 años bajo estudio (22280 días), fue necesario obtener rangos de valores de precipitación intensa ocurridos en este periodo con la respectiva frecuencia, como se muestra la tabla 5; el objetivo es obtener la probabilidad de ocurrencia promedio posible de cada uno de los rangos establecidos.

Para realizar lo anterior, los valores de las frecuencias de cada rango mostrados se dividen entre el número de días del periodo en cuestión, aplicando la siguiente ecuación:

$$p(x)_{diario} = \frac{\text{frecuencia}}{\text{No. de días}} \quad \dots (21)$$

Al considerar un promedio de ocurrencia diario, es necesario obtener su probabilidad anual de ocurrencia a través de la siguiente fórmula:

$$p(x)_{anual} = 1 - (1 - p(x)_{diario})^{365.25} \quad \dots (22)$$

Calcular el inverso del valor obtenido en la ecuación (22), se obtiene el periodo de retorno promedio anual T_{prom} , a lo que se define como el tiempo promedio esperado de ocurrencia entre un evento similar a otro, generalmente medido en años (Aparicio Mijares, 1992) y se expresa mediante la fórmula:

$$T_{prom} = 1/p(x)_{anual} \quad \dots (23)$$

Al aplicar las ecuaciones 21-23 para el rango de 50-60 mm/día como ejemplo, se obtiene lo siguiente:

$$p(x)_{diario} = \frac{198 \text{ veces}}{22280 \text{ días}} \approx 0.008887 \quad \dots (24)$$

$$p(x)_{anual} = 1 - (1 - 0.008887)^{365.25} \approx 0.9616 \quad \dots (25)$$

$$T_{prom} = \frac{1}{0.9616} \approx 1.040 \text{ años} \quad \dots (26)$$

Se aplica lo mismo para el rango de 130-140 mm/día:

$$p(x)_{diario} = \frac{7 \text{ veces}}{22280 \text{ días}} \approx 0.000314 \quad \dots (27)$$

$$p(x)_{anual} = 1 - (1 - 0.000314)^{365.25} \approx 0.1084 \quad \dots (28)$$

$$T_{prom} = \frac{1}{0.9616} \approx 9.22 \text{ años} \quad \dots (29)$$

Tabla 5. Periodo de retorno para diferentes lluvias magnitudes de lluvias intensas.

Lluvias (mm/día)		Frecuencia	P(O)	T
50	60	198	0.962	1.040
60	70	137	0.895	1.117
70	80	75	0.708	1.412
80	90	73	0.698	1.432
90	100	38	0.464	2.155
100	110	21	0.291	3.432
110	120	18	0.256	3.912
120	130	13	0.192	5.209
130	140	7	0.108	9.222
140	150	9	0.137	7.289
150	160	2	0.032	31.001
160	170	4	0.063	15.754
170	180	1	0.016	61.499
180	190	2	0.032	31.001
190	200	1	0.016	61.499
200	210	3	0.048	20.836
210	220	2	0.032	31.001
220	230	1	0.016	61.499
230	240	1	0.016	61.499
240	250	0	0.000	-
250	260	0	0.000	-
260	270	0	0.000	-
270	280	1	0.016	61.499
450	460	1	0.016	61.499

La tabla 5 muestra la organización de cada uno de los resultados obtenidos para cada uno de los rangos con base a lo anterior y refleja información importante respecto a la ocurrencia de lluvias a lo largo de los 61 años según la estación meteorológica elegida: el rango de lluvias correspondiente a los 50-60 mm/día existe una probabilidad de ocurrencia promedio de casi del 100%, es decir, existe un periodo de retorno promedio entre eventos similares cada 1.04 años, por lo que se espera que llueva con esta intensidad al menos una vez al año con una probabilidad del 96.16%. Mientras que para el caso de 130-140 mm/día, existe una probabilidad de ocurrencia promedio del 10.84% y un periodo de retorno promedio igual a los 9.22 años.

Los resultados obtenidos revelan un patrón de presencia de lluvias intensas, el cual concluye que, a medida que los valores de precipitación aumentan, su ocurrencia disminuye y los valores de T son más largos. Lo anterior permite hacer una inferencia sobre qué valores de lluvias deben existir en mayoría en la creación de los distintos escenarios de lluvia.

En la tabla 6 se muestran los rangos de lluvia más amplios junto con las frecuencias encontradas en ellos, además del cálculo de la probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno promedios, tal como se realizó anteriormente.

Para obtener los distintos escenarios o tormentas de lluvia con 10 días de duración y diferentes magnitudes en cada uno, se aplica la simulación de Monte Carlo, procurando homogeneidad y destacando mayor existencia de lluvias en los rangos de 50 a 70 mm/día y 70 a 90 mm/día durante este lapso, según lo mostrado en la tabla 6.

En primera instancia, fue conveniente crear 1000 escenarios de lluvia distintos debido a que se considera este número como suficiente con base a la organización de los datos resultantes (Factores de Seguridad) en un histograma y su tendencia a una forma establecida a partir de los 500 datos. Se dan más detalles al respecto en el apartado del análisis de confiabilidad.

Tabla 6. Periodos de retorno y probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas calculados.

Lluvias (mm/día)		Frecuencia	P(O)	T
50	70	335	0.996	1.004
70	90	148	0.912	1.096
90	120	77	0.718	1.393
120	150	29	0.379	2.642
150	170	6	0.094	10.673
170	200	4	0.063	15.754
200	250	7	0.108	9.222
250	350	1	0.016	61.499
350	450	1	0.016	61.499

Para generar los 1000 escenarios de lluvia, se consideraron los siguientes supuestos:

- Existen simulaciones donde en días iniciales se proponen lluvias leves que muestran su aumento en los días posteriores.
- Lo propio ocurre en el caso inverso; en los primeros días existe mayor intensidad de lluvias con la posterior disminución en los siguientes.
- En la mayoría de los casos, existen escenarios con un ligero aumento de precipitaciones en los primeros días, dejando el pico de intensidad al quinto o sexto día, con el posterior y paulatino descenso.
- Existen también los casos con alternancia en los días con lluvia intensa: al inicio, a la mitad y al final del periodo de tormenta (siendo 3 en total).

Lo anterior describe los escenarios posibles durante una tormenta con lluvias intensas, recalcando la importancia de la disminución de los días con lluvias pobres.

La tabla 7 muestra como ejemplo 10 escenarios de lluvia creados con los respectivos 10 días de duración. En el anexo 1.1, se muestran los 1000 escenarios de tormentas creados.

Tabla 7. Valores alturas de lluvias en 10 ensayos (simulaciones) de 10 días.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Días de lluvia (mm/día)	1	122.9	58.9	20	30	0.1	78	5	22	3	8
	2	4.5	65	15	25	0.1	21.6	5	110	10	9
	3	60	14	12	98.6	0.1	23	315	67	11	300
	4	51	10	54	16	178	75	5	7	400	29.8
	5	2	151	237.8	90.2	151	60	5	10	5	10
	6	169.7	20	52	24	128.1	75	5	4	13	35
	7	20.4	30	23	52	0.1	0.2	5	37.8	2	0
	8	10	5	18	80	0.1	30	102.8	55	1	25
	9	7.5	10	17	20	0.1	45	5	98	0	20
	10	9.8	93.9	9	22	0.1	50	5	47	12.8	21

Dado que existen en total 10,000 días de lluvia dentro de las 1000 simulaciones, el porcentaje correspondiente a lluvias intensas es de aproximadamente 18.53%. La organización de los rangos de lluvias intensas con la respectiva frecuencia se muestra en la tabla 8, destacando la mayor presencia de intensidades correspondientes a los 50-70 mm/día. Esta frecuencia disminuye acorde con el aumento de intensidad de cada rango.

Tabla 8. Frecuencia de ocurrencia de diferentes intensidades de lluvia en los escenarios de tormenta creados por Monte Carlo.

Rango (mm/día)		Frecuencias
50	70	603
70	90	440
90	120	381
120	150	137
150	170	94
170	200	50
200	250	65
250	350	55
350	450	28
TOTAL		1853

2.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA

Se analiza el cambio del valor de F.S. inicial (F.S. = 1.449) una vez introducidas las condiciones iniciales de la ladera y los datos de lluvia en cada escenario generado según la metodología de Monte Carlo empleada anteriormente.

La disminución del valor del F.S. suele ser debido al cambio de las propiedades resistentes del material constituyente del suelo, dada la fuerte dependencia con los cambios de humedad causadas por lluvias. Debido a que en la mayoría del tiempo del análisis se considera un estado de suelo en saturación parcial, la variación de la humedad estará sujeta al estudio de flujo tipo transitorio y se realiza con base a la ecuación diferencial de Richards anteriormente citada, que toma en cuenta la variación de la infiltración de agua a lo largo del tiempo y cómo influye en algunas propiedades del medio.

El funcionamiento de lo anterior se realiza ejecutando el software Geostudio en la versión 2012 y conforme a lo permitido dentro de él, es decir, es necesario plantear el modo de ejecución del programa para visualizar el cambio de los valores de F.S. y la influencia de cada uno de los días de lluvia. En primera instancia, se deben correr de forma simultánea las subrutinas *Seep/W* y *Slope/W* para verificar la variación del valor de F.S. en los días establecidos, como se muestra en la siguiente figura.

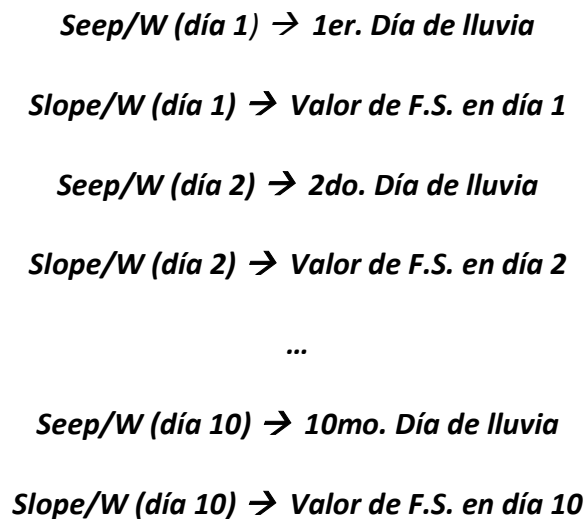


Figura 31. *Secuencia de análisis del programa GeoStudio.*

El funcionamiento de lo anterior se debe a que en el primer día de lluvia la subrutina *Seep/W* permite introducir las magnitudes de lluvia para el día en cuestión, permitiendo influir en las propiedades hidráulicas y físicas, mientras que un análisis mediante *Slope/W* analiza la estabilidad del medio arrojando el valor de F.S. una vez que las propiedades físicas han sido influenciadas por *Seep/W*. Esto se repite hasta llegar al día 10.

Un análisis por medio de *Seep/W* siempre debe anteceder a un análisis *Slope/W* debido a que el primero ya ha generado un cambio en las propiedades físicas del medio a causa de la lluvia, por lo que al realizar la simultaneidad entre estas dos subrutinas ayuda a mostrar la evolución de F.S. conforme los días avanzan.

La figura 32 muestra un ejemplo de la introducción de la cantidad de agua de lluvia medida en mm/día para el periodo de 10 días. En el día #0 (día inicial) hay nula precipitación y los siguientes corresponden a días con lluvias de una tormenta generada ya que, como se mencionó, es debido al interés de la evolución del estado de saturación del suelo a partir de un estado totalmente seco.

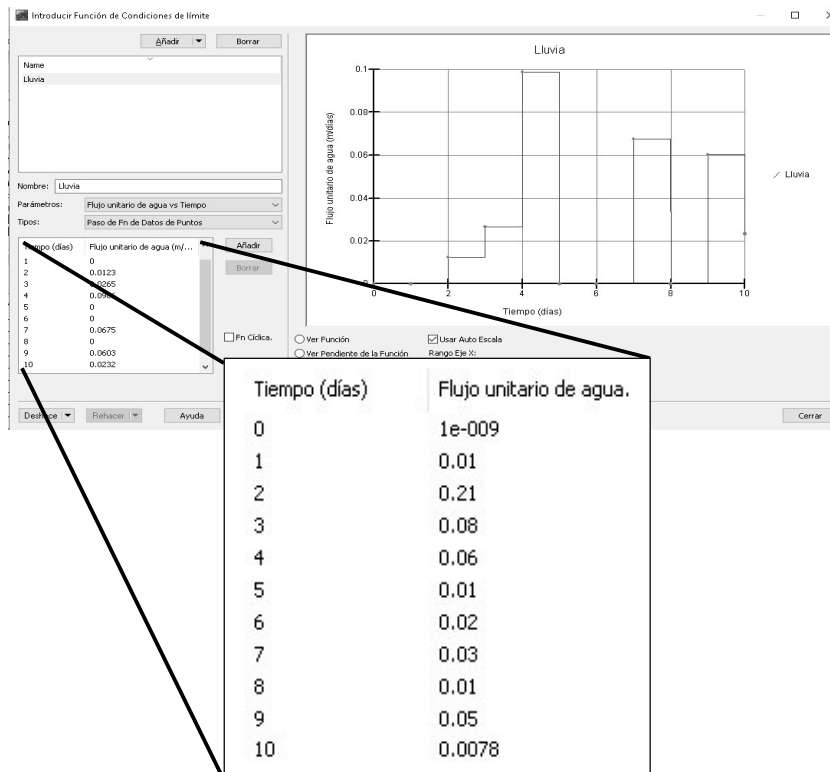


Figura 32. Introducción de un escenario de intensidades de lluvia en GeoStudio.

Cada simulación se hace bajo las consideraciones del análisis límite por la metodología de Morgenstern-Price para la obtención de una superficie de falla. Al ser un tipo de análisis de dovelas preciso, toma las consideraciones actuantes en una dovela de ancho infinitesimal evaluadas acorde a las ecuaciones de equilibrio de la estática (Pérez Fajardo, 2018).

Durante la ejecución de las simulaciones con los distintos escenarios de lluvia, además de visualizar el cambio de F.S. de cada día transcurrido, es posible obtener la correspondiente superficie de falla generada, aun cuando el valor de F.S. sea mayor a uno.

La tabla 9 muestra los 10 escenarios de lluvia definidos como ejemplo en la tabla 7 y el valor de F.S. crítico (menor posible) encontrado en ellos, indicando además el día en el cual fue detectado dicho valor crítico. Por ejemplo, en el escenario #3 fue encontrado el valor mínimo de F.S. igual a 0.97 en el día 5. Para el caso del escenario #7, se encontró un valor mínimo de 1.224 en el décimo día, dejando clara la inexistencia de una falla. Los valores de F.S. obtenidos en todas las simulaciones se muestran en el Anexo 1.2.

Cabe mencionar que, una vez encontrado un valor de F.S. < 1, éste se considera como el valor mínimo de ese ensayo, a pesar de que en días posteriores podría existir un valor mayor o aún menor, por lo que el análisis en días posteriores a una falla carece de sentido.

Tabla 9. Factores de Seguridad de cada escenario de 10 días de lluvia.

Simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Días de lluvia (mm/día)	1	122.9	58.9	20	30	0.1	78	5	22	3	8
	2	4.5	65	15	25	0.1	21.6	5	110	10	9
	3	60	14	12	98.6	0.1	23	315	67	11	300
	4	51	10	54	16	178	75	5	7	400	29.8
	5	2	151	237.8	90.2	151	60	5	10	5	10
	6	169.7	20	52	24	128.1	75	5	4	13	35
	7	20.4	30	23	52	0.1	0.2	5	37.8	2	0
	8	10	5	18	80	0.1	30	102.8	55	1	25
	9	7.5	10	17	20	0.1	45	5	98	0	20
	10	9.8	93.9	9	22	0.1	50	5	47	12.8	21
F.S.	1.124	0.813	0.970	0.980	0.961	0.998	1.224	1.161	1.013	1.178	
Día	día 6	día 5	día 5	día 7	día 7	día 4	día 10	día 3	día 4	día 3	

2.4 ANALISIS DE CONFIABILIDAD.

Al término de la aplicación de los 1000 escenarios de lluvia, se obtiene el mismo número de factores de seguridad críticos y es posible organizar toda esta información en forma de histograma que muestre un orden de todos los valores de F.S. encontrados, siendo esto la base para la obtención de la función de confiabilidad.

Para la obtención del histograma es necesario definir los rangos o categorías en los cuales serán contabilizados cada uno de los F.S., por lo que es necesario obtener los valores límite de F.S. (máximo y mínimo) de las simulaciones, teniendo en cuenta el valor de F.S. que corresponde antes de la aplicación de lluvias es un F.S = 1.448 y es considerado el mayor valor posible alcanzado, por lo que al aplicar los escenarios de lluvia, los valores de F.S. máximo y mínimo encontrados son F.S. máx. = 1.348 y F.S. min = 0.644.

Al considerar la diferencia entre ambos valores, se obtiene que:

$$F.S. \text{ max} - F.S. \text{ min} = 1.348 - 0.644 = 0.704 \quad \dots (30)$$

Para el análisis, es conveniente manejar esta diferencia como un valor igual a 0.8, por la comodidad de tener 8 categorías con valores de 0.1 de diferencia en cada uno. Cada una se muestra en la tabla 10 junto con los respectivos números de frecuencias de los valores de F.S.

Lo anterior permite representar, a través de gráficas de barra con ancho igual a 0.1 y altura definida por su frecuencia, la semejanza de su forma con una función de distribución de probabilidad, teniendo en el eje de las abscisas los valores de los rangos de F.S. y el eje vertical correspondiente a las frecuencias (Figura 33). Con base a un juicio visual, la gráfica muestra una similitud a una campana simétrica a un eje central, por lo que se procede a realizar la metodología que permite obtener una función con esta forma establecida y la respectiva prueba de bondad para saber cuán representativa es dicha función.

El haber definido la creación de 1000 escenarios de lluvia con el mismo número de F.S. fue acorde a la tendencia de forma del histograma, mientras hay aumento en el número de

datos considerado. Esto queda ejemplificado al observar la evolución de los histogramas en las figuras 34-36. Fue a partir de los 500 datos donde es posible observar la forma anteriormente citada que se vuelve más definida al aumentar el número de datos hasta 1000.

Cada uno de los conjuntos de valores de las figuras 34-36 fueron organizados conforme a la diferencia de rangos que anteriormente se definió y con el uso de Microsoft Excel que facilita una mejor presentación de datos

Tabla 10. Frecuencias en cada rango de valores de F.S.

Rango de Valores de F.S.	Frecuencia
0.644 – 0.744	3
0.744 – 0.844	26
0.844 – 0.944	88
0.944 – 1.044	235
1.044 – 1.144	273
1.144 – 1.244	219
1.244 – 1.344	153
1.344 – 1.444	3
Total	1000

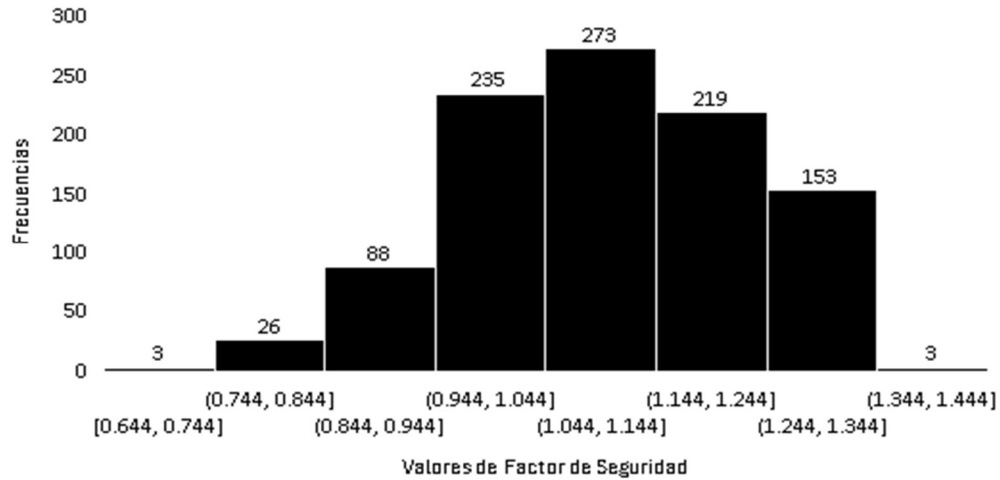


Figura 33. Histograma de frecuencias de 1000 valores de F.S.

Tanto la distribución normal como las distribuciones beta y gama permiten modelar una función en forma de campana, por lo que en los siguientes apartados se muestra su obtención y las respectivas comparaciones de los resultados aplicando una prueba de bondad de ajuste en cada una.

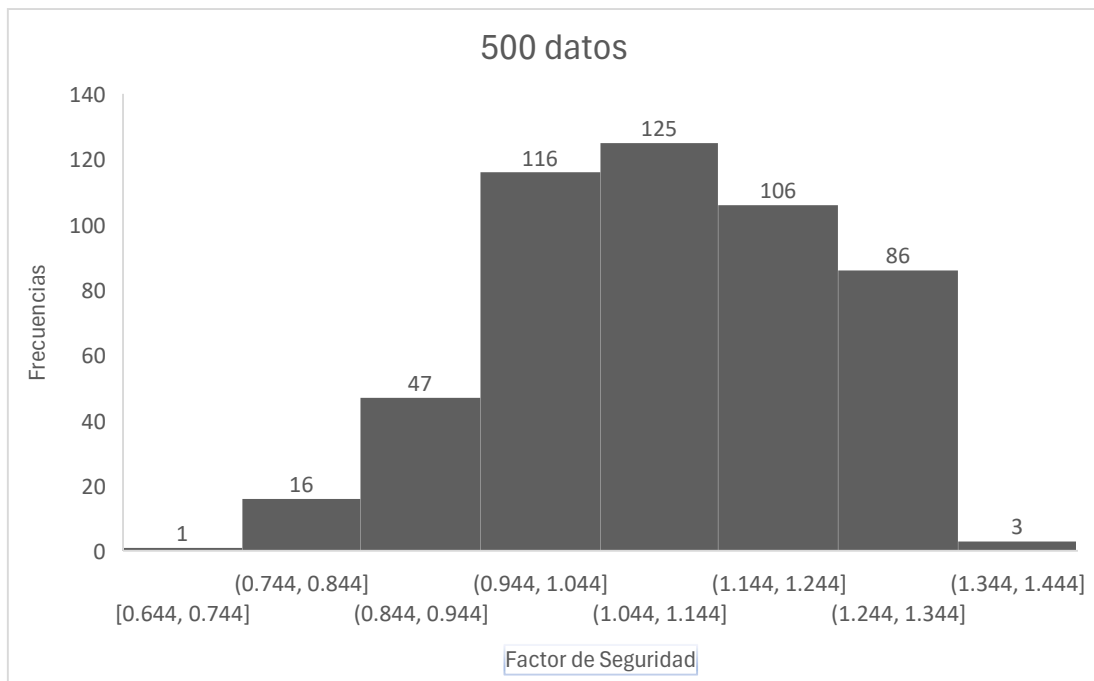


Figura 34. Histograma con 500 valores de F.S.

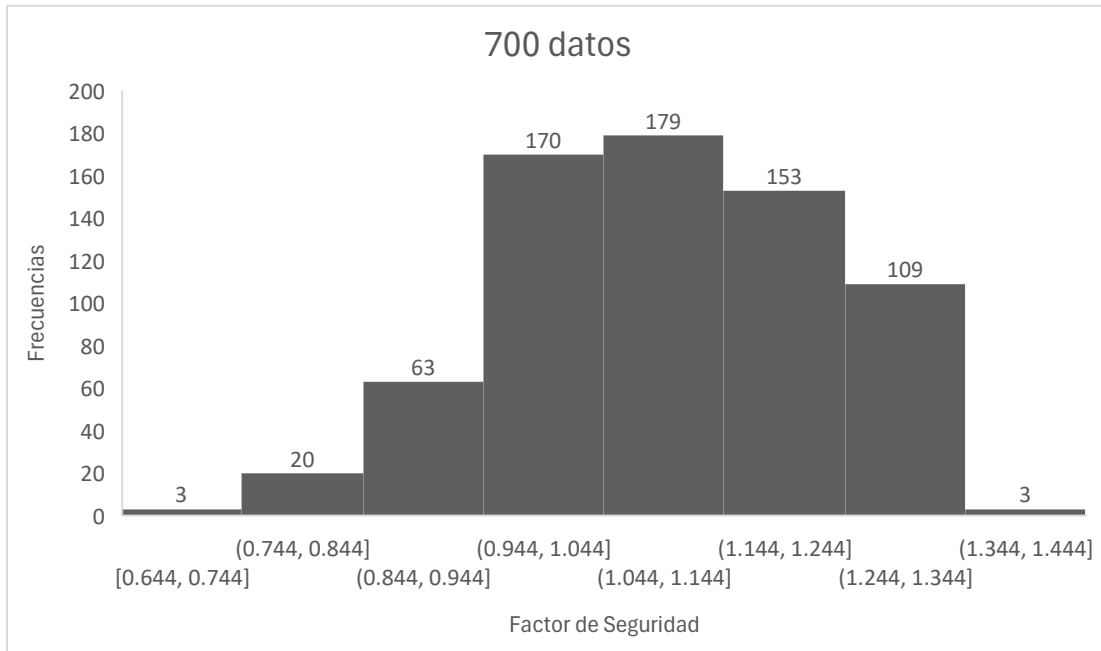


Figura 35. Histograma con 700 valores de F.S.

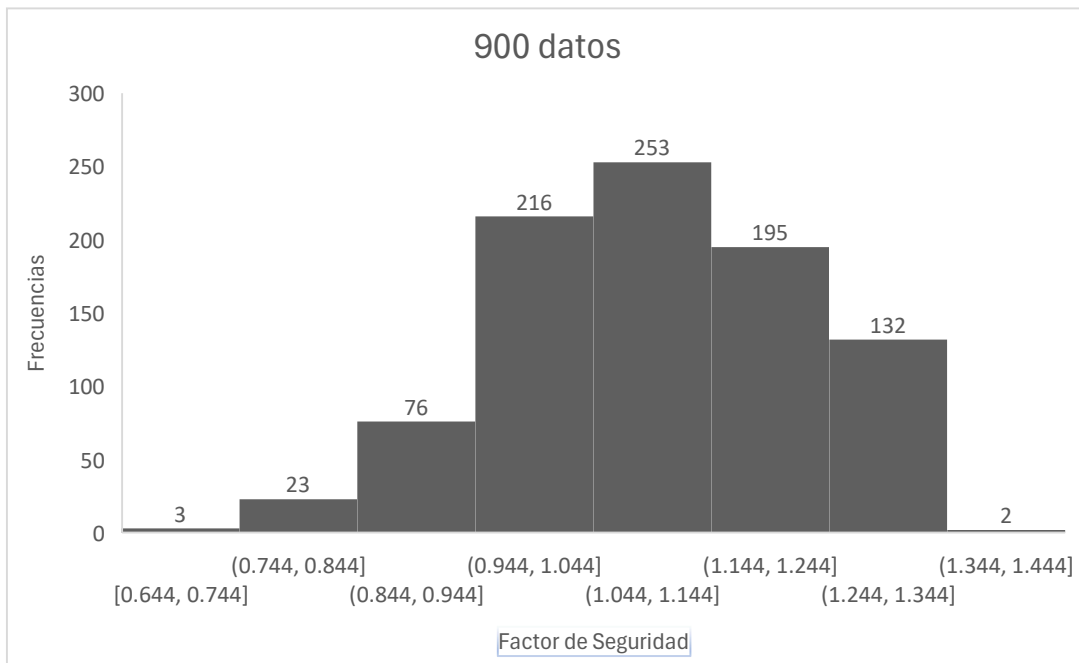


Figura 36. Histograma con 900 valores de F.S.

2.4.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

Una distribución de probabilidad normal se rige a través de la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty \quad \dots (31)$$

y su función de distribución de probabilidad acumulativa se representa mediante:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad \dots (32)$$

Siendo:

- $f(x)$ = Función de distribución de probabilidad en x
- x = Variable en estudio (Factor de seguridad F.S.)
- μ = Media o promedio de valores de F.S.
- σ = Desviación estándar

Se define el valor promedio μ a través de la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad \dots (33)$$

- μ = Media o promedio de valores de F.S.
- x_i = Factor de Seguridad F.S.
- N = número de datos totales

También se define el valor de la desviación estándar poblacional:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad \dots (34)$$

- σ = Desviación Estándar
- N = número de datos totales
- x_i = Factor de Seguridad F.S.
- μ = Media o promedio de valores de F.S.

En el anexo 1.2 se muestran los datos para la obtención de los parámetros μ y σ . Para obtener el valor de μ de la ecuación (33), se sustituyen valores:

$$\mu = \frac{1096.5821}{1000} = 1.0965 \quad \dots (35)$$

Se sustituyen también los valores en la ecuación (34):

$$\sigma = \sqrt{\frac{15.9208}{1000}} = 0.1262 \quad \dots (36)$$

Al sustituir las cifras de cada parámetro en la definición (31) de la función normal, se obtiene lo siguiente:

$$f(x) = 3.1617e^{-31.405(x-1.0965)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad \dots (37)$$

Por definición, es suficiente considerar un dominio x en el cual los valores de $f(x)$ sean lo suficientemente relevantes para que muestren la forma necesaria que se prescribe en el histograma de frecuencias. Se establece que el rango de $[0.6, 1.60]$ es suficiente para que se logre lo anterior, remarcando que dentro de dicho rango se encuentran los 1000 valores de F.S. obtenidos. La gráfica de la distribución normal obtenida se muestra en la figura 37.

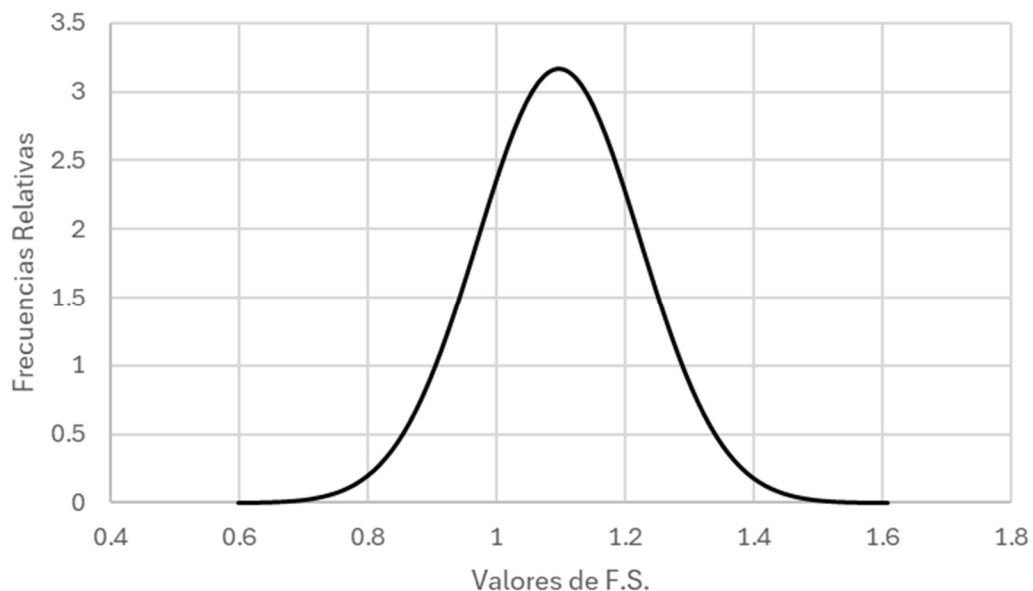


Figura 37. Gráfica de la función de distribución normal.

2.4.2 DISTRIBUCIÓN BETA

La variable aleatoria Y sigue una distribución de densidad beta de acuerdo con la siguiente definición:

$$g(y) = \begin{cases} \frac{1}{B(\alpha, \beta)} y^{\alpha-1} (1-y)^{\beta-1} & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{para otro caso} \end{cases} \quad \dots (38)$$

Donde los parámetros α y β son números naturales.

La función $B(\alpha, \beta)$ en (38) es conocida como función beta y se define bajo la siguiente ecuación:

$$B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)} \quad \dots (39)$$

Para $\alpha \wedge \beta \in \mathbb{N}$

La función Γ se define como el número factorial de un número $\gamma - 1$:

$$\Gamma(\gamma) = (\gamma - 1)! \quad \dots (40)$$

La media μ y la varianza σ de esta función de densidad se definen en términos de los factores α y β como se muestra:

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad \dots (41)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} \quad \dots (42)$$

Se eligieron los valores de $\alpha = 6$ y $\beta = 7$ para encontrar la forma objetivo de la función de probabilidad.

Al sustituir estos valores en la fórmula (39), bajo la definición de la función Γ en (40) queda:

$$B(6,7) = \frac{(6-1)!(7-1)!}{\Gamma(6+7-1)!} = \frac{5!6!}{12!} = \frac{1}{5544} \quad \dots (43)$$

Ahora, sustituyendo el valor anterior, junto con los factores α y β en la definición (38) se obtiene la siguiente ecuación de densidad:

$$g(y) = 5544 y^5(1 - y)^6 \quad \dots (44)$$

La limitante de la ecuación (44) descansa en que está definida en el rango (0,1), por lo que es necesario desplazar la ecuación 0.644 unidades a la derecha, de tal forma que el origen coincida con el menor valor del primer rango de valores anteriormente definido en el histograma (0.644).

Sustituyendo a $y = x - 0.644$ en la función $g(y)$ en (44), la función queda de la siguiente manera:

$$g(x - 0.644) = 5544(x - 0.644)^5(1 - (x - 0.644))^6 \quad \dots (45)$$

$$f(x) = 5544(x - 0.644)^5(1.644 - x)^6 \quad \dots (46)$$

La función $f(x)$ ahora queda definida en el rango de (0.644,1.644):

$$f(x) = \begin{cases} 5544 (x - 0.644)^5(1.644 - x)^6 & 0.644 \leq x \leq 1.644 \\ 0 & \text{para otro caso} \end{cases} \quad \dots (47)$$

Al graficar la función, según la definición en (47), se obtiene la curva mostrada en la figura 38.

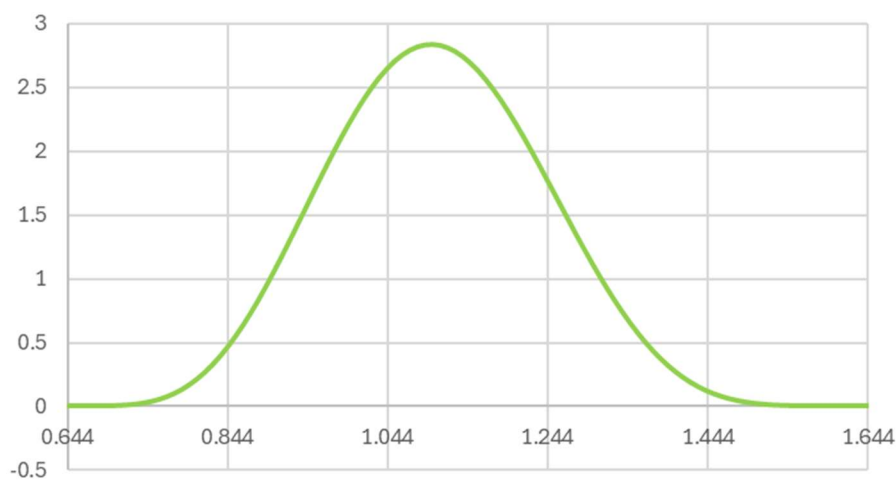


Figura 38. Gráfica de la función de distribución beta.

2.4.3 DISTRIBUCIÓN GAMA

La variable aleatoria X sigue la distribución gama de acuerdo con la definición siguiente:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \dots (48)$$

Donde los parámetros $\alpha \in \mathbb{N}$ y $\beta \in \mathbb{R}^+$

La varianza y la media se definen como sigue:

$$\mu = \alpha\beta \quad \dots (49)$$

$$\sigma^2 = \alpha\beta^2 \quad \dots (50)$$

Al igual que en la distribución beta, la función Γ se define como el número factorial de $\gamma - 1$:

$$\Gamma(\gamma) = (\gamma - 1)! \quad \dots (51)$$

Mediante iteraciones, fue posible encontrar los valores de los parámetros α y β que mejor dan forma de campana para el histograma en cuestión.

Los valores encontrados para α y β son 56 y 0,02 respectivamente.

Al aplicar $\Gamma(56)$ en la ecuación (51), se encuentra que:

$$\Gamma(56) = (56 - 1)! = 55! \approx 1.09305 \cdot 10^{22} \quad \dots (52)$$

Sustituyendo los valores en la definición de la distribución gama en (48), queda:

$$f(x) = 1.09305 \cdot 10^{22} x^{55} e^{-\frac{x}{0.02}}, \quad 0 < x < \infty \quad \dots (53)$$

Al igual que la función de distribución normal, es suficiente considerar un dominio en x en el cual los valores de $f(x)$ sean lo suficientes para que muestren la forma de campana antes preestablecida. El rango de $[0.6, 1.80]$ satisface lo anterior, en donde los valores de x (F.S.) obtenidos anteriormente están dentro de dicho rango.

La curva de esta función se muestra en la figura 39.

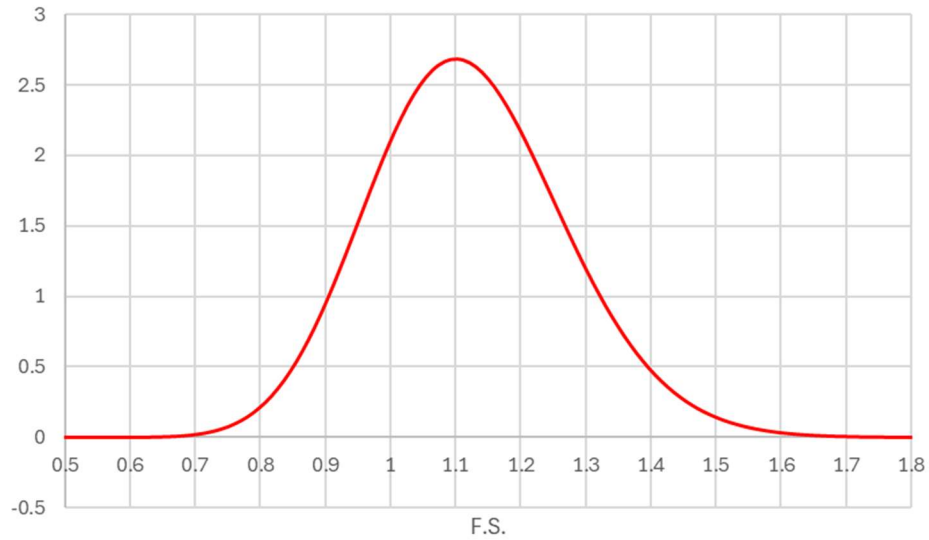


Figura 39. Gráfica de la función de distribución beta.

La figura 40 muestra la superposición simultánea de las tres funciones sobre el histograma. Lo anterior se logra multiplicando por 100 los valores de las ordenadas de cada función, garantizando así la proporción a la escala dentro del histograma.

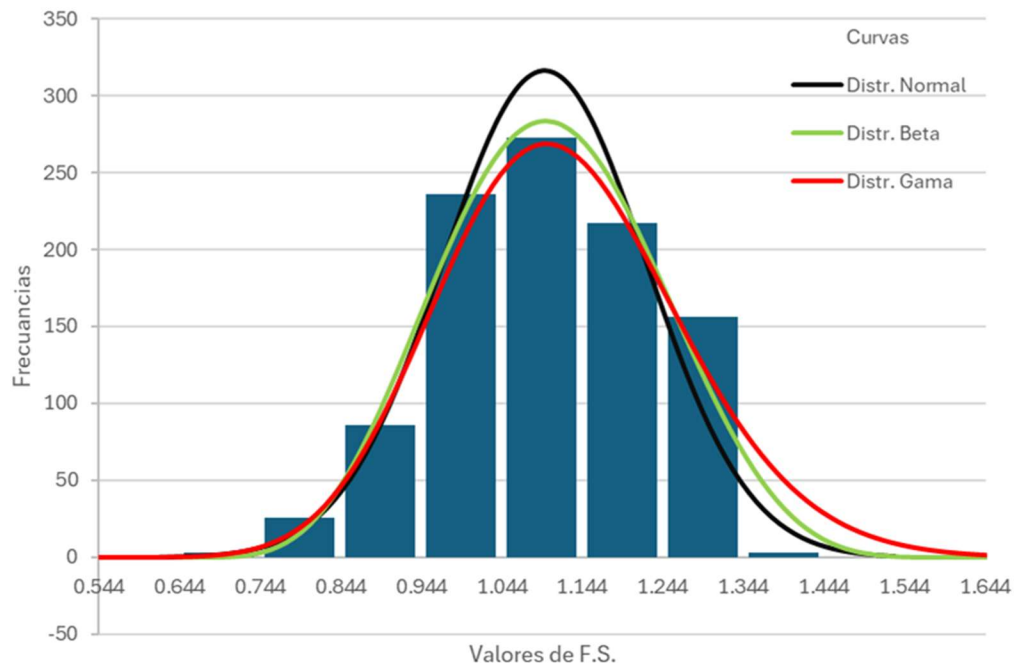


Figura 40. Curvas de densidad de probabilidad superpuestas en el histograma.

2.5.- FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD

Las tres funciones obtenidas convergen a la forma de campana que visualmente se supuso en el análisis de datos del histograma inicial. Se deben realizar pruebas de bondad para saber cuál de ellas es la que presenta un mayor ajuste del modelamiento del fenómeno.

Una prueba de bondad consiste en la realización de comparativas de aproximación entre los valores de las frecuencias observadas u obtenidas en un experimento respecto a las frecuencias esperadas que predice un modelo matemático (Walpole et al., 2012) y descansa mediante la siguiente ecuación:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \quad \dots (54)$$

Siendo:

- X^2 = El cuadrado del valor de la variable aleatoria.
- O_i = Valor de la frecuencia observada.
- e_i = Valor de la frecuencia esperada.

La ecuación (54) muestra que entre más cercanos sean los valores observados y esperados, el valor de X^2 tenderá a ser igual a cero mientras que, en el caso contrario, X^2 crecerá.

Para este punto, es necesario definir inferencias o hipótesis que poseen los atributos de dar validez a la función obtenida o un rechazo, representadas generalmente como H_0 (Hipótesis nula) y H_1 (hipótesis alternativa) respectivamente. Lo anterior se realiza con la prueba de chi cuadrada, la cual da un parámetro X_0^2 que sirve como valor límite de referencia que establece la veracidad del modelo: cuando $X_0^2 > X^2$ se acepta la validez del modelo, es decir, se acepta la hipótesis H_0 ; cuando $X_0^2 < X^2$ se rechaza la validez del modelo y la hipótesis H_1 es verdadera.

El valor de X_0^2 se elige en función del número de grados de libertad y un porcentaje de significancia; éste último valor indica la probabilidad de rechazar a H_0 cuando se es verdadera y muchos investigadores eligen un valor estándar del 5% (Walpole et al., 2012).

A continuación, se muestra el proceso de obtención del valor de X^2 de la ecuación (54) para la función de densidad de probabilidad normal, resaltando que es el mismo procedimiento para las 2 funciones restantes. En el anexo 1.3, se muestra la prueba para cada una de las restantes.

En la tabla 11 se muestran los valores de las frecuencias observadas en los resultados obtenidos de F.S., con la categoría correspondiente y el número de columna.

Tabla 11. Tabla de frecuencias observadas para cada categoría de F.S. para la función σ .

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (4)
1	0.644	0.744	3
2	0.744	0.844	26
3	0.844	0.944	86
4	0.944	1.044	236
5	1.044	1.144	273
6	1.144	1.244	217
7	1.244	1.344	156
8	1.344	1.444	3

En este punto, es clave la obtención del área bajo la curva de cada rango de las categorías acorde la función de densidad de probabilidad obtenida. Este valor servirá como un porcentaje de proporción para los 1000 resultados (recordando que el área bajo la curva de densidad de probabilidad siempre es igual a 1).

Para obtener el área de cada una de las categorías mostradas en la tabla 11, basta con obtener el valor de la integral de la función de distribución normal con los límites de integración iguales a los valores inferiores y superiores de cada categoría. Por ejemplo, para el caso de la categoría 4, se realiza la integral de la función de distribución normal con los límites de integración (0.944,1.044).

Para el caso de la categoría 1, se debe considerar el límite inferior $-\infty$ y el nivel superior en 0.744. Para la categoría 8 es posible considerar el límite superior hasta ∞ , siendo el límite inferior igual a 1.344.

Una vez obteniendo el área debajo de la curva o porcentaje para cada uno de los 8 rangos definidos (columna 4), cada uno de ellos se multiplica por 1000 para conocer el valor de las frecuencias esperadas que predice el modelo matemático. Los resultados se muestran en la tabla 12 en la columna (5).

Tabla 12. Tabla de frecuencias esperadas para cada categoría de F.S.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Area (4)	Frecuencias Esperadas (5)
1	0.644	0.744	0.0026	2.6
2	0.744	0.844	0.0202	20.2
3	0.844	0.944	0.0923	92.3
4	0.944	1.044	0.2258	225.8
5	1.044	1.144	0.3034	303.4
6	1.144	1.244	0.2327	232.7
7	1.244	1.344	0.098	98
8	1.344	1.444	0.025	25
			$\Sigma =$	1000.0

La prueba de bondad por chi cuadrada X_0^2 exige no considerar frecuencias menores o iguales a 5 tanto en las observadas como en las esperadas. A partir de los datos de la tabla 11, las frecuencias observadas en las categorías 1 y 8 hay valores menores a 5, lo mismo sucede para las frecuencias esperadas de la categoría 1 en la tabla 12. La metodología hace la recomendación de añadir estos valores a la siguiente o anterior categoría, según sea el caso.

En la tabla 13 se muestra la actualización de datos, dejando en total 6 categorías, una vez eliminadas la 1 y 8. En este punto, ya es posible aplicar la ecuación (54) y los resultados se muestran en la columna (6), donde la suma de los valores de X^2 es igual a 17.219.

Para obtener el valor de X_0^2 (chi cuadrada), se debe definir el número de grados de libertad v , siendo k el número de categorías, como se muestra en la ecuación (55):

$$v = k - 1 \quad \dots (55)$$

Tabla 13. Tabla de valores de X^2 con el número de categorías reducida.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (4)	Frecuencias Esperadas (5)	X^2 (6)
1	0.644	0.744			
2	0.744	0.844	29	22.8	1.686
3	0.844	0.944	86	92.3	0.430
4	0.944	1.044	236	225.8	0.461
5	1.044	1.144	273	303.4	3.046
6	1.144	1.244	217	232.7	1.059
7	1.244	1.344	159	123	10.537
8	1.344	1.444		$\sum X^2=$	17.219

Para un valor de $k = 6$, se obtiene el valor $v = 5$ con un valor de significancia $\alpha = 0.05$ (Walpole et al., 2012). Con las cifras de estos parámetros, se obtiene el resultado de $X_0^2 = 11.07$ según los valores en tablas y se realiza la siguiente comparación:

$$X^2_0 < \Sigma X^2 \quad \dots (56)$$

$$11.07 < 17.22 \quad \dots (57)$$

Se tiene como conclusión la validación de la hipótesis alternativa H_1 , es decir, la función de densidad de probabilidad normal obtenida no se ajusta con los datos obtenidos.

El procedimiento antes descrito es aplicado también en las distribuciones beta y gama y cada resultado se muestra en el anexo 1.3. La tabla 14 muestra un resumen de los valores obtenidos de la aplicación de esta prueba de bondad en las tres funciones, demostrando que la distribución de densidad de probabilidad beta es la que acepta la hipótesis nula H_0 , es decir, la función beta modela con mayor precisión el fenómeno en estudio.

Tabla 14. Resultados de la prueba de bondad en cada función de probabilidad.

	Distribución Normal (1)	Distribución beta β (2)	Distribución gama γ (3)
ΣX^2	17.219	8.713	15.644
X_0^2	11.07	11.07	11.07
H_0	Se rechaza	Se acepta	Se rechaza

3.- ANALISIS DE RESULTADOS

El impacto de las lluvias intensas suele ser significativo en la variación del F.S. El periodo de 10 días de duración de las lluvias fue elegido debido a que se busca reducir el impacto de lluvias de menor intensidad en periodos mayores, es decir, es posible alcanzar un estado comprometedor de saturación (parcial o total) que sea suficiente para generar falla, aunque no exista una lluvia intensa de por medio, por lo que la falla en la ladera podría ser generada por lluvias de menor intensidad con periodos largos. Es habitual que eventos climáticos como tormentas o frentes fríos no traigan consigo lluvias intensas en solitario, siendo comunes y con mayor presencia días con lluvias de intensidad media-baja. Lo planteado remarca qué tan determinante es una lluvia intensa para generar falla, ya que una lluvia de este tipo suele ser decisiva al provocar un escenario cercano a la saturación total en periodos cortos de tiempo cuando existe inicialmente saturación media o despreciable en el suelo causada por lluvias anteriores.

Como se mostró en las pruebas de cada uno de los escenarios de lluvia generados, se pudo notar el descenso abrupto de los valores de F.S. justo después de la aplicación de un día con lluvia intensa. A pesar de que el descenso era significativo, fueron los días con lluvias intensas a la mitad del periodo de tormenta y al final donde existió mayor frecuencia de encontrar valores de F.S. < 1 (falla inminente), en los cuales, los días de tormenta comenzaban con ligeras lluvias y el subsecuente aumento en días posteriores hasta valores intensos.

Es aquí donde se sobresalta el impacto de las lluvias menores y su significado ya que, al iniciar así, el suelo mantendría niveles medios de succión, por lo que el aumento de infiltración de agua gracias a lluvias mayores hace que disminuya este valor, con tendencia a la nulidad y la subsecuente falla. Lo anterior puede ser visualizado en las gráficas SWCC; al sufrir infiltraciones mayores, la succión disminuye a tal modo que, al continuar disminuyendo por lluvias intensas, los niveles de saturación aumentan junto con la humedad y, por ende, la presión de poros también lo hace.

Por otro lado, en las simulaciones hubo pocos casos donde los días de tormenta comenzaban con lluvias intensas y el posterior descenso, y fueron los que en su mayoría mostraron F.S. mayores a 1. Además de que son situaciones donde existe menor riesgo de encontrar valores de F.S. menores a 1, también son escenarios escasos en la naturaleza, ya que según lo mostrado en las figuras 27-30, una lluvia intensa no siempre es iniciadora de una tormenta, sino que su aparición es paulatina conforme los días de lluvia de media-baja intensidad avanzan. Al obtener los valores mínimos de F.S. (no menores a la unidad), estos mostraban recuperación mientras disminuía la intensidad de lluvias en los siguientes días, volviendo a estados de seguridad mayores. Estos casos demuestran que a pesar de que el suelo pueda almacenar agua, el excedente será drenado en días con baja o nula precipitación, llegando nuevamente a un estado de estabilidad aceptable.

A pesar de haber encontrado este patrón de comportamiento de los F.S., no es posible definir un umbral de intensidad de lluvias que asegure la falla, ya que se cuenta con la gran influencia de las lluvias de menor intensidad que crean humedades parciales y dejan el impacto de lluvias intensas como un complemento decisivo para alcanzar la rotura en la ladera en la mayoría de los casos, aunque la variación de la infiltración para el tipo de suelo en cuestión también suele ser influyente.

En cada día analizado, se obtienen superficies de falla que indican el posible volumen a desplazarse. Cada que ocurre la falla ($F.S. < 1$), existen formas idénticas de esta superficie tentativa al movimiento. La figura 41 muestra el área o perfil del trozo de suelo con desplazamiento de todos los casos con falla.

En esta superficie de rotura se puede apreciar el caso de falla superficial mencionado en el capítulo 1 y se confirma lo siguiente basado en lo expuesto por varios autores en el marco teórico:

- Se cumple el supuesto de una falla en zonas superficiales del terreno debido a que las lluvias intensas logran saturar casi la totalidad de esta parte del suelo gracias a la poca infiltración hacia niveles más abajo y la acumulación de agua en los niveles superiores.

- La superficie de falla muestra que el deslizamiento es inminente en la zona crítica de la ladera, es decir, en la parte con mayor pendiente e irregularidad geométrica.
- Al ser la geometría de la ladera irregular y propensa ante un deslizamiento, la metodología de Morgenstern-Price predice una superficie de falla recta (diferente a una falla curva) que la atenúa mediante una reducción de la pendiente en la zona crítica, dando como resultado una nueva geometría en el perfil con mayor estabilidad.
- El pronóstico de la superficie de falla, según la simulación, no es un gran volumen de tierra tentativa a ser desplazada, sin embargo, no queda exenta la provocación de estragos en la sociedad.

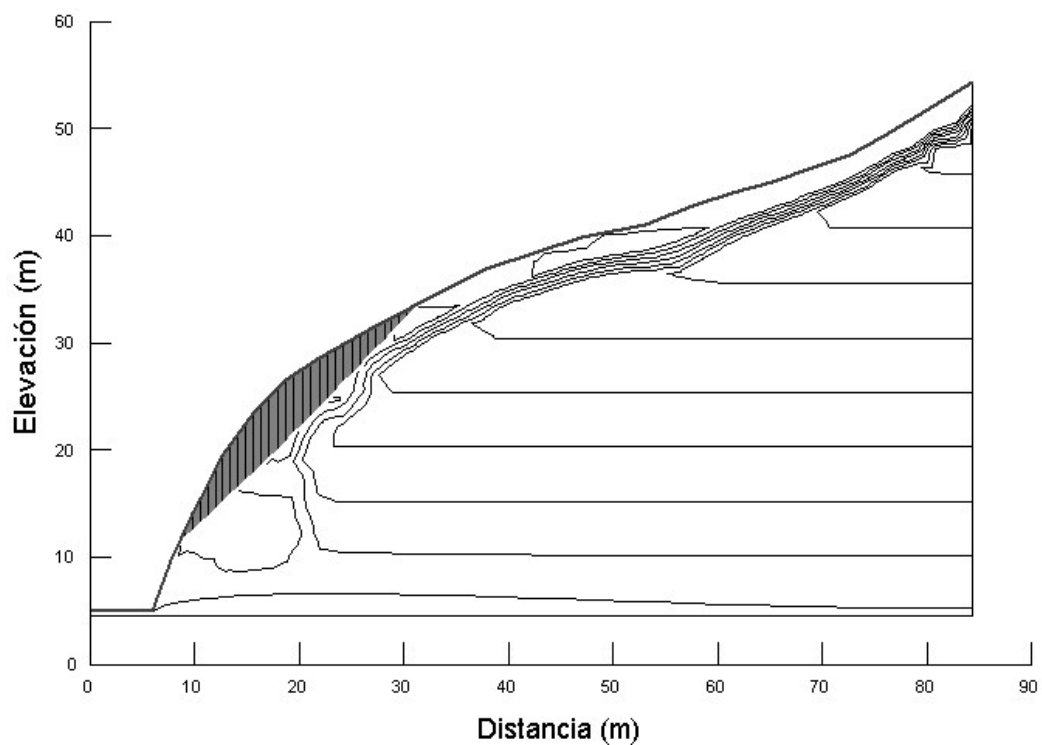


Figura 41. *Potencial superficie de falla con F.S. menor a 1.*

En apartados anteriores también se había deducido que la distribución beta fue aquella función que presentó mejor ajuste para los datos de F.S. obtenidos en las simulaciones y que permitiría realizar el cálculo de la confiabilidad.

El valor del área de la función beta obtenida es igual a la unidad, por lo que la probabilidad de que los factores de seguridad obtenidos se encuentren dentro del rango [0.644-1.644] en esta función es del 100%. Recae el interés de obtener la fracción del área bajo esta curva en el rango de valores donde F.S. es menor e igual al valor límite de inminente falla, a lo que es igual al cálculo de la probabilidad de que dicho parámetro sea menor o igual a 1.

$$P(F.S. \leq 1) \quad \dots (58)$$

El área está delimitada en el eje de las abscisas en el rango (0.644, 1), siendo también los límites de integración de la función.

$$P(F.S. \leq 1) = \int_{0.644}^{1.0} 5544 (x - 0.644)^5 (1.644 - x)^6 dx \quad \dots (59)$$

Al realizar la operación, se obtiene un valor igual a 0.2261 que indica la probabilidad de que la ladera presente un deslizamiento es igual a 22.61%. Por otro lado, la confiabilidad se refiere al complemento de este valor o la probabilidad de que F.S. sea mayor a uno, es decir:

$$C = P(F.S. > 1) = 1 - P(F.S. \leq 1) \quad \dots (60)$$

$$C = 1 - 0.2261 \quad \dots (61)$$

$$C = 0.7739 \quad \dots (62)$$

Se obtiene un nivel de confiabilidad o el porcentaje de seguridad de que la ladera no presente deslizamiento ante la exposición de lluvias intensas igual al 77.39%. Se discuten los resultados antes descritos a continuación.

MacRobert (2018) plantea la interrogante que cuestiona hasta qué grado de confiabilidad debe considerarse una ladera como segura o insegura. En las investigaciones realizadas por Chen et al. (2020) para la inestabilidad de varias laderas en una zona extensa de China, obtuvieron histogramas con varios rangos de valores de probabilidad de falla acorde al número de diferentes intensidades de lluvia. En dichos gráficos se coleccionaron valores que van desde probabilidades de falla muy bajas, hasta valores por arriba del 20% y en ellos se demuestra que, a menor intensidad de precipitaciones, los valores de probabilidad de

falla bajos eran los más predominantes, mientras que, al aumentar los valores de las intensidades de precipitación, existía mayor frecuencia de casos con probabilidades de falla mayores al 20%. Este resultado sirve como parámetro para definir el grado de peligrosidad de falla de la ladera de este trabajo y con lo obtenido en (59) se deduce que la ladera posee una probabilidad alta de presentar falla (mayor al 20%).

Otra sugerencia de categorización de peligrosidad de la ladera es tomando como referencia los rangos de valores propuestos por Ray y De Smedt (2009) que permiten etiquetar a la estabilidad de la ladera en estudio de acuerdo con el área mayoritaria presente, siendo ahora los límites de integración los rangos de dichas categorías; aplicando la integral de la ecuación (59) para cada uno, se obtiene la siguiente tabla resumen con los valores de las áreas.

Tabla 15. Valores de probabilidad de que F.S. esté dentro de un rango establecido.

Tipo de estabilidad	Rangos de Factores de Seguridad	Área (%)
Estable	$F.S. > 1.50$	0.052
Moderadamente Estable	$1.25 < F.S. < 1.50$	14.731
Ligeramente Estable	$1.0 < F.S. < 1.25$	62.606
Nula estabilidad (falla)	$F.S. < 1.0$	22.611
	Σ Total	100.00

Los resultados de la tabla 15 consideran una probabilidad del 62.606% de que el factor de seguridad para esta ladera se encuentre en el rango de 1 y 1.25. Bajo estas circunstancias, se puede caracterizar a la ladera con mayor probabilidad de que tenga una estabilidad ligera, haciendo necesaria la pronta aplicación de medidas de mitigación que permitan aumentar el valor de F.S. y quede cerca de la nulidad la aparición de desastres.

4.- CONCLUSIONES

4.1 CONCLUSIONES PARTICULARES:

- Se tiene una variabilidad significativa del factor de seguridad (del rango de 0.644 al 1.344) en una ladera crítica al estar expuesta a diferentes intensidades de lluvia.
- Se obtiene la confiabilidad igual a 77.39% la cual, bajo consideraciones de varios autores, es un nivel de seguridad inaceptable al poseer una probabilidad de falla mayor al 20%.
- Es posible caracterizar a la ladera con el alcance de estabilidad ligera que, bajo las recomendaciones de varios autores, es necesaria la implementación de medidas de mitigación.

4.2 CONCLUSIONES GENERALES:

- La hipótesis planteada resulta ser verdadera al haber determinado que la probabilidad de falla es mayor al 20%, lo cual hace más preciso saber bajo qué consideraciones es necesario implementar medidas de mitigación.
- Los resultados obtenidos concluyen un grado relativamente bajo de confiabilidad en laderas expuestas a lluvias intensas con condiciones críticas similares a las de este estudio, siendo necesario realizar estimaciones para saber qué medidas de mitigación son las más rentables de implementar cuando exista la expectativa de que en la zona se manifiesten lluvias con intensidades altas.
- La lluvia como principal desencadenante de ruptura en laderas suele ser de gran impacto y decisivo cuando se presenta de forma intensa. Sin embargo, lluvias de menores intensidades representan cierta influencia que mantiene latente las condiciones de humedad y en el comportamiento resistente del cuerpo de tierra a futuro.

- La teoría de suelos parcialmente saturados sienta las bases para comprender a detalle este estado de suelo que es el más común de encontrar naturalmente. Su aplicación junto con los procedimientos probabilísticos y deterministas, dan como resultado predicciones puntuales sobre el comportamiento de una ladera, pudiendo proponer medidas de mitigación o seguridad con mayor efectividad.
- El análisis por dovelas muestra ser un indicio enriquecedor para predecir la superficie de falla. La metodología de Morgenstern-Price, al ser considerada como precisa, pronostica una superficie con una geometría más realista que aquellas con formas establecidas.
- La obtención de la función de confiabilidad beta es la que mejor modela el comportamiento de la confiabilidad del sistema con base a la prueba de bondad empleada. Al obtener los 1000 datos para la creación del histograma, la forma converge a una forma acampanada, de la cual se intuye que, a mayores datos, esta forma se haría más definida.
- La metodología por confiabilidad aplicada en laderas críticas muestra ser un indicio enriquecedor que engloba los aspectos probabilísticos, estadísticos y deterministas, siendo necesarios para tener como resultado modelos matemáticos más precisos que logran la predicción de una falla.

4.3 RECOMENDACIONES A FUTURO

- Las condiciones impuestas en el trabajo reducen de forma significativa la complejidad para abordar este problema, sin embargo, estudios más profundos en cuanto al impacto del cambio climático que puedan provocar mayores estragos en el futuro, pueden contribuir a tomar prevención del peligro. De igual forma, estudios relacionados con la contribución resistente de la vegetación en una ladera podrían ser significativos para deducir realmente qué tan propensa es la zona superficial de una ladera a presentar falla, además de que esta medida es considerada por varios

autores como aquella que necesita menores costos de inversión en su implementación.

- El poseer tanto variables condicionantes como variables desencadenantes que dependan de condiciones de alta incertidumbre (en este caso, lluvias) abre paso a una perspectiva probabilista que, si bien no queda exenta de márgenes de error, es posible abordar la falta de certeza en cada una de dichas variables implementando nuevas y mejores técnicas que arrojen resultados más acertados, tal como el uso de la inteligencia artificial para la deducción de mejores modelos predictivos asociados a cada una (datos de precipitación, condiciones geotécnicas susceptibles a la falla, contribución de la vegetación en la disminución del peligro, etc.) que podrían enriquecerse de información existente a nivel local o global mediante el aprendizaje automático, permitiendo un análisis de confiabilidad en laderas a mayor profundidad, justificando así la toma de decisiones en el caso de implementar obras de sujeción o alguna otra forma de reducir el riesgo en los poblados cercanos a las laderas.

REFERENCIAS

- Alcántara Ayala, I. (1999). Landslides: ¿Deslizamientos o Movimientos del Terreno? Definición, Clasificaciones y Terminología. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*(41), 7-25.
https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112000000100002&script=sci_abstract&tlng=en
- Alcántara Ayala, I., Echavarría Luna, A., Gutiérrez Martínez, C., Domínguez Morales, L. & Noriega Rioja, I. (2008). *Inestabilidad de Laderas*. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Alcántara Ayala, I. & Murillo García, G. F. (2007). Procesos de Remoción en Masa en México: Hacia una Propuesta. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*(66), 47-64. https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112008000200004&script=sci_abstract&tlng=pt
- Alfaro Alejo, R., Mamani Gomez, J. A. & Pilares Hualpa, I. A. (2022). Mapeo De Inestabilidad de Laderas en Cuencas de Fuerte Pendiente Mediante el Enfoque de Talud Infinito. *Veritas Et Scientia, XI*(1), 112-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.601>
- Alonso, E. & Lloret, A. (1985). Comportamiento de suelos parcialmente saturados. *Revista de obras públicas, 132*(3280), 435-461. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/2117/192112>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa.
- Aristizábal, E., Martínez, H. & Vélez, J. I. (2010). Una Revisión Sobre el Estudio de Movimientos en Masa Detonados por Lluvias. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, 34*(131), 209-227.
<https://doi.org/https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/2413/3811>
- Ayala-Carcedo, F. J. & Corominas, J. (2003). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Banochea Pico, J. (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos (Tesis Doctoral)*. Universidad de Cantabria .
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/10803/10610>
- Barboza Mejía, A. M. (2024). *Factor de Seguridad en las Laderas del Sector las Lagunas-Chota-Cajamarca con Métodos Geotécnicos Y Software SLID (Tesis Doctoral)*. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.14074/7460>

- Bizimana, H. & Sönmez, O. (2015). Landslide Occurrences in The Hilly Areas of Rwanda, Their Causes and Protection Measures . *Disaster Science and Engineering*, 1(1), 1-7.
- Canavos, G. C. (1988). *Probabilidad y Estadística: Aplicaciones y Métodos*. Editorial McGraw Hill.
- Cervantes Pérez, J. & Sieron, K. (2015). Introducción. En L. Jiménez, *Inestabilidad de Laderas en el Estado de Veracruz: necesidades de investigación y búsqueda de soluciones* (pp. 5-8). El Instituto de Ecología (INECOL).
- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera, clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*(28), 73-89. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7404769>
- Chen, L., Mei, L., Zeng, B., Yin, K., Pikha Shrestha, D. & Du, J. (2020). Failure probability assessment of landslides triggered by earthquakes and rainfall: a case study in Yadong County, Tibet, China. *Scientific reports*, 10(16531). <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-73727-4>
- Corominas, J. (2000). Tipos de Rotura en Laderas y Taludes. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 1-17.
- Domínguez Morales, L., González Huesca, A. E., Muníve García, M. & Zaragoza Álvarez, A. (2020). *ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS COMO INSTRUMENTO PREVENTIVO EN EL MARCO DE LA GIRD* . Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Domínguez Morales, L. & De León Escobedo, D. (2021). Comunidades Amenazadas por Deslizamiento de Laderas. *Revista Ciencia, LXXII*(4), 26-37.
- García-Aristizábal, E. F., Aristizábal, E., Marín, R. J. & Guzmán Martínez, J. C. (2019). Implementación del modelo TRIGRS con análisis de confiabilidad para la evaluación de la amenaza a movimientos en masa superficiales detonados por lluvia. *Tecnológicas*, 22(44), 111-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1037>
- Garnica, P., Rojas, E. & Mora, R. S. (2010). Deslizamiento en San Juan del Grijalva, Chiapas . *XVI Reunión Nacional de Profesores de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, 75-79.
- Gobierno de Tlalnepantla. (4 de Septiembre de 2022). Caída de rocas en el cerro del Chiquihuite, Tlalnepantla, Estado de México. *Vecinos del Cerro del Chiquihuite: entre el miedo y la incertidumbre a un nuevo derrumbe*. Tlalnepantla de Baz, Estado de México, México: El Sol de Toluca.
- Hidalgo Montoya, C. A. & Pacheco de Assis, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en geotecnia: La teoría. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), 69-78. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242011000100008&script=sci_arttext
- Highland, L. & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook — A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325.

- Jímenez Almeida, M. N. (2019). *Propiedades mecánicas de suelos parcialmente saturados (Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
<https://doi.org/https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26290>
- Juárez Badillo, E. & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Tomo I)*. Editorial Limusa.
- Juárez Badillo, E. & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos. Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos (Tomo II)*. Editorial Limusa.
- Llorens, R. C. & Masquef, A. T. (2009). Movimientos de Ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*(17.3), 284-294.
- MacRobert, C. (2018). Factors of safety and probabilities of failure in geotechnical engineering: what do we mean? *Civil Engineering Siviele Ingenieurswese*, 26(3), 45-50.
<https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/329307904>
- Meza Ochoa, V. E. (2012). Suelos Parcialmente Saturados, de la Investogación a la Cátedra Universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(31), 23-38.
- Mogologolo, E. (2015). *Análisis comparativo de los métodos de cálculo de taludes más utilizados en suelos (Trabajo de Diploma)*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA, Facultad de Geología y Minería. <https://doi.org/http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2254>
- Montero, J. C. (2009). Diacronía de los movimientos de ladera. *VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Barcelona: ResearchGate. Barcelona
- Montero, J. C. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*(28), 73-89.
<https://doi.org/https://doi.org/10.59069/jshx1d12>
- Oliva González, A. O. (2015). *ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS. ANÁLISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO*. Grupo ITEICO Euroamericano.
- Pérez Fajardo, J. S. (2018). *Confiabilidad de taludes de suelo no saturado expuestos a precipitaciones pluviales (Tesis Doctoral)*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Poveda, G., Amador, J., Ambrizzi, T., Bazo, J., Robelo-González, R., Rubiera, J. & Vicente-Serrano, S. M. (2020). Tormentas y huracanes. Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos-Informe. *RIOCCADAPT*, 351-384.
- Ray, R. L. & De Smedt, F. (2009). Slope stability analysis on a regional scale using GIS: A case study from Dhading, Nepal. *Environ Geol*(57), 1603-1611.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00254-008-1435-5>
- Salazar, F., Oñate, E. & Morán, R. (2012). Modelación numérica de deslizamientos de ladera en embalses mediante el Método de Partículas y Elementos Finitos (PFEM). *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, XXVIII*(2), 112-123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.03.004>

- Sánchez, A. (7 de Abril de 2015). Obstrucción del cauce en el río Grijalva, Chiapas, México. *Tapón del Grijalva*. Chiapas, México: Menatoia.
- Sanhueza Plaza, C. & Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*, 12(1), 17-29. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>
- Tarback, E. J. & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Editorial Pearson.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S. & Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad Taludes, Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Revista Civilizate*(7), 50-54. <https://doi.org/https://riunet.upv.es/handle/10251/76781>
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Special report*(11).
- Venegas, P. (4 de Septiembre de 2022). *Vecinos del Cerro del Chiquihuite: entre el miedo y la incertidumbre a un nuevo derrumbe*. El Sol de Toluca: <https://oem.com.mx/elsoldemexico/mexico/vecinos-del-cerro-del-chiquihuite-entre-el-miedo-y-la-incertidumbre-a-un-nuevo-derrumbe-15400848>
- Walpole, R. E., H., M. R., Myers, S. L. & Ye, K. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Editorial Pearson.

ANEXOS

ANEXO 1.1

Simulación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Días de lluvia (mm/día)	1	122.9	58.9	20	30	0.1	78	5	22	3	8	20	151.9	60	5	10	20	6.8	11.8	20.7	0	5.4	12.5	0.9	7.4	257.9
	2	4.5	65	15	25	0.1	21.6	5	110	10	9	21	60	60	10	210	5	101.5	50.9	15.4	0	7.4	66.8	1.2	150	30
	3	60	14	12	98.6	0.1	23	315	67	11	300	30	20	20	10	80	9	5.6	0	181.8	21.5	320	0	54.8	0	0
	4	51	10	54	16	178	75	5	7	400	29.8	300	30	0	250	60	250	2.9	5.8	0	5.8	14.8	4.1	350.9	150	45.8
	5	2	151	237.8	90.2	151	60	5	10	5	10	20	10	100	10	10	16.9	50.3	0	0	0	0	205.8	4.2	29.7	0
	6	169.7	20	52	24	128.1	75	5	4	13	35	36	12	20	30	20	50	1.5	350	51.77	4	12	3.7	0	0	120
	7	20.4	30	23	52	0.1	0.2	5	37.8	2	0	5	5	50	95	30	1.1	5.5	7.8	6.13	20	0	0	20.7	0	0
	8	10	5	18	80	0.1	30	102.8	55	1	25	10	5	50	10	10	90	1.5	7.4	8.9	401.4	98	61.5	21.4	0.7	4.1
	9	7.5	10	17	20	0.1	45	5	98	0	20	5.8	10	30	30	20	10.1	251.4	20.4	1.2	5.1	0.2	100.5	0	0	0
	10	9.8	93.9	9	22	0.1	50	5	47	12.8	21	10	30	67.8	7.8	7.8	5.7	30.8	3.7	171.9	0	0	2.9	3.7	120	0
F.S.	1.124	0.813	0.970	0.980	0.961	0.998	1.224	1.161	1.013	1.178	0.944	1.108	0.959	1.023	0.981	0.969	0.951	1.009	0.937	0.875	0.99	0.945	0.932	1.164	1	
Día	día 6	día 5	día 5	día 7	día 7	día 4	día 10	día 3	día 4	día 3	día 4	día 10	día 6	día 10	día 10	día 6	día 10	día 6	día 5	día 8	día 4	día 9	día 4	día 9	día 3	

Simulación	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Días de lluvia (mm/día)	1	45.8	2.9	25.7	0	0	15.8	30.2	2.5	24.5	31.5	11.2	2	22.2	30.2	12.5	10.5	0	0	0.1	22.1	6.7	0	21.5	12	55
	2	44.5	369	21	0	420.7	20.5	15.2	10.5	12.5	60.8	50.1	210.5	41.5	60.8	12.9	4.9	2.6	0.2	2.3	12.9	22	2	89.8	35	350
	3	41.9	2.6	7.1	28.4	0	11.6	105.6	15.8	80.5	2.2	1.1	1.9	0	5.5	69	79.6	44.5	25	5.6	56.3	23	34	12.5	90	12
	4	49.6	0	10.8	123.7	25.4	70	5.2	66.5	5.5	0	80.7	20.2	0	89.8	5	23.4	12.9	7.3	14.5	3.9	0	0	78.5	12	12
	5	46.7	55.8	315	1.7	1.2	0	0	50.1	151.6	70.8	1.5	50.1	201.5	5.6	15	0	55.7	66.7	161.9	3.7	22.3	12	23.5	89	10
	6	47.6	1.2	17.8	2.6	0	12.5	1.2	20.5	12.6	71.5	8.9	2.2	5.6	0	98	88	0	2	25.4	44.5	67	213.9	12.5	55	0
	7	41.9	1.2	19.6	0.4	5	0.7	12.6	12.5	5.6	51.6	50	11.2	15.9	0	23	66.8	4.2	44.1	99.6	90.6	156.7	5.5	99.5	78	0
	8	49.3	0	23.8	0	0	298.6	66.2	90.6	13.9	20.6	90.8	10	60.5	123.5	1.6	3.9	187.5	213.5	14.6	2.9	13.2	0	41.5	12	45
	9	48.1	4.2	14.7	298.5	0.2	23.6	1.2	2.5	20.5	8.9	14.6	25	10	23.3	0.3	9.7	22.7	0	7.9	27.5	7.5	24	9	32	12
	10	42.4	20.9	2.3	2.5	5.3	4.5	23.5	16	1.1	10.2	11.5	2.2	0	14	101.5	5.5	5	0	2.3	7	22.5	58	12	14	0
F.S.	0.866	0.949	0.98	0.952	0.975	1.052	0.913	0.998	0.905	0.767	0.775	1.312	0.971	1.064	1.109	0.946	0.928	1	1.059	0.966	1	1.197	1.08	0.905	1.036	
Día	día 7	día 4	día 8	día 9	día 2	día 10	día 9	día 9	día 6	día 7	día 9	día 9	día 9	día 8	día 7	día 7	día 9	día 10	día 9	día 9	día 9	día 6	día 6	día 5	día 2	

ANEXO 1.1

Simulación	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
Días de lluvia (mm/día)	1	14	0	0	57	12	12	3	0	0.6	0	3.5	125.8	77.6	0	0	5.2	89	0	0	0.9	11	36.1	3	23	102.8
	2	2	0	0	63	66	55	51	89	0	22.6	12.5	12	5	45	214.8	2.3	104.4	0	10	21	14	8.9	89.6	0	0
	3	23	111.5	0	7.9	17	0	0	55	169	138.7	25	56	6.3	12	0	91.2	67	1.3	23	213	20	102.6	4.5	36	0
	4	15	23	56	0	0	98	12	23	18.9	45.9	0	120	55.6	104.6	0.6	56.3	0.5	0.5	0	0	98	21.3	0	113.8	0
	5	123	60	203	201	98	0	147	155.7	25	12	0	0	5.3	36	0	13.6	0.4	12.1	51	12.6	51	0	1.2	78.9	12.3
	6	23	59	1	44	5	0	17	12	0	60	52	0	0.6	0	115.9	1.2	1.2	0	126.7	0	99	15	77.2	12	25.6
	7	0	14	23	0	6	3	66	0	22	0	176	23	60	324.9	0	89.6	0	0	21	0	100	116.9	5.9	0	0
	8	0	5	0	12	8	74	71	68	93	0	61	14	2.6	0.6	0	0.4	0	41	31	51.7	61	0	0	45.9	0
	9	89	12	0	16	206	14	12	23	23	0	12	5	78.9	0.6	123.8	0.9	0	145	0	8	21	21	36.9	0.9	36
	10	12	3	0	3	0	16	0	11	66	15.7	0	2.3	14.6	0.7	0	4.2	0	105	0.9	12	58	0	63.9	12	210.8
F.S.	1.143	1.043	1.196	1.172	0.99	1.001	1.06	1.081	0.983	1.141	1.089	0.949	0.963	0.942	1.033	1.128	0.985	1.151	0.971	1.124	0.961	1.087	1.096	1.057	1.048	
Día	día 10	día 4	día 5	día 7	día 9	día 9	día 8	día 2	día 3	día 7	día 9	día 1	día 9	día 7	día 2	día 3	día 5	día 9	día 8	día 4	día 6	día 10	día 3	día 10	día 1	

Simulación	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
Días de lluvia (mm/día)	1	23.5	1.2	5.6	66.3	8.9	0.9	0	56	0	0	25	8	23	10	0.6	401	5	56	2	0	4	105	0	198	236
	2	12.5	12.6	3.1	251.3	10.6	14.3	0	23.1	12	98	12	98	14	136.8	0.9	0	4	110.6	23.6	5	8	19	15.6	0	0.1
	3	14.9	1.2	0.3	113.2	8.4	68.2	0.5	89.7	0.9	12.6	368	32	69	12	89.6	0	12	0	45	4	0	23	0	0	15
	4	56.1	2.5	16.3	23.5	139.4	0	6.3	12.5	98.5	0	78	78	4	89	23	0	32	0.9	44	15	69	6	0	0	48
	5	78.6	66.6	2.6	0	61.5	0.6	12.6	1.3	56.2	125	0	56	265.45	23	4	0	0	13	89.6	0	5	8	415	159	0
	6	66.3	91.3	8.9	0	0	78.6	412.8	0	12.6	12.5	0	15	101.2	47	0	0.6	106.7	14	0	0	0	9	0	0	0.9
	7	12.8	78.6	0	12.6	66.9	14.3	23	0	158.7	0.9	0	0	23	18.9	189.6	0.8	0	0	25.8	0	89	4	0	0	0.5
	8	21.7	14.6	1.2	0	1.4	14.2	0	17.4	36.2	23.6	15	17	0	57	58.9	12	15	89	14.6	45	45	0	0.5	0	17.7
	9	4.5	0.9	385.6	51.6	2	89.6	12.7	23.1	12.5	56.1	0	6	0	0	23.1	0	0	0	94.8	56	3	3	0.9	0	1.3
	10	3.6	10	56.6	0	1.3	18.6	0	0.5	0	12.3	0	3	2	15	0.2	0	0.7	0	47.8	315	13	215	0	148	0
F.S.	0.92	0.94	1.075	0.885	1	1.09	0.97	1.11	1.041	1.065	0.733	1.085	0.935	1.044	1.091	0.879	1.313	0.784	1.047	1.069	1.117	1.074	0.931	0.779	0.953	
Día	día 6	día 10	día 9	día 3	día 8	día 8	día 7	día 9	día 7	día 2	día 4	día 4	día 5	día 8	día 3	día 3	día 7	día 9	día 9	día 10	día 10	día 3	día 5	día 10	día 1	

ANEXO 1.1

Simulación	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	0	5.9	0.3	1.2	12	20	3	5	19.5	0	0.3	9.6	0	0.7	0.9	5.6	13.5	44.7	2	13.6	4.4	0	1.2	5
	2	0.6	5	13	0.8	15	5.7	55	0	2	7.5	98	15	0	0	17.1	12.6	0.8	26.5	98.8	3	141.6	12.5	0	55.5	6.6
	3	7	45	52	1.1	0	5	12.3	12	2	0	0	66	4.5	0	0	66.4	44.6	6.9	6.3	68.7	11.1	77	5	8.9	17.8
	4	0	0	41	2.6	0	0	0.8	0	8	12.5	22	0	33.6	126.5	26.6	5.4	5.6	24.5	1.5	4.5	6.5	24.5	16	1.2	9.6
	5	77	10	75	33	98	101.9	51.6	33.6	13	52	0	6.9	5.6	23.6	1.9	17.9	0	12.5	15.9	42	0	7.7	245.7	89.9	0.9
	6	45	21	0	0	0	51	20.3	68.9	25	0	10	88	215.6	33.4	5.6	70.6	78.8	0.4	0	12.5	0	0	16	2.3	0.8
	7	1.7	66	5	0	0.9	11.1	14.5	7.8	89	6	0	22	23.5	0.5	78.9	12.6	15.5	1.2	0	5	15.6	13.3	5	3.2	22.2
	8	0	5	1.5	78	12	0.9	1.2	22.3	12	101.1	0	5	8.9	0.9	33.6	10.9	10.5	88.4	0.8	0	0	66.6	0	0.3	99.9
	9	24.6	2	8	12	1.01	0	0	1.2	0	12	54	12	0	0.7	17.8	55.5	0	13.6	0.7	15.6	12.5	2.2	0	8	15.6
	10	0	0	0.9	2.3	9.9	0.8	4.5	10	5.6	12	0	66	9	1.9	0.7	45.5	0.8	14.5	1.6	0.9	5.8	0	0	4.6	8.8
F.S.	1.048	1.266	1.007	1.303	1.183	0.938	1.197	1.272	1.279	1.212	1.065	1.077	1.236	1.347	1.206	0.822	0.998	1.252	1.193	1.251	1.106	0.923	1.173	1.27	1.302	
Día	día 9	día 9	día 5	día 10	día 6	día 10	día 10	día 10	día 10	día 10	día 2	día 9	día 6	día 10	día 10	día 10	día 10	día 8	día 10	día 6	día 2	día 8	día 8	día 10	día 8	

Simulación	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	
Días de lluvia (mm/día)	1	3.3	0	33.8	5.5	125.6	256.1	12.5	0.3	0	5.5	0	1	22.3	0.9	2.2	1.5	9.8	10.2	50	2.3	98	0.7	5.6	22.1	6.8
	2	14.5	0	78.8	24.5	0.6	125.6	6.9	15.2	0	12.3	0	2.5	96	63	215.3	0.9	2.3	7.7	400	4.5	75	10.2	12.3	23.6	0.8
	3	33.6	2.5	6.6	22.3	12.3	55.2	14.4	2	0.9	90.6	11	12.3	51.2	0	0.7	78	4.4	80.6	0	10.1	66	17.5	0	161.5	33
	4	187.3	14.4	2.3	0	33.3	12.2	83.2	55.5	2.3	3.3	99.9	2.3	23.2	3.6	6.3	5.9	24	1.2	0	23.2	51.1	30.5	15	23.2	8
	5	25.5	2.3	12.5	25.6	2.5	1.2	55.2	2.3	0	37.1	15.3	13.3	20.1	0	9.9	12.3	2.3	2	0	78.8	42.6	41.8	23	5.6	7.1
	6	0	55.6	24.5	66.6	5.5	0.9	5.5	229.3	312	12.5	12.3	22.3	16.6	25	2.3	66	5.5	10.2	0	20.5	33.1	78.8	105	12.3	57
	7	0	98	0	12.3	15.2	0	3.3	2.3	3.3	0	88.5	14.2	14.5	154.6	98.5	1.2	21	6.6	0	12.6	21.1	30	0	2.3	0
	8	0.8	33.2	33.4	0	7.8	12.3	33.2	5	1.2	0	10.1	141	12.3	12.3	2.3	4.4	0	100	0	5.6	15.8	24	0	0.9	98
	9	0	5	5.6	0	0	0.4	12.5	1.3	0	0.5	1.3	1.3	19.6	0	0.2	87.3	5.9	2.3	0	4.5	8.1	18.5	0	0	0.1
	10	0	0.8	1.2	0	22.2	0.1	2.3	15.2	0	0.3	3.3	5.6	1.2	0	1.5	8.1	66.8	3	0	3.3	0.7	1.2	2.3	1.2	0
F.S.	1.195	1.073	0.95	1.254	1.215	0.995	1.265	1.084	1.093	1.224	1.13	1.201	0.932	1.152	1.05	1.119	1.348	1.004	1.089	1.248	0.935	0.932	1.14	1.07	1.212	
Día	día 10	día 9	día 10	día 7	día 1	día 1	día 10	día 6	día 10	día 3	día 4	día 8	día 5	día 9	día 2	día 9	día 10	día 10	día 2	día 9	día 7	día 9	día 10	día 8	día 9	

ANEXO 1.1

Simulación	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	16.6	0.7	0	16.4	0	14.5	400	11.3	6.9	0	0	6.9	6.5	0.8	0	0.8	11.9	0	0.8	0	0.7	0	7.8	3.3
	2	0	6	12	0	12.2	89	44.8	0	0.8	89	0	0	2.3	2.2	22.1	12	66.3	0	0	7.6	0	6.8	0	12.5	8.9
	3	68	201.8	301	44.5	98	0	5	0	5.6	45	0	101.2	12.5	56	2.3	0	0	0	0	5.3	24.5	45.8	0	56.6	78.1
	4	0	0	16	16.4	0.9	0	89.9	0	50	23.2	0	0	0.5	0	15	0	17.8	63.3	55.5	6.6	63.6	0	125.9	78.8	0
	5	0	0	0	0	50	111.6	5	0	1.5	0	55	8.8	15	14.47	6	78.4	8.5	68.9	66.6	78.6	89.7	101.9	0	88.9	0
	6	77	90.5	98.8	69.8	1.5	0	5	50	44	0	89	1.9	315.9	66.3	32.5	35	36.1	15	70.1	88.8	90.5	0	4.6	12.3	63.3
	7	0	13.4	16	16.6	89	0	62.7	0	0	67	0	36.5	0	0.6	104.8	2.5	0	0	50.1	17.4	12.3	0	0	0	0
	8	0	0.6	5	2.5	0.3	78	12.3	0	154	0	15.2	0	0	0.2	21.1	15.8	0	18.6	20	0	25.1	0	0	3.2	19.1
	9	80	5.5	7	0.7	0	0	5	20	0.7	3.3	0.8	0	0	25.3	0	0.8	0.5	2.3	0	0	12.3	12.3	4.5	1.2	1.8
	10	0	1.2	5.6	4.4	1.4	0	5	0	0.6	1.2	5.5	16.7	0	0	0	0.1	1.4	0.5	0	0	0	4.7	0	0	0
F.S.	1.226	0.998	0.995	1.263	0.915	1.081	1.139	0.644	1.062	1.166	1.227	1.069	1.274	1.266	1.151	1.271	1.265	1.114	1.181	1.246	0.992	1.17	1.042	1.248	0.92	
Día	día 6	día 5	día 4	día 8	día 8	día 2	día 9	día 1	día 10	día 3	día 8	día 3	día 9	día 10	día 8	día 5	día 7	día 10	día 10	día 10	día 7	día 10	día 4	día 5	día 10	

Simulación	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	
Días de lluvia (mm/día)	1	0.6	98.5	0.8	0.4	2.9	14.3	3.6	0.1	7.1	1.2	13.2	0	0.1	0	0	2.5	14.6	6.8	14.1	18.2	12.7	0.1	5.6	0	7.4
	2	5.5	0.8	17.1	14.1	5.5	6.6	5.5	0.2	14.2	8.1	24.1	21.4	1.2	0	11.3	2.3	63.2	22.3	20.1	31.2	12.3	0.7	12.3	11.7	14.8
	3	8.9	12.3	25.8	102.9	10.4	14.5	15.6	0.3	33.6	138.9	0.7	3.6	84.2	68.1	12.5	265.2	20.1	98.1	22.1	0	159	21.3	23.3	201.1	21.5
	4	0	101.4	0	8.9	53	55.6	13.6	0.4	99.8	55.2	31.2	44.5	14.3	0	15.6	1.6	15.1	15.2	23.6	71.3	44.4	0	69.6	0	55.8
	5	23.3	24.9	0.8	15.6	3.3	258.6	0	55.5	25.3	33.2	66.3	98.2	3.2	78.1	301.7	2.9	0	67.5	315.4	20	66.2	88.5	0.9	26.3	44.1
	6	99.1	0	12.3	0	78.9	12.5	33.6	66.6	0.3	21.9	163.4	25.1	88.9	4.7	14.2	101.2	0	10.4	24.4	0	27.3	201	72.8	22.5	0.9
	7	66	0.7	215.8	110.4	1.2	0	92.1	12.3	0.7	15.2	21.3	0	0	0.8	10	2.6	69.2	1.2	12.3	78.5	12.3	150.6	55.1	155.6	33.6
	8	0.1	0.9	0	15.3	29.9	0	12.5	0	50.1	4.9	0	12.2	7.9	44.1	2	33.6	1.2	59.6	15.1	21.5	0	0.8	12.3	12.3	21.7
	9	0	0.7	0	12.2	10.8	0	0.8	0	12.4	0.5	0	0.7	1.2	0.1	0	1.5	12.3	14.8	21.9	3.6	5.9	0.7	8.4	22.5	17.7
	10	8.9	7.1	1.5	5.5	0.8	3.6	0.7	8.9	1.1	0	0	10.1	0	0	0	0.9	0.8	11	0.9	12.2	14.1	0.4	3.5	0	162.5
F.S.	1.179	1.058	1.299	1.192	1.258	1.182	1.274	1.041	1.093	1.243	1.007	1.227	1.036	1.042	1.066	0.96	1.259	0.983	1.239	0.978	0.983	0.901	1.048	0.988	0.866	
Día	día 10	día 1	día 10	día 3	día 8	día 10	día 10	día 10	día 9	día 5	día 10	día 10	día 9	día 9	día 8	día 9	día 9	día 8	día 9	día 8	día 4	día 7	día 10	día 4	día 10	

ANEXO 1.1

Simulación	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	
Días de lluvia (mm/día)	1	6.7	0	12.4	1.2	10.7	13.2	0	4.1	1	0	1.1	4.4	0.9	0	0	13.2	1.5	13.3	0	0	0	5.8	15.3	2.2	12.3
	2	45.6	0	23.6	3.5	55.6	21	0	2.2	12.3	0	0.6	0	15.5	0	0	1.1	2.3	2.2	0	1.2	0	12.3	14.6	0	14.2
	3	0	92.6	88.7	14.5	145.7	5.2	33.3	3.6	23	0	1.2	17.4	22.3	0	12.3	99.6	4.6	105.3	88.6	21.1	0	66.5	17.8	28.6	25.3
	4	0.5	0	12.1	12.3	14.1	23.3	12.5	84.1	0	203.8	131.2	0	7.3	0	66.3	5.5	7.6	70.4	1.3	16.3	89.4	6.6	13.2	15.4	87.6
	5	55.6	55.2	33.5	14.4	0	55.1	71.8	0	0	0	102.5	33.6	215.8	0	0	89.9	8.4	21.3	53.6	201	78.8	78.2	20.3	26.5	14.1
	6	34.2	12.3	102.3	18.9	0	33.3	55.5	90.2	115.6	0	98.6	0	0	15.3	55.4	3.3	13.6	18.1	1.3	15.6	57.1	3.3	137.2	0	66.7
	7	78.2	14.5	14.1	0	0	215.5	0	12.3	0	55.6	0.9	0	23.2	58.9	0	12.3	99.6	9.3	99.9	2.2	1.3	50.2	55.2	101.2	0
	8	12.3	13.2	0.9	76.6	12.3	0	0	55.6	0	23.3	0.5	114.2	14.6	69.9	89.3	4.1	12.3	1.2	0	5.5	2.3	45.6	1.2	0	0
	9	2.3	2.2	10.8	14.2	4.4	0	12.3	12.3	24.5	12.8	12.3	1.4	4.4	1.8	0	2.2	4.7	0.6	0	0	0	23.2	0	0	14.1
	10	1.1	0	6.3	5.6	0.1	0	14.4	3.5	9.9	7.6	0	0.8	7	0.7	0	1.9	0.7	0.9	4.5	2.3	0	11.7	0	0	10.7
F.S.	1.188	1.066	0.951	1.274	0.953	0.758	1.18	0.94	1.279	1.134	1.088	1.302	1.19	1.269	1.212	1.195	1.268	1.218	1.081	dia 7	1.041	0.988	1.104	1.093	0.916	
Día	dia 7	dia 3	dia 8	dia 10	dia 5	dia 7	dia 10	dia 10	dia 10	dia 4	dia 6	dia 10	dia 5	dia 9	dia 10	dia 3	dia 9	dia 3	dia 4	0.843	dia 8	dia 10	dia 7	dia 8	dia 7	

Simulación	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	
Días de lluvia (mm/día)	1	5.5	0	16.5	11.9	8.3	0	0	3.3	0	0	3.3	15.5	0	4.2	0	10.3	9.8	0	11.1	3.6	8.9	18.6	0	1.3	1.2
	2	15.3	3.6	0	89.4	25.4	77.2	0	15.6	21.3	0	0	70.3	0	15.5	0	15.6	30.1	21.3	26.3	12.3	12.3	15.6	12.3	7.4	7.5
	3	34.5	104.2	0	78.4	51.3	0	12.3	22.3	88.6	0	23.3	55.2	15.3	99.4	21.3	55.2	89.6	29.6	20.1	20.1	0	23.2	7.9	6.3	15.2
	4	12.3	78.6	70.5	23.2	23.1	63.3	89.8	4.5	15.5	0	25.6	45	21.3	14.1	66.3	10.3	55.1	99.6	106.8	24.5	55.2	89.7	5.6	21.8	12.3
	5	20.1	49.6	65.1	0	4.6	0	0	11.3	6.6	5.6	21.2	33.3	14.4	23.1	0	2.6	12.3	77.7	44.1	0	44.1	40.1	40.7	44.2	21.3
	6	78.6	12.3	60.8	0	12.3	11.3	0	22	45.6	74.5	87.1	0	33.2	7.7	21.3	77.8	10.1	0	0	4.5	66.9	0	0	84.3	0
	7	77.1	0	23.2	14.5	69.3	5.5	22.3	56.3	0	23.4	12.3	0	81.2	11.1	0	4.5	0	0	89.6	74.6	12.3	0.9	78.1	12.3	20.1
	8	13.3	0	0	48.6	20.4	3.3	18.6	88.1	0	12.3	5	21.1	0	1.7	77	26.3	0	12.5	23.2	12.3	2.3	66.1	12.3	55.6	152.4
	9	0	0	0	54.1	0	12.3	4.5	36	6.3	55.6	1.2	3.3	0	0	0	33	5.5	21.1	0	25.3	0.9	23.1	14.1	0	0.7
	10	0	14.2	0	0	1.2	1	6.6	8.8	1.5	2.3	0	7.8	4.5	10.1	0	21.3	2.3	8.9	5.6	0	4.5	5.6	0	0	1.2
F.S.	0.808	1.077	1.082	0.999	1.234	1.173	1.127	1.099	1.265	1.017	1.273	1.207	1.265	1.247	1.251	1.128	1.172	1.025	1.026	1.24	1.155	1.155	1.258	1.098	1.014	
Día	dia 8	dia 3	dia 10	dia 10	dia 10	dia 2	dia 7	dia 10	dia 8	dia 9	dia 10	dia 10	dia 7	dia 3	dia 9	dia 10	dia 4	dia 9	dia 10	dia 10	dia 10	dia 10	dia 9	dia 8	dia 10	

ANEXO 1.1

Simulación	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	24.3	1.3	17.5	4.5	0	0	3.2	12.3	14.2	5.2	0	2.3	7.7	10.3	3.3	14.3	0	7.8	0.1	14.2	0	0	2.6	14.2
	2	0	89.3	0	0	13.8	23.1	24.1	0	33.1	23.4	14.2	3.6	6.6	1.5	5.3	93.2	12.3	17.5	23.3	7.2	11.3	0	3.2	25.6	23.7
	3	0	0.4	23.2	0	21.3	21.2	55.3	0	63.1	35.1	7.6	5.5	8.9	78.3	66.3	12.2	44.3	23.4	18.4	55.1	10.1	23	2.3	12.3	19.5
	4	55.6	5.5	55.5	23.1	2.3	0	0	6.3	0	101.1	3.3	9.6	15.6	98.4	21.3	14.2	22.3	37.4	154.3	0	66.3	3.5	88.4	44.4	151.4
	5	12.3	12.3	12.3	0.9	5.6	45.3	32.1	55.1	0	0	30	23.1	25.3	0	0	11.2	12.3	0	42.1	0	84.1	24.3	0	2.3	0
	6	0	88.2	45.3	1.2	241.3	2.3	0	89.1	55.1	14.1	17.4	27.6	24.1	0	152.3	0	121.7	0	0	201	121	75.6	56.6	0.7	0
	7	63.6	23.4	24.3	66.1	66.3	0	0	44.1	0	103.8	89.3	106.7	88.4	24.3	0	25.3	3.3	265	12.3	0.6	0	23.1	12.3	91.4	0.7
	8	101.2	0	152.3	0	24.1	112.4	89.1	0	0	0	45.2	42.1	12.3	12.3	0	88.7	9.6	0	0	4.1	0	55.3	44.4	41.7	17.1
	9	1.2	1.3	14.7	0	1.4	24.1	0	0	74.1	6.3	0	0	2.3	0	12.3	0	8.4	0	24.3	0	0	1.2	0	0	20.3
	10	7.7	7.7	4.6	1.5	4.1	0	0	0	0	10.3	0	0	1.2	0	0	10.1	21.3	14.4	0	0.9	12.3	0.7	4.6	5.6	0.4
F.S.	1.228	0.957	0.856	1.338	1.009	1.109	1.271	1.011	0.97	0.954	1.209	1.197	1.181	1.139	1.015	1.103	1.227	0.983	1.22	1.192	0.809	1.146	1.116	1.147	1.06	
Día	día 10	día 6	día 9	día 7	día 10	día 8	día 10	día 7	día 10	día 4	día 10	día 8	día 8	día 5	día 8	día 4	día 10	día 8	día 4	día 6	día 7	día 9	día 4	día 9	día 10	

Simulación	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	7.7	8.2	0	5.5	26.3	0	0.7	0	7.4	6.3	2.2	4.5	3.3	10.3	33.3	12.3	0.6	0.8	0.8	13.2	12	0.7	10.8	11.7
	2	12.3	0	13.2	0	10.3	101.2	0.9	0.5	0	17.1	7.5	14.2	0	16.3	11.4	25.6	29.6	9.6	17.4	18.3	24.1	0	3.2	13	16.3
	3	63.4	23.3	0	8	17.3	81.3	0.7	36.2	45.3	0	1.2	96.3	0	0	0.8	89.2	0	18.4	117.2	24.7	44.2	89.3	10.4	23	63.5
	4	4.6	97.2	0	12.3	32.6	12.3	125.6	1.3	0	0	63.4	53.1	28.4	63.1	18.4	0	152.3	0	56.3	37.9	66.5	2.3	24.5	351	16.3
	5	78.3	1.2	15.2	24.4	0	24.6	0	21.3	23.1	22.3	0	21.4	38.4	90.4	0.4	0	16.2	20.7	41.8	49.3	96.5	8.6	52.1	0	145.6
	6	100.1	6.3	85.4	84.4	78.3	10.1	0.7	55.6	0	11.4	77.4	0	44.4	0	157.4	0	0.9	44	30.7	85.6	25.1	7.2	315	0	28.4
	7	0	1.2	44.1	101.2	88.3	0.8	1.5	20	0	69.3	0.6	0	0	14.1	0	33.7	0.7	63.5	21.4	99.1	11	56.3	44.1	0	2.3
	8	0	56.6	0	0	0.9	7.1	6.3	210.9	87.4	8.6	11.3	30.4	0	0	0	0	78.2	3.6	14.2	0.5	5.9	77.6	26.1	0.6	2.1
	9	0.9	10.3	0	17.2	0.9	0.1	1.2	0.3	0	0.9	0	0	78.4	0	12.3	0	0	23.4	3.1	0.1	4.4	0.5	11.3	0.7	1.4
	10	0.6	8.2	1	0	1.2	0	7.5	1.6	0	4.5	0	0.5	0.3	0	0	0	4.3	0.7	0.7	0	1.2	1.2	6.3	1.6	0.7
F.S.	1.132	1.251	1.253	1.202	0.973	0.95	1.07	0.981	1.312	1.251	1.272	1.182	1.233	1.09	1.182	1.055	0.924	1.217	1.22	0.977	0.975	1.039	0.711	0.994	0.92	
Día	día 7	día 9	día 7	día 8	día 7	día 5	día 4	día 9	día 10	día 8	día 10	día 3	día 10	día 8	día 7	día 10	día 8	día 7	día 4	día 10	día 8	día 8	día 7	día 4	día 8	

ANEXO 1.1

Simulación	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	
Días de lluvia (mm/día)	1	0.7	15.2	0	12.3	15.3	6.3	6.3	0	13.3	14.8	0	20	5	25.3	1.2	0	4.4	101.3	3.3	24.3	0	0	9.6	0.7	7.8
	2	5	36.2	36.2	20.7	23.6	2.3	10.7	0	24.1	23.1	0	21.3	7	77.4	3.3	0	66	44.7	12.3	27.3	2.3	17.5	18.3	10.3	10.2
	3	55.2	7.4	0	41.1	0	9.6	11.3	0	85.6	20.1	0	12.3	13	14.1	22.3	88.5	2.6	0	53.4	98.6	0	0	4.3	12.5	14.4
	4	78.2	25.3	0	86.3	0	128.7	130.1	0	0.8	116.8	115.4	3.5	20	0	86.4	33	0	23.4	0	0	11.3	0	0	111.7	0
	5	0.3	0.8	98.6	0	63.5	6.3	0	98.3	6.8	20.3	23.2	144.4	400	0	1.2	45.2	0.1	0	0	0	0	50.1	0	24.5	52.3
	6	47.6	0.7	54.3	0	62.1	25.2	0	88.3	92.7	12.1	0.2	0.2	0	77.1	0.3	63.3	70.3	7.7	0.9	0	15.3	86.3	17.3	0.3	0
	7	2.3	163.7	22.1	23.1	66.7	142.7	2.3	21.1	0.5	0.6	0.8	0.5	0	2.3	55.3	1.2	0	10.6	55.6	42.3	3.6	315	120.3	0.8	0
	8	15.2	22.9	12.3	14.2	0	3.6	5.5	0.7	0.1	5.6	36.4	0.6	0	5.8	3.6	3.6	13.2	2.3	15.6	0	0.8	0	0	98.3	78.4
	9	2.9	3.6	0	0.8	0	10.6	0.7	52.3	10.7	17.1	14.2	3	13.2	7.7	7.3	4.4	0.3	63.1	55.7	22.1	34.5	0	0.7	13.2	12.3
	10	0.7	1.2	9.3	0.7	0	6.3	0.7	0	2.3	0	0.6	0.11	23.2	0	1	0.6	15.6	7.7	4.4	11.2	99.6	0	0	20.1	7.5
F.S.	1.02	0.943	1.025	1.098	1.052	0.997	1.278	1.065	1.017	dia 9	1.105	1.226	0.894	1.068	1.06	1.048	1.043	1.062	1.005	1.131	1.3	0.986	1.278	0.991	1.233	
Día	dia 8	dia 7	dia 9	dia 10	dia 10	dia 10	dia 10	dia 5	dia 8	0.924	dia 5	dia 9	dia 7	dia 10	dia 7	dia 5	dia 10	dia 9	dia 10	dia 10	dia 10	dia 10	dia 8	dia 10	dia 10	

Simulación	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	
Días de lluvia (mm/día)	1	10.8	11.1	0	0.7	7.5	8.6	50.2	0	6.2	0.6	0	0.6	52.2	10.9	250	0	12	9.6	11.8	0.9	10.5	8.6	6.3	0	1.1
	2	98.3	0	2.3	55.6	3.6	9.3	81.4	0	78.6	14.1	7.7	21.7	101.4	0.4	0	0	0.8	36.2	21.1	1.8	17.2	15.3	2.3	0	50.2
	3	3.6	89.7	15.3	12.3	77.3	0	0	16.2	0.2	0	6.2	0	214.6	60.1	0.4	9.7	90.2	0.9	20.1	11.9	26.3	221.5	99.2	400	20.1
	4	93.2	51.4	0	0.7	0	5.3	36.3	0	1.8	0	0.8	0	0	117.3	61.2	6.3	1.6	3.6	99.5	45.5	50.3	50.3	14.2	0	0
	5	0	0	66.3	1.7	0	37.6	0.9	85	112.5	33.9	2.3	31.7	0	1.1	21.6	12.8	63	89.3	12.3	2.3	87.2	2	20.3	0	88.6
	6	0	0	78.2	83.6	0	0	1.2	0	0	52.1	0	36.3	0	0.8	15.1	13	58.4	25.3	5.6	6.3	11.3	0	25.1	63.1	15.6
	7	30.4	63.4	0	44.1	106.7	0.9	15.2	0	0	89.6	8.9	0	23.9	0.2	0.8	0	0	51.3	120.3	67.9	15.3	15.3	48.6	30.2	63.4
	8	0	11.1	0	0.7	0	115.8	20.3	211.4	0	101.2	11.1	120.3	18.9	15.3	33.6	55.2	25.3	16.3	14.6	42.3	9.3	0	5.5	0	12.3
	9	0	0	19.6	0.1	12.7	0	11.9	0	0	0.3	85.2	0	11.2	2.6	21.7	63.5	15.6	20.1	19.3	6.3	1.2	17.4	7.8	0	30.4
	10	31.2	20	0	1.3	7.1	0	3.7	0	14.7	0.6	17.2	0	0.7	6.8	1.2	25.3	30.2	15.2	0.9	0.7	0.9	0	12.3	0.8	0.9
F.S.	1.023	1.158	1.224	1.224	0.962	1.267	1.14	0.938	1.206	1.115	1.261	1.246	0.831	1.259	1.065	1.19	1.176	1.112	1.018	1.104	1.045	1.13	1.117	0.997	0.969	
Día	dia 10	dia 4	dia 10	dia 8	dia 7	dia 8	dia 10	dia 9	dia 7	dia 10	dia 10	dia 10	dia 4	dia 4	dia 10	dia 9	dia 4	dia 10	dia 9	dia 10	dia 7	dia 10	dia 4	dia 10	dia 9	

ANEXO 1.1

Simulación	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	
Días de lluvia (mm/día)	1	20.3	0	20.3	0.9	5.3	6.3	0	10.4	0.3	6.3	5.2	2.3	1.3	6.3	20.3	15.3	7.5	1.6	6.3	1.3	0.9	8.4	1.1	0	15.1
	2	15.6	0	15.3	50.3	1.1	10.2	0	26.5	5.5	0	21.5	6.3	0.2	10.2	15.3	0	0.9	1.3	10.5	0.7	23.6	14.2	17.4	0.6	30.1
	3	20	0	30.3	31.2	20.1	12.4	63.4	0.7	20.3	36.4	0.3	60.3	62.1	60.3	60.1	0	5.6	0.8	63.2	44.8	13.3	63	99.2	30.2	0
	4	63.5	250	0	0.7	78.5	105.4	55.2	0.6	66.5	40.1	160	20.3	70.2	2.3	0	56.3	20.3	0.5	10.2	66.3	0.8	21.1	0	55.3	0
	5	0	43.3	0.9	114.8	2.6	0	0	2.3	87.6	35.1	0.3	6.3	9.6	21.3	0	89.5	0.8	202	101.2	6.3	155.3	78.2	0	0	130.1
	6	0	0	120.3	50.3	0	0.9	0.6	58.6	0	0.7	25.3	98.3	2.3	0.8	159.3	90.3	13.1	1.3	6.3	1.5	20.3	0	140.6	96.2	21.3
	7	106.7	0	30.2	0	162.3	58.2	0.3	75.6	0	1.3	63.5	1.2	87.5	20	0	15.2	156.2	0.2	0.3	56.6	11.2	66.3	21.1	9.8	0
	8	16.3	0	12.3	0.3	10.2	0	114.4	7.5	70.2	89.4	5.3	70.2	5.3	30.1	0	0.9	0	0.1	5.3	70.6	101.2	0.4	17.1	20.1	6.3
	9	11.5	0	0	0.8	0.9	11.4	0	0.6	6.3	12.3	1.2	0	0	2.3	0.9	1	3.8	0	0.4	0	3.3	0.7	0.3	1.3	4.5
	10	20.1	0	0.8	1	1.5	6.3	0.6	7.2	1.4	16.2	0.9	0.9	0.1	10.1	7.8	5.3	0	0.7	0.7	0.6	0.1	17.2	1.5	6.3	9.9
F.S.	0.944	1.209	1.062	0.995	0.928	1.138	1.282	1.306	1.174	1.046	1.167	0.962	1.034	1.207	1.282	1.122	1.22	1.076	1.13	0.911	1.22	1.131	1.123	1.266	1.218	
Día	día 8	día 8	día 10	día 8	día 8	día 10	día 10	día 10	día 10	día 10	día 4	día 10	día 10	día 10	día 6	día 10	día 9	día 8	día 7	día 8	día 6	día 10	día 9	día 7	día 5	

Simulación	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	
Días de lluvia (mm/día)	1	12.1	0	20.1	12.3	0	9.6	9.6	12.3	8.5	10.2	2.3	14.2	6.8	10.2	0.7	0	0.5	0.8	0.4	0.2	4.1	12	9.4	1.1	3.2
	2	2.3	6.2	14.3	55.6	0	4.5	6.3	5.6	10.6	0	15.6	0	12.3	2.3	1.2	1.6	32.1	3.6	15.2	5.5	10.4	3.6	1.2	20.3	23.1
	3	63.3	0	6.3	115.2	103.2	52.3	6.3	198.4	12.5	16.2	0	25	0.8	8.6	96.3	0.6	0.6	80	96	10.3	21.3	12.3	5.3	0.6	63
	4	0	0	1.2	24.3	3.6	1.2	98.6	26.3	78.5	96.6	63.3	24	0.9	96.2	5.5	0.4	3.6	12.3	0.6	12.3	101.5	6.3	68.4	5.2	10.2
	5	78.2	36.3	87.6	6.3	2.3	36.3	8.5	0.5	23.2	88.6	89.6	20.3	45.2	0	21.1	5.2	25.6	0.6	0	23.4	5.5	201.4	3.1	6.9	0
	6	0	24.3	63.1	0	78.2	23.3	78.6	16.2	63.3	6.3	0	0	0.4	80.2	13.2	6.6	12.3	96.3	0	126.2	23.4	0	1.2	21.3	20.1
	7	69.5	1.3	0	0	63.3	2.3	3.6	3.6	0.6	80.2	50.2	105.3	315	55.3	6.3	2.3	50.2	0.6	33.6	0.3	86.3	10.2	98.6	123.1	69.4
	8	0.3	85.4	0	0	0	101.2	54.2	5.5	5.5	20.3	20.1	0	23.1	12.3	78.5	70.2	26.3	0.3	0	14.2	12.3	0	6.6	12.3	50.2
	9	6.3	0.3	0	12.3	0	30.2	0	1.4	4.4	12.3	32.6	0	12.1	33.2	12.3	20.1	44.4	1.2	21.4	20.3	4.4	11.1	9.3	28.6	20.3
	10	12.3	0	2.3	7.7	0.3	14.3	0	5.6	3.6	3.6	16.2	4.5	4.4	2.3	5.5	23.6	2.3	0.5	0.1	7.7	8.9	6.3	1.1	0	14.2
F.S.	1.069	1.316	1.21	1.056	1.091	1.08	0.983	1.116	1.086	1.09	1.105	1.3	1.148	1.082	1.056	1.295	1.135	1.165	1.142	1.252	0.837	1.08	1.112	1.097	0.995	
Día	día 10	día 10	día 8	día 6	día 3	día 8	día 6	día 6	día 8	día 8	día 10	día 9	día 8	día 10	día 5	día 10	día 10	día 8	día 10	día 6	día 7	día 10	día 9	día 9	día 8	

ANEXO 1.1

Simulación	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	0	0	5	0	0	0.9	0	0	5.3	15.2	1.6	1	0	0	12.6	11.3	3.3	11	14.3	14.2	0	0.1	6.3	
	2	0	0	4.4	0	0	36.1	0	4.3	0	21.6	12.3	23.6	0	0	13.2	12.3	23.2	25.6	20.3	36.2	23.6	30.2	0	66.3	12.3
	3	0	0.6	5.3	0.9	23.2	0	0	16.3	10.2	33.6	36.5	0	0	0	12.5	0	0	56.6	0	70.6	89.3	90.2	50.3	0.6	74.3
	4	0.2	2.3	19.5	4.6	63.2	0	23.4	53.3	27.6	0	0	60.3	62.3	0	121.5	0	0	23.6	0	0	12.2	12.3	0.6	24.3	
	5	420.5	380	276.6	210.6	173.2	126.3	101.3	400.6	321.9	0	0	320	156.3	211.6	154.4	12.3	360	198.4	186.1	300	0	0	78.3	55.3	25.3
	6	0.5	5.6	20.3	9.6	23.3	0	20.1	68.3	33.6	378	215	28.6	50.3	50.3	0	70.6	0	0	12.3	66.6	69.3	100.6	7.1	0.8	12.3
	7	0	0.9	11.3	2.3	3.6	0	15.3	21.2	11.6	23.2	0	15.6	0	0	45.3	3.6	0	60.3	0	23.3	0	6.3	20.3	78.6	6.3
	8	0	0	0.6	0	0	0	0	0.2	0	0.9	0	0	0	0	30.2	98.6	63.3	0	31.2	0	80.2	70.3	88.3	23.2	98.6
	9	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.5	25.6	0	5.3	0	0.3	5.6	0	0.6	0.9	0	23.2	12.3	0	1.2	12.7
	10	0	0	0	0	0	36	0	1.1	0	1.3	6.3	23.2	12.3	16.3	0	2.3	0.6	0.1	5.3	0.8	0	0.5	0	15.3	3.6
F.S.	0.914	1.137	1.115	0.995	1.241	1.238	1.274	1.183	1.13	1.146	1.186	1.118	0.938	1.148	1.089	1.269	0.958	1.164	1.235	1.025	1.027	0.851	0.959	1.241	0.985	
Día	día 6	día 7	día 8	día 6	día 7	día 5	día 8	día 10	día 10	día 7	día 6	día 6	día 8	día 10	día 5	día 9	día 5	día 5	día 8	día 9	día 10	día 8	día 8	día 8	día 8	día 9

Simulación	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	2.5	0.5	0.9	0	15.2	1.3	0	6	14.3	0.8	0	14.9	16.2	5.3	0	5.3	11.3	0	0.9	10.2	3.3	1.1	10.2	1.1
	2	0	0	3.6	2.3	0	0.3	3.6	0	7	23.2	6.3	0	15.6	14.2	10.3	12.3	12.3	21.5	138.6	0	21.3	36.2	4.4	3.3	2.5
	3	78.6	88.6	0	100.2	89.6	22.2	9.6	23.1	10	0	21.1	0	58.3	55.3	0.9	0	150.2	312.3	103.4	99.6	68.2	1.2	30.2	0.9	74
	4	0	16.3	99.6	7.5	12.3	1.3	5.3	5.2	16.3	88.1	33.2	98.1	0	4	24.1	2.6	12.3	200.1	78.6	71.4	0	65.2	101.2	25.3	6.3
	5	0	12.3	24	15.3	78.3	89.3	62.3	14.1	114.6	63.2	41.1	31.2	45.2	77.4	16	0.3	25.3	106.3	68.2	55.2	70.3	0.3	51.2	111.3	61.3
	6	99.6	89.6	20.3	9.3	2.3	40.2	43.2	6	20.3	1.2	143.1	65.2	6.3	9.2	0	100.3	0.4	50.3	51.2	40.1	0	21.1	20.3	11.5	0
	7	0	8.4	121.6	150.6	24.3	0	21.2	32.1	12.3	153	0	15.2	9.6	1.5	18.2	0	169.3	24.1	41.3	25.3	0	0.2	14.2	0.4	66.1
	8	0	26.3	0	21.1	74.4	3.5	13.2	95.3	5.2	3.2	0	0.8	66.3	66.4	78.2	115.3	0	0	32.6	11.4	99.6	78.4	2.3	23.4	20.1
	9	60.2	6.9	0.2	11.2	0	15.2	6.3	6.3	6.3	0	6.3	0.7	12.1	0	14.3	0	2.3	0	16.2	3.3	0	0	0.9	0	14.1
	10	0.9	15.2	1.2	0.1	11.1	25.3	6	13.3	2	0	6.5	6.3	15.2	0.9	1.2	0	0	0	7.3	0.7	0	5.5	0.2	13.2	0
F.S.	1.102	1.109	1.06	1.065	1.092	0.981	1.144	1.038	1.268	0.99	1.14	1.065	1.168	0.991	1.274	1.201	1.001	0.988	0.884	0.997	0.917	1.231	1.248	1.253	0.907	
Día	día 10	día 3	día 6	día 5	día 3	día 10	día 10	día 10	día 9	día 7	día 9	día 4	día 10	día 10	día 10	día 8	día 8	día 5	día 7	día 7	día 8	día 8	día 10	día 5	día 9	

ANEXO 1.1

Simulación	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	
Días de lluvia (mm/día)	1	3.6	0.9	0.3	20.3	14.2	0.2	0	4.4	1.1	0	10.3	0.9	4	10	0	5.2	85.3	0	6.3	1.1	0	0	2.3	1.1	0.2
	2	1.1	2.3	0.5	33.6	30.2	2.3	0	21.1	8.4	0	2.3	0.6	10	20	10	21.5	0	0	0	85.3	6.8	2.6	3.4	8.4	9
	3	99.4	5.2	0	153.6	208.5	0.2	117.1	366	0	68.1	5.5	32.6	0	50	30	0.3	5.3	21.3	21.5	12	12.4	3.4	7.6	17.6	0
	4	0	12.3	0	0.2	2.3	27.4	0	0	0	0.3	0.9	50.3	15	100	70	160	15.4	135.2	135.2	5.3	45.2	60	120.1	63.4	2.3
	5	102.1	0	124.1	0.1	4.4	3.4	0	0	96.5	125.3	0	0	6	150	150	0.3	1.2	5.2	0	14.5	80.1	30.3	24.5	70.1	98.2
	6	0	55.6	0	0	0.6	93.2	98.3	0	44.4	0	0	6.3	156.3	23.3	250	2.3	0	0	17.2	3.2	58.3	9.2	6.8	22.3	73.5
	7	0	40.2	23.1	0	1.2	5.5	0	12.3	66.3	0	25	14.2	22	20.1	0	63.5	2.8	18.6	18.6	12	32.5	11.1	9.3	18.2	25.1
	8	36.4	33.2	66.3	22.1	3.3	8.9	7.7	4.4	1.2	12.4	63.1	14.3	9	14.2	0	5.3	3.63	63.2	0	3.3	5.6	2.8	3.1	5.3	11.8
	9	21.1	66.3	12.3	0	0.2	66.4	9.6	1.2	3.2	6.3	75.6	20.3	0	10.2	0.6	1.2	0	0.2	5.1	4	1.2	0	12.3	0	2
	10	14.2	0	4.4	0	4.4	44	1.1	0	7.8	5.8	14.5	0.3	12	3.3	0.9	0.9	0	0	8.6	1	0	0	0	0.2	0.1
F.S.	1.091	1.227	1.315	0.955	1.223	1.168	1.22	1.073	1.118	1.093	1.23	1.311	1.079	0.98	0.826	1.032	1.101	1.171	1.097	1.105	1.063	1.309	1.286	0.993	1.153	
Día	día 3	día 10	día 9	día 4	día 5	día 10	día 6	día 5	día 6	día 5	día 10	día 9	día 6	día 9	día 6	día 9	día 1	día 4	día 6	día 2	día 10	día 9	día 5	día 8	día 5	

Simulación	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	0	0.9	0.8	1.8	6.3	0	0.6	3.3	6.3	0	11.2	0.9	0	0	9.6	0	0	2.2	0.2	0	6.2	1	7.2	0
	2	2.3	10.3	3.1	10.5	11.9	4.2	1.1	8.7	9.3	17.2	3.9	10.2	6.2	7.21	4.3	8.1	14.8	13.2	14.7	6.1	7.1	4.1	2.5	6.3	1.2
	3	8.7	27.4	5.4	3.1	30.7	9.3	10.9	17.3	20.1	9.6	10.2	11.4	22	32.2	15.2	0	0	6.3	7.2	15.8	25.8	18.2	4.3	4.9	3.4
	4	10.3	120	34.2	5.1	98.1	58.5	69.4	101.2	98.6	81.8	18.7	2.2	76.3	81.2	150.4	45.3	63.2	48.1	3.3	79.7	47.3	91.1	112.4	141.6	86.4
	5	44.2	55.2	56.3	45.2	57.1	22.4	35.1	64.8	23.5	0	15.3	3.6	40.6	34.4	0	90.5	87.4	0	50.1	76.2	123.2	88.2	88.7	120.3	0
	6	21.9	13.5	26.3	60.3	3.6	7.6	16.2	30.4	5.4	14.2	154.7	114.2	23.8	0	41.2	43.2	41.1	23.1	100.2	18.1	28.1	21.3	35.2	0	21.6
	7	15.2	6.2	11.4	24.9	6.7	79.3	3.3	9.9	71.1	81.4	18.1	21.3	0.1	0	122.3	0	6.3	0	0	32.2	0	8.5	12.5	0	40.3
	8	0.2	2.1	1.1	4.4	1.2	2.1	15.4	0	0	0	3.2	0.7	0	23.1	0	0	11.2	36.3	0.6	0	0	0.8	0	12.5	0
	9	6.3	1	0.1	1.2	3.1	10.1	0	0.9	1.5	0.1	0.7	10.1	2.3	2.3	0	1.5	20.1	2.1	1.6	0.1	0	9.6	0	36.2	2.8
	10	0.1	0	3.2	0.8	4.4	0	0.8	5.2	0.9	0.7	7.1	0.3	0	9	0	0.9	0	0.9	17.2	0.2	0	11	1.7	1.2	0
F.S.	1.338	1.255	1.248	1.276	1.219	0.994	1.269	1.054	1.093	1.244	1.106	1.12	1.232	1.223	1.19	1.259	1.137	1.306	1.058	1.028	1.098	1.071	0.99	1.042	1.125	
Día	día 7	día 4	día 7	día 9	día 6	día 10	día 9	día 10	día 9	día 10	día 7	día 10	día 6	día 10	día 7	día 7	día 10	día 9	día 8	día 7	día 9	día 7	día 6	día 10	día 4	

ANEXO 1.1

Simulación	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	
Días de lluvia (mm/día)	1	0.8	0.5	0	6.1	1.3	0.3	10.5	9.2	0	0.2	4.8	2	0	6.3	0	2.3	5.7	2.5	3.2	1	0.5	3.6	0	10.3	3.6
	2	0.9	1.1	3.4	9.3	6.4	0	19.2	0.8	0	44.1	1.1	5	1	5.2	1	14.1	8	0.1	6.3	3	7.6	5	1	2	5.1
	3	16.9	13.8	14.5	19.2	21.7	2.1	13.1	2.6	0.5	11.1	36.2	8	9	24.6	2	15.3	15	0.9	4.1	5	11.6	8.6	15	5.3	9.6
	4	40.5	32.4	98.1	178.6	170.3	169.1	89.1	144.6	13.5	0	14.3	20	12	120	4.5	70	25.6	12	11.2	11.2	18.2	36.1	8.6	12.1	13.2
	5	26.3	113.2	74.3	56.3	58.8	99	64.2	72.1	27.1	36.3	21	70.1	50.2	30	16.3	36.2	61.2	48.7	25.4	50.1	51.3	55.7	12.4	0	25.6
	6	21.1	42.4	25.8	25.8	33.6	0.2	23.3	65.1	30.1	1.2	17.5	10.1	101.6	5	32.5	68.3	109.3	0	0	21.3	77.6	116.7	125.3	0	20.1
	7	9.3	8.3	11.9	11.9	0	41	7.2	0	231.1	117.1	50	15.3	40.6	131.5	10.1	41.2	42.7	78.4	0	11.1	81.1	30.1	40.6	101.7	40.1
	8	0	1.2	0.1	0.1	0.1	14.2	4.2	0	2.3	0	9	9.3	30.2	15.3	200	21.1	15.2	20.1	98.4	89.2	51.2	0	60.3	0	69.3
	9	0	0.3	4.2	0	0	3.2	14.3	0.4	4.4	23.2	0	7	2	8	12.3	0.6	0	0	70.1	25	29.3	14.2	0	60.1	0
	10	0.9	1.1	0.6	0	0.9	0.7	0	0.6	10.2	0	0	4.1	1	5	0.8	2.3	0	0.6	5.1	0.6	12	0.6	0	2.3	10.2
F.S.	1.301	1.04	1.164	0.938	1.029	1.049	1.087	1.032	1.235	0.926	1.262	1.217	0.984	1.014	1.198	0.991	1.225	1.303	1.191	1.265	0.96	0.999	1.202	1.06	1.137	
Día	día 8	día 8	día 6	día 4	día 6	día 8	día 9	día 6	día 7	día 9	día 8	día 10	día 9	día 10	día 10	día 7	día 10	día 9	día 10	día 8	día 7	día 10	día 8	día 10	día 10	

Simulación	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	0	2.6	2.1	1.2	3.6	12	9.6	10	6.3	1.4	13.6	2.3	1.1	6.4	12	12.3	0.6	10.2	15	0	0	3	1.2	1.4
	2	0	5	4.4	8.3	15.3	11.5	8.2	27.1	18.2	0	6.3	51.2	10.2	4.2	2.3	20.1	0	12.3	0.5	35	0.1	14.2	20.1	0	3.6
	3	2	11.2	7.5	18.47	20.1	0	152.3	0	14.2	0	63.5	21.4	29.1	2.2	41.2	5.6	0.3	205.6	50.2	50	0.2	80.1	61.2	0	0
	4	0	81.1	20.1	10	30.1	0.3	31.1	0.9	96.3	59.3	9.6	151.2	0	1.5	3.3	2.3	63.2	0.9	23.3	144.9	17.4	0.3	0	312.5	65.3
	5	3	12.3	25.3	71.4	116.8	0	51.2	60.2	30.1	41.2	17.2	0	121.4	300.2	1.2	0.6	23.1	1.2	60.2	23.3	256.6	12.3	0	0	70.1
	6	7	0.6	0	72.3	74.1	355.1	0	70.6	0.9	33.3	0	0	71.2	2.3	51.3	153.2	1.2	0	21.1	12.6	41.1	14.2	0	0	11.8
	7	20	100.1	112.3	0	0	0	20.3	12.3	70.9	9.6	0.5	0.6	0	6.3	12.3	23.1	300.1	0	0.6	0.2	0	0.3	2.6	12.3	0
	8	80.1	4	0	50.1	1.2	0	80.1	5.3	0	0.5	5.3	8.3	12.3	1.2	71.3	15.3	0	13.2	2.6	0	0	70.1	100.2	0.3	0
	9	74.1	30.2	0	3.2	10.2	0	12.3	0.5	0	9.3	56.3	40.1	8.2	0.6	2.3	30.2	0.6	0	11.2	0	0	0.5	0.6	0.6	23.3
	10	31.2	0	0	0.9	3.6	25.3	0	11.4	0.9	5.2	0	0.2	3.1	0.9	0.4	0.2	2.3	0	0.9	0.1	0.9	1.5	0	1.1	1.2
F.S.	0.981	0.962	1.058	0.938	0.969	1.192	1.142	1.038	0.973	1.211	1.261	0.99	1.201	0.962	1.29	1.246	0.829	0.917	1.059	0.986	1.327	1.087	1.138	1.316	1.262	
Día	día 10	día 10	día 10	día 8	día 8	día 7	día 10	día 10	día 8	día 10	día 9	día 9	día 5	día 10	día 9	día 6	día 9	día 3	día 10	día 5	día 10	día 10	día 10	día 10	día 7	día 6

ANEXO 1.1

Simulación	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	10	3.6	6.6	1.6	1.6	0.6	3.6	3.6	0.7	2.3	0.3	0	11.1	1.3	0.5	0	6.6	0.3	1.6	0	0.3	9.6	4.2	0.8
	2	50	5.3	6	0.6	1.5	0.5	12.3	35.2	9.1	14.6	15.3	5	26.3	0.6	0.6	3.6	12.3	2.3	25.3	18.2	8	21.3	18.4	9.3	12.3
	3	141.6	71.4	15.3	60.5	32.2	63.5	3.6	63.5	81.2	6.3	88.6	10	18.2	54.6	66.3	6.3	96.3	14.3	6.3	8.3	31	12.3	66.3	98.3	5.3
	4	23.3	161.3	63.4	1.2	182.3	12.3	78.2	0	12.3	18.2	14.7	63.2	17.6	0	13.2	96.3	74.2	105.2	63.3	105.9	23	61.2	20.1	0	61.2
	5	0.4	0	5.3	56.3	16.3	169.2	0	2.3	74.1	126.3	11.2	147.2	0	66.3	89.3	21.7	52.3	87.4	78.5	7	0	77.8	0.8	12.3	169.3
	6	71.4	24.5	70.1	23.5	2.5	0.2	0	121.5	21.3	63.1	99.6	0	0	11.4	25.3	0	21.2	63.2	48.2	7.6	0	0	136.1	203.2	6.3
	7	0.3	36.2	153	76.6	63.6	0	89.3	6.3	63.5	4.4	2.3	0	100.6	89.2	71.6	88.3	0.6	54.2	1.2	96.3	0	120	25.3	32.2	74.2
	8	6.5	14.1	14.2	0.9	0.6	13.2	3.6	14.2	0	5.2	2.6	51.2	3.6	14.2	6.3	0	4.5	24.1	3.6	6.3	40.8	3.6	14.1	12.9	1.2
	9	1.2	0.5	0.2	12.3	0.9	0.6	1.2	0.6	0.6	6.3	92.5	3.6	14.2	0.6	1.5	0	0	14.3	5.5	0.2	88.7	14.2	1.2	5.2	3.6
	10	6.6	0.3	0.3	0.7	1.4	5.5	1.5	0.9	0	9.5	11	6.3	14.4	11.8	0.6	0.3	0	3.6	1.4	1.6	1.3	1.1	1.3	7.1	6.3
F.S.	1.068	0.919	1.017	0.939	0.853	0.933	1.11	1.264	1.21	1.029	0.934	1.242	1.27	0.974	0.935	1.151	1.105	0.827	0.997	1.023	1.212	0.837	1.071	0.998	0.932	
Día	dia 9	dia 8	dia 7	dia 9	dia 7	dia 6	dia 10	dia 9	dia 10	dia 10	dia 9	dia 5	dia 10	dia 9	dia 9	dia 4	dia 4	dia 10	dia 10	dia 10	dia 10	dia 7	dia 10	dia 8	dia 6	

Simulación	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	
Días de lluvia (mm/día)	1	3.6	0	2.3	7.6	3.8	8	0	7.6	7.2	4.5	0.6	1.6	0	3.6	21.5	0	15.2	15.2	12	0	3	20	0	11.3	5.4
	2	4.7	0	0	0.8	11	30	16.3	4.4	6.3	0	3.3	1.1	35.8	15.2	13.5	0	0.4	23.5	60	0	25	70	0	30.7	15.6
	3	80.2	71.5	63.5	53.2	23.2	121	50.2	58.6	17.8	20.7	140.6	201.7	0.9	23.8	5.2	55.2	0	284.5	2.5	75	56.3	56.2	0	198.6	141.4
	4	9.1	20.1	14.1	171	150.6	47.3	0	215.6	56.3	63.2	0	0.5	94.7	150.4	300.5	400	0	0	164.7	20	100.4	2.3	70	41.2	2.3
	5	12.9	66.8	101.2	0	0	15	0	0	93.6	184.6	0	0.6	10.2	0	0	15.2	415.3	0	18.4	180	30.8	0	23.6	20.4	0
	6	156.3	15.3	2.5	0	211.9	80	41.2	55.6	0	16.7	0.3	0.9	0	14.1	0	0	0	0	55.7	41.2	0.3	124.5	21.1	14.2	0
	7	0	90.6	53.8	26.3	0	0	177.6	31.2	0	0	163.2	102.6	39.2	96.3	158.6	66.5	0	0	0.6	0	0.1	0	0	0	41.2
	8	32.1	0	23.2	16.2	0.9	0	3.6	0.9	12.6	0	0.2	0.2	3.6	0	0	2.3	0	14.1	14.2	0	23.3	0	23.5	16.2	0.3
	9	14.2	0	0.9	0.2	6.3	5	0	0	3.6	1.2	3.6	0	6.3	0	0	0	23.2	23.2	0	21.5	30.2	1	14.2	14.2	23.2
	10	7.1	0	1.5	0	1.4	10	0.7	0	7.1	1.1	4.1	0	1.4	0	0	0	0	0	0	3.3	2.3	4.1	13.5	0	2.5
F.S.	0.976	0.98	1.003	1.203	0.996	1.183	1.202	1.036	1.11	1.248	1.27	0.969	0.917	1.07	0.978	1.007	0.968	0.958	1.011	0.996	0.914	0.889	1.266	1.034	1.22	
Día	dia 6	dia 8	dia 10	dia 8	dia 9	dia 10	dia 10	dia 9	dia 7	dia 5	dia 10	dia 4	dia 9	dia 7	dia 7	dia 4	dia 5	dia 9	dia 7	dia 6	dia 10	dia 6	dia 10	dia 8	dia 3	

ANEXO 1.1

Simulación	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	7.1	9.3	1.1	2.3	0	12.3	0.3	0.6	0	5.2	2.3	0.3	10.2	6.3	0	21.5	3.6	10.4	1.1	2.3	13.2	12.1	0	4.3
	2	10.3	10.6	16.2	0	10.6	0	21.3	12.3	0	0.9	11.1	25.3	12.3	70.5	19.3	0	2.5	11.5	3.6	6.3	5.6	11.2	11.4	0	7.1
	3	0	0.6	1.3	5.2	3.6	50.6	66.3	21.6	6.3	21.3	0	51.2	23.5	2.3	15.3	96.5	11.3	8.8	9.6	23.7	11.2	10.5	96.5	63.5	8.6
	4	21.3	158.9	121.6	14.3	201.6	0	0	21.3	16.3	102.6	66.3	23.3	23	23.2	63.3	3.6	17.7	6.3	3.6	14.2	1.3	21.6	88.2	0	12.5
	5	315.5	41.7	56.2	55.2	66.1	66.3	51.3	231	101.5	63.3	52.3	4.5	89.2	0.6	55.2	88.7	75.8	14.2	14.5	5.5	98.3	104.6	24.3	55.2	44.1
	6	62.7	0	6.3	23.7	0	0	78.6	32.2	51.2	23.5	98.5	161.3	1.4	71.5	2.5	14.1	5.2	107.4	10.4	30.9	55.3	33.1	11.4	102.3	23.6
	7	12.3	0.6	10.6	126.3	0	70.2	10.3	12.3	12.3	99.8	0	6.3	111.2	0.6	96.5	3.6	42.1	6.3	55.6	80.6	12.3	11.1	13.2	0	136.5
	8	0	3.3	0.3	0	0.6	13.2	0	0.7	0.5	14.2	0.4	40.3	6.3	125.3	0	125.3	63.4	9.6	71.4	121.5	3.6	2.3	23.1	0	0
	9	0	0	0.6	3.6	1.6	15.1	0	0.6	15.3	5.5	4.2	1.1	21.4	0	0	3.6	7.7	7.4	0	0.9	2.3	2.3	0.7	0	12.3
	10	0.9	0.1	1	13	1.3	3.6	0	1.2	0.6	1.5	63	4.4	2.3	0	6.3	1.5	7.9	5.6	1.4	0.1	1.1	5.1	1.1	0	6.3
F.S.	1.082	1.042	1.229	1.261	1.19	1.084	0.998	1.27	1.271	1.076	1.09	0.87	0.8	0.928	1.024	0.987	1.063	1.271	1.315	1.029	1.226	1.26	0.989	1.298	1.294	
Día	día 10	día 4	día 4	día 9	día 5	día 10	día 8	día 5	día 10	día 9	día 8	día 9	día 8	día 9	día 10	día 6	día 8	día 10	día 10	día 8	día 8	día 10	día 7	día 6	día 7	

Simulación	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	
Días de lluvia (mm/día)	1	9.3	6.3	11.4	10.4	6.3	10.6	9.6	3.6	0.6	12.3	2.3	5.3	16.2	15.2	5.3	3.6	0.5	11.4	5.8	5.1	9.6	6.3	8.1	10.4	14.2
	2	11.4	21.3	12.3	9.5	14.3	15.3	18.4	9.6	14.2	1.2	4.5	6.3	10.5	14.2	6.1	9.3	9.3	12.3	7.4	6.3	17.4	12	4.2	5.3	10.4
	3	15.3	51.2	10.7	7.4	11.2	11.7	17.6	8.4	23.2	0	6.3	6.3	9.8	10.9	10.7	5.3	26.5	16.7	9.6	10.9	16.5	19.2	3.6	0.5	21.4
	4	23.2	98.3	5.3	1.1	74.1	26.3	3.6	50.6	31	85.6	4.4	10.5	0	6.3	15.4	17.2	16.5	1.1	10.7	5.3	20.5	17.1	14.2	21.1	20.6
	5	147.3	88.1	4.3	88.4	103.7	50.2	116.3	98.4	50.2	98.4	325	0	14.5	4.4	3.2	3.6	151.4	21.4	13.2	20.1	156.5	196.2	71.4	0	14.5
	6	14.3	12.3	88.5	77.1	0	115.2	0	66.2	65.3	87.2	23.4	21.3	8.6	9.6	5.2	10.5	3.6	161.5	165.8	198.4	21.2	24.1	45.5	56.2	211.7
	7	14.2	1.2	96.3	31.6	0	24.1	9.6	12.3	47	3.6	12.4	16.8	157.8	198.4	102.5	146.5	10.5	20.3	23.1	14.2	10.4	14.2	89.5	156.8	6.3
	8	0.5	5.3	47.8	15.2	12.3	0.6	7.5	1.5	20.1	1.2	4.4	256.3	13.2	14.5	3.6	14.2	2.3	14.5	14.2	23.6	11.7	10.5	0	0	5.3
	9	6.3	6.5	13.1	3.5	6.5	9.3	5.3	0.6	7.5	0	1.2	1.2	3	2.5	0	3.6	6.3	6.3	1.7	14.2	0.6	5.3	4.1	0	14.2
	10	1.4	1.1	1.5	4.4	2.4	7.4	7.9	8.2	1.4	0	3.2	3.5	1.4	0	14.2	6.3	1.1	14.2	5.3	3.5	7.1	6.5	1.4	14.7	3.6
F.S.	0.817	0.951	0.999	1.147	1.175	1.132	1.259	0.998	1.027	1.08	0.95	1.093	1.086	1.011	1.297	1.157	1.167	1.162	1.226	1.125	1.107	1.149	0.906	1.188	1.063	
Día	día 6	día 7	día 8	día 10	día 6	día 7	día 10	día 8	día 9	día 10	día 6	día 8	día 10	día 7	día 8	día 10	día 5	día 10	día 6	día 10	día 10	día 10	día 9	día 9	día 7	

ANEXO 1.1

Simulación	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	
Días de lluvia (mm/día)	1	5.6	11.2	1.1	0	5.2	6.3	3.3	0	13.2	7.7	0.9	8.6	14.3	4	6.8	6.3	6.2	2.3	1.3	6.8	0.2	8.3	0.5	0	9.3
	2	14.5	5.6	2.3	10.3	15.2	18.3	21.5	12.3	15.2	10.2	11.4	10.5	23	12.3	11.9	3.3	2.6	1.4	21.1	2	6.3	16.2	1.6	8.3	8.3
	3	11.5	14.2	25.4	69.3	21.4	24.3	0	26.5	23.2	23.2	23.1	16.3	0	24.1	17.2	21.4	14.3	0	69.5	21.6	69.3	81.6	6.3	10.5	0
	4	20.9	13.2	89.6	78.2	14.2	15.2	104.3	98.6	102.3	18.4	96.3	15.6	27.3	33.2	13.6	15.3	401.2	15.2	4.3	113.6	70.1	0.6	20.5	9.6	96.2
	5	140.6	215.3	12.5	26.3	231.7	157.1	0	0	0	2.5	8.1	121.3	52.3	138.2	147.3	56.2	0	15.8	71.2	53.2	0.6	20.1	88.2	82.5	101.2
	6	52.3	12.3	65	0	50.2	41.1	50.1	0	69.3	162.2	18.2	14.7	126.3	20.7	24.3	121.3	0	23.6	1.2	32.1	56.3	101.6	41.3	4.9	0.3
	7	12.3	11.7	70.1	25.3	12.3	0.2	23.6	67.5	45.2	0	52.2	17.6	20.3	18.2	20.8	29.3	32.6	0	80.6	0	13.6	0	96.3	0.2	17.2
	8	0	10.9	0	0	6.3	12.3	19.3	0	0	0	88.2	15.3	14.3	0.6	14.1	21	0	321	3.6	6.2	6.3	0	0	0.2	0.6
	9	12.3	13.2	0	14.2	2.3	5.3	15.2	60.3	0	16.2	0	2.5	5.3	0.9	17.3	12.8	0	40	5.6	0	0	12.3	6.3	14.3	5.3
	10	6.5	5.5	0.6	1.3	1.1	2.1	13.2	23.2	0	23.1	0.5	6.3	1.6	4.2	2.3	6.6	14.2	1.3	7.2	0.8	0.5	6.3	1.5	2.3	1.3
F.S.	1.006	1.192	0.877	0.958	1.167	0.965	1.266	1.252	1.129	1.123	0.931	1.274	1.206	0.975	0.984	1.152	0.99	0.84	0.994	1.129	0.982	1.137	0.831	1.269	1.171	
Día	dia 6	dia 5	dia 8	dia 10	dia 10	dia 7	dia 4	dia 9	dia 9	dia 6	dia 8	dia 5	dia 7	dia 8	dia 10	dia 7	dia 4	dia 9	dia 9	dia 10	dia 8	dia 9	dia 8	dia 10	dia 5	

Simulación	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	
Días de lluvia (mm/día)	1	5.3	9.6	9.3	17.1	5.7	0	7.3	6.3	6.3	17.2	0.3	1.3	5.5	1.1	3.3	3.6	3.3	9.3	1.2	1.1	0	3.6	0.2	1.1	0
	2	15.3	4.2	18.4	23.1	14.1	3.3	14.7	9.3	96.3	0	1.2	5.2	6.3	2.3	11.1	0	10.2	10.3	4.4	15.3	5.3	5.6	7.5	15.3	0
	3	41	6.3	138.2	152.3	23.1	23.6	37.3	14.2	1.5	0.2	0	0	0	12.3	6.3	15.2	25.3	15.3	3.6	3.6	0	14.5	3.6	98.3	5.3
	4	53.2	50.3	6.3	9.6	12.3	33.5	0	0.8	9.3	0.3	0	0.5	0.9	25.6	0.3	0	9.3	121.5	88.2	12.3	96.3	6.3	56.3	12.3	10.4
	5	2.3	70.6	17.2	4.2	1.3	1.2	105.8	1.4	85.1	23.6	189.3	121.6	98.4	106.8	0	65.2	89.6	0.3	9.3	78.3	0	201.4	63.5	71.1	301.2
	6	161.2	16.2	156.3	204.6	47.1	41.2	36.5	98.6	6.3	78.2	0	0	2.6	21.3	201.5	1.2	1.2	6.3	3.6	0	0	3.6	41.3	17.3	15.2
	7	20.5	5.3	0.6	6.3	119.8	0	0	56.2	61.6	1.4	21.3	13.6	25.3	15.2	12.3	78.2	6.3	78.5	104.6	98.3	100.4	63.4	4.4	0	1.4
	8	11.3	65.2	11.5	18.2	15.3	60.3	25.3	2.3	5.3	0.3	3.2	3.6	8.2	0	0	0.3	2.3	12.3	23.1	3.6	0	12.3	20.3	80.3	8.8
	9	0.6	2.3	16.3	14.1	3.6	2.3	12.8	7.2	17.2	41.2	0	0.6	0	0.2	0	8.2	7.3	0.3	0	0	0	10.2	14.2	12.3	1.3
	10	4.3	3.3	12.5	2.3	0.9	6.3	3.6	1.6	8.6	0.3	0	1.1	0	1.1	1.2	6.3	0.3	4.4	0	1.4	1.1	3.6	3.6	3.6	3.3
F.S.	0.921	1.15	1.077	0.925	1.037	1.265	0.972	1.212	1.101	1.26	0.925	1.224	1.2	1.248	1.231	1.263	1.274	1.214	1.137	1.193	1.135	1.008	0.88	1.226	0.954	
Día	dia 7	dia 10	dia 10	dia 7	dia 9	dia 8	dia 10	dia 9	dia 8	dia 10	dia 5	dia 5	dia 5	dia 10	dia 8	dia 8	dia 9	dia 4	dia 5	dia 10	dia 4	dia 8	dia 7	dia 3	dia 5	

ANEXO 1.1

Simulación	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	
Días de lluvia (mm/día)	1	0.3	6.3	0	12.3	0	1.1	7.3	14.2	0	5.5	21.7	17.2	18.2	8.6	10.8	9.3	10.5	12.5	3.6	0	8.5	7.1	14.2	6.3	1.1
	2	0.7	1.1	0	0	0	4.2	18.2	2.3	0	12.3	17.3	15.3	16.2	0	0.2	0.9	14.2	7.4	15.4	5.6	18.2	6.3	22.3	21.1	6.8
	3	25.3	96.3	203.5	0	89.3	34.2	24.2	0	12.3	21.5	0.1	0.7	12.3	0	1.6	15.2	0	5.3	5.2	21.3	9.3	8.2	0	44.3	14.7
	4	0.4	2.2	21.3	181.3	74.1	12.3	3.2	51.2	52.3	0	0	0.4	0	26.3	3.6	6.3	96.5	0	0.8	16.5	20.1	78.5	15.4	0	21.6
	5	115.3	54.3	14.2	1.4	51.4	154.2	4.2	157.4	3.6	128.3	25.3	14.6	63.2	15.4	13.5	29.5	63.5	16.8	19.8	15.3	114.2	0.4	122.4	14.2	32.9
	6	3.6	4.4	10.3	63.1	42.3	0	144.7	23.4	98.3	23.4	147.2	98.6	98.5	4.2	200.7	36.5	0.5	63.5	10.2	98.5	0	15.2	3.2	3.6	44.2
	7	60.2	70.9	8.2	41.2	28.3	0	23.1	0.3	121.4	1.4	63.2	36.4	14.2	106.2	0	0.7	6.3	69.3	116.7	2.3	25.3	99.9	6.3	86.7	60.1
	8	0	5.5	6.3	23.6	16.1	0	0.4	4.5	0.4	56.2	1.2	2.5	7.1	36.4	0	78.4	1.4	14.3	14.2	6.3	65.2	12.5	23.2	23.1	84.5
	9	0	1	4.1	12.7	7.2	0	0.4	0	0	1.4	15.2	17.4	15.2	1.4	0	16.8	15.3	4.5	0	14.2	0.3	1.2	14.2	0.5	0.6
	10	0	7	2.3	7.7	0.9	0	8.5	6.3	4.7	6.3	8.2	3.6	3.3	0	0.5	3.6	0.8	0.7	13.2	7.6	1.3	6.3	0.9	14.2	3.6
F.S.	1.121	1.147	0.968	1.019	1.085	1.123	1.085	1.122	0.941	1.271	0.82	1.266	1.132	1.251	1.193	1.285	1.241	0.881	1.213	1.117	0.976	0.957	1.095	1.195	1.057	
Día	día 10	día 3	día 3	día 10	día 3	día 8	día 9	día 10	día 7	día 5	día 7	día 9	día 10	día 9	día 9	día 8	día 9	día 8	día 10	día 10	día 9	día 9	día 7	día 10	día 9	

Simulación	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	
Días de lluvia (mm/día)	1	5.3	7.5	8.4	9.6	8.4	8.2	4.4	11.3	3.6	3.3	18.2	5.6	3.3	7.2	11.5	1.5	6.3	7.8	9.5	0	3.2	6.6	6.3	10.3	9.6
	2	15.4	12.2	2.3	4.4	14.2	3.6	10.1	21.1	12.3	3.6	14.2	0	15.2	14.1	21.3	8.6	11.5	2.2	4.5	0.6	0.2	10.3	6.3	2.3	6.3
	3	20.1	20.6	78.5	1.6	10.6	15.4	2.3	30.1	20.3	14.5	0.8	36.3	27.3	26.3	34.2	10.3	2.2	0	6.6	1.1	3.6	7.7	168.4	36.3	15.3
	4	29.3	33.2	9.3	18.2	6.3	20.5	136.2	60.3	30.2	70.3	3.6	0	33.2	63.4	5.5	4.5	8.3	4.5	17.5	0.9	210.5	2.3	4.5	6.3	4.5
	5	38.4	0	50.2	0.6	116.3	56.3	21.1	0	5.3	24.3	177.4	23.4	112.3	0	69.4	6.3	8.6	6.2	8.2	5.3	5.3	175.6	4.4	98.6	6.6
	6	47.5	215	3.6	50.4	2.6	0	41.2	85.2	96.5	3.6	93.4	20.3	0	123	3.6	0.9	15.7	117.5	6.3	304	7.7	4.4	2.3	9.9	1.2
	7	68.2	23.2	36.7	14.2	1	355	5.6	0	4.4	240	1.2	85.6	51.3	7.2	0.9	2.3	96.4	1.2	120.4	0.2	9.6	9.6	0	55.5	315
	8	90.4	0.3	11.4	84.1	7.8	0	7.4	2.6	12.3	0	5.5	12.3	0	0	96.5	85.6	1.4	6.3	7.7	4.4	0	0.4	0.3	0	8.6
	9	0.6	6.3	10.3	1.2	24.3	0	11.2	2.3	11.1	0	20.3	3.6	0	55.2	0	0.4	4.3	1.4	0	6.3	0.4	7.7	11.3	3.5	4.4
	10	0.7	1.4	4.2	3.6	0.5	0	3.6	11.4	7.7	9.6	14.4	1.1	0	0	7.7	1.4	4.3	6.6	0	1.1	7.7	9	0.9	0.3	9.6
F.S.	0.9	0.998	1.094	1.033	1.274	1.049	1.277	1.117	1.073	0.934	1.236	1.061	0.979	1.13	0.972	1.292	1.274	1.219	1.313	1.347	1.155	1.1	1.267	1.105	0.964	
Día	día 10	día 9	día 10	día 8	día 9	día 7	día 6	día 10	día 9	día 9	día 10	día 10	día 7	día 10	día 8	día 9	día 9	día 6	día 9	día 9	día 7	día 5	día 6	día 9	día 9	

ANEXO 1.1

Simulación	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	
Días de lluvia (mm/día)	1	3.2	7.6	0.7	5.6	9.3	0	1.4	4.8	7.7	12.3	9.8	10.6	124	80.2	4.4	50.2	30.5	20.1	15.6	16.5	30.2	26.5	16.8	34.2	44.4
	2	19.3	14.2	0.6	3.6	7.3	0	9.4	14.8	19.3	24.7	3.6	16.4	12	23.4	70.2	6.3	6.3	6.3	0	12.3	25.3	20.4	14.2	0.6	25.3
	3	5.3	0	13.2	63.2	10.1	1.1	6.3	30.1	0.3	31.5	60.2	6.3	46	12.3	20.1	4.1	16.2	9.6	6.3	10.2	0.4	0.4	10.5	16.2	12.2
	4	0	36.7	62.7	17.4	18.2	79.3	1.5	23.1	201.7	0	1.5	20.5	8	0	5.3	19.3	2.2	32.2	18.2	9.8	1.7	77.5	2.6	4.4	0.6
	5	0.6	2.1	16.4	124.8	0.9	2.3	98.7	0.4	6.3	78.5	55.6	9.7	99	6.3	9.3	60.4	10.4	0.1	106.3	0.6	0.6	0.6	114.7	18.4	9.8
	6	54.1	180.4	51.2	10.5	98.3	6.3	87.2	257.2	7.7	63.7	36.2	88.4	7.1	7.1	87.1	20.4	110.2	0.4	21.5	95.4	174.5	5.3	23.2	120.6	17.4
	7	0.1	0	71.4	11.8	5.3	14.3	0.4	23.4	99.3	0.6	14.2	1.5	3.6	50.4	36.2	0.7	0.6	7	0	0.5	0.6	14.2	0.8	1.1	117.4
	8	101.7	14.3	1.6	0.6	72.3	0.6	7.1	4.4	6.3	4.4	0	15.6	34.2	0.6	7.2	0.1	0.4	82.7	16.2	41.2	9.8	90.1	0.4	12.3	2.3
	9	0.6	15.6	6.3	17.2	0.7	18.2	14.3	0.6	0.6	6.3	0.9	7.6	4.4	11.3	1.3	12.2	78.2	0.7	0.6	0	6.5	0.2	1.5	6.3	6.3
	10	1.2	17.2	0	0.3	1.4	4.7	17.3	3.6	0.7	1.2	9.8	4.2	1.4	6.3	2.4	1.1	3.6	1.5	1.4	0	10.5	0	0.1	4.4	1.2
F.S.	1.279	0.837	1.047	0.983	1.188	1.147	1.098	1.16	1.231	1.171	1.086	1.272	1.16	1.13	0.88	1.268	1.147	1.251	1.258	1.21	1.105	1.207	1.226	1.042	1.244	
Día	día 10	día 8	día 8	día 6	día 8	día 4	día 10	día 6	día 10	día 7	día 8	día 9	día 1	día 1	día 9	día 9	día 10	día 10	día 6	día 9	día 8	día 10	día 6	día 8	día 8	

Simulación	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	
Días de lluvia (mm/día)	1	20.1	40.7	25.4	28.4	52.6	50.7	30.2	41.1	18.5	25.3	36.4	44.1	47.2	25.8	18.5	26.5	41.2	27.6	30.8	36.4	18.6	23.5	23.5	26.4	15.6
	2	0	30.2	14.2	17.6	0	26.5	60.2	23.6	20.3	20.3	25.3	26.3	0	30.4	20.3	2.5	20.3	20.4	0.4	17.4	17.4	4.4	0.2	20.4	8.6
	3	0	0	7.4	9.8	0	18.5	6.3	0.4	11.1	14.2	18.5	50.4	0	18.5	14.5	1.4	26.3	0.6	17.4	8.6	13.2	18.6	36.3	17.4	7.4
	4	25.3	0	2.5	3.6	56	10.5	10.4	11.4	13.2	15.2	5.2	0.5	25.3	13.5	0.6	17.6	15.2	1.4	0.5	4.2	20.4	19.2	14.2	0.3	1.1
	5	17.4	158	2.3	119.1	0	0.6	5.5	0.6	0.3	3.6	14.6	17.4	14.1	55.5	11.5	300.4	10.6	1.2	26.3	2.1	0.2	69.6	0.3	6.3	66.4
	6	98.4	2.3	98.5	2.3	0	90.4	0.6	123.4	0.4	15.2	153.2	60.5	63.5	0.4	181.6	14.2	98.4	6.3	0.4	0.6	0.4	0.4	156.8	96.5	100.4
	7	3.6	6.9	14.2	6.3	61	6.3	41.7	0	147.4	124.3	0.4	11.7	0.5	4.7	0.4	20.3	80.2	189.4	98.4	147.5	1.5	0.4	20.3	80.4	17.2
	8	1.4	5	20.4	10	0	40.2	3.6	0.6	0.3	3.6	1.1	0.6	77.4	69.7	19.6	0.2	20.3	0	0.4	0.3	15.8	70.9	1.5	20.3	3.6
	9	1.7	18.4	0.6	11.1	0	1.4	4.4	0.3	0.3	6.3	3.6	2.3	3.6	5.3	4.4	0.6	0.3	0.4	21.2	0.6	66.5	0.3	3.6	0.5	5.2
	10	8.5	3.6	0.7	4.4	5.5	0.6	0.8	3.3	0.4	1.4	1.4	5.5	0.4	1.4	3.6	0	1.5	0.1	0.3	1.3	23.1	6.6	9.4	0.1	10.2
F.S.	1.24	1.083	1.25	1.123	1.257	0.972	1.273	1.129	0.958	1.264	1.073	0.89	1.031	1.122	1.072	0.804	0.997	1.172	1.264	1.244	1.256	1.208	1.195	1.102	1.074	
Día	día 8	día 10	día 10	día 10	día 7	día 8	día 9	día 8	día 8	día 7	día 9	día 8	día 10	día 10	día 9	día 7	día 7	día 10	día 9	día 8	día 10	día 10	día 10	día 10	día 9	día 9

ANEXO 1.1

Simulación	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	
Días de lluvia (mm/día)	1	26.5	14.3	27.5	2.1	19.3	26.8	11.7	20.7	8.6	19.4	36.4	20.7	17.4	22.3	18.3	27.3	14.3	10.2	25.3	14.4	30.4	47.3	21.3	24.3	5.3
	2	50.2	20.5	23.4	0	6.7	30.2	4.5	3.6	2.3	23.6	20.5	15.6	5.6	7.8	12.3	14.5	15.3	23.1	0.3	5.5	63.4	23.4	3.6	14.2	1.3
	3	0.1	25.8	14.2	96.3	27.3	50.4	6.3	67.2	18.6	0.8	18.6	10.7	8.9	58.6	3.3	18.3	3.3	3.3	0.4	1.4	0.3	10.7	0	5.2	6.3
	4	0.7	36.2	10.7	0.2	2.3	0.5	5.7	10.2	69.1	6.3	6.3	25.6	0.2	10.3	4.4	11.1	4.8	90.3	1.1	6.3	1.3	3.3	102.3	0.3	0.4
	5	15.2	78.2	6.3	15.3	6.5	14.2	78.6	3.4	4.7	78.2	8.6	0	36.5	3.3	15.3	0.3	0.2	13.2	63.4	7.7	10.3	101.7	24.3	0.6	23.4
	6	0.3	115.4	4.2	14.2	80.3	6.7	88.4	0.4	66.1	0.4	50.1	0	2.2	66.4	8.8	3.6	89.3	11.3	100.2	145.8	0.1	3.6	14.3	301.4	14.3
	7	178.5	0.6	1.1	3.6	66.3	215.8	0.3	100.4	2.3	88.2	3.6	135.4	89.3	3.6	154.2	147.5	41.2	55.5	0.4	15.2	87.3	14.2	100.2	0.3	56.3
	8	0.1	14.2	119.6	87.2	0.4	0.3	16.7	3.6	4.7	1.4	2.5	3.6	17.2	41.8	0	5.3	17.2	3.3	0.6	20.3	1.3	6.3	0	6.3	78.3
	9	0.5	3.6	0.3	3.6	2.5	7.2	21.2	9.4	7.8	11.1	78.6	12.3	6.3	0.5	0	6.6	1.1	1.1	0.1	7.8	0.4	0.6	0	7.1	1.1
	10	0.7	5.5	0.4	1.4	8.7	6.5	3.6	1.1	0	3.5	8.5	3.3	0.8	1.1	0	0.2	0.9	0.7	0.1	2.3	6.3	7.7	0	1.1	6.3
F.S.	1.102	0.992	0.994	1.101	1.027	0.916	1.111	1.268	1.232	1.257	0.853	0.943	1.269	0.964	1.178	1.127	1.033	1.129	1.169	1.198	1.292	1.11	1.124	0.952	1.179	
Día	día 10	día 8	día 10	día 3	día 10	día 7	día 8	día 9	día 9	día 10	día 10	día 10	día 8	día 7	día 8	día 8	día 10	día 10	día 8	día 6	día 10	día 6	día 10	día 6	día 10	

Simulación	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	
Días de lluvia (mm/día)	1	26.4	14.8	23.7	10.3	31.6	17	37	40.7	23.6	10.3	45	6.3	24.5	3.6	33.4	25.3	24.5	30.2	14.2	24.3	17.3	17.3	20.9	4.2	10.3
	2	4.4	8.6	14.2	1.4	15.2	36	1.1	117.1	46.5	23.1	0	3.2	18.3	4.4	0	66.3	50.3	14.3	5.6	14.3	32.1	20.3	14.2	3.6	7.5
	3	7.5	49.3	7.8	9.6	6.3	117	13.6	0.6	8.3	46.5	32	5	38.6	5.3	0.3	12.3	4.5	10.3	0.3	6.3	2.3	11.2	4.5	0.3	4.4
	4	6.3	4.4	9.6	47.3	78.6	24	18.6	9.4	4.5	0.6	4	42	9.1	1.5	13	4.5	9.6	89.6	4.2	14.5	66.3	5.3	9.6	56.3	0.3
	5	4.4	15.3	45.6	21.3	0	51	100	5.4	99.4	9.6	43	38	5.1	98.3	5.4	16.7	18.5	0.3	158.6	78.3	4.5	19.7	102.3	4.5	56.3
	6	1.5	24.3	78.3	4.4	0	0.6	63.2	2.4	4	151.2	180.3	4.4	141.1	6.3	54.6	0.5	154.3	12.3	45.2	6.3	0.3	241.6	7.8	1.2	12.3
	7	168.4	100.3	12.1	87.3	103.3	15.3	1.4	16.2	13.7	36.4	4.2	13.3	15.3	4.2	80.3	0.1	6.3	99.3	24.3	14.5	124.3	1.3	66.3	109.6	0.7
	8	23.1	4.3	0.3	4.4	4.4	2.4	15.3	17.4	4.2	0	21.3	78.3	12.3	7.5	2.1	147.2	7.8	0.3	1.2	89.3	4.5	6.3	0.3	1.2	98.3
	9	7.4	3.3	0.6	24.3	1.2	7.4	5.4	6.3	9.3	0	10.3	6.3	7.6	8.6	12.7	25.3	14.3	4.5	3.6	4.5	3.3	8.9	4.5	6.3	4.5
	10	4.6	1.1	4.4	0.3	6.3	24	1.4	5.5	0.9	3	7.3	7.8	9.6	96.3	0.3	4.4	0.8	6.3	7.5	6.3	1.2	7.5	1.3	4.7	3.8
F.S.	0.959	1.011	1.03	1.13	0.996	1.26	1.255	1.268	1.257	0.796	1.115	1.077	0.956	1.003	1.187	1.077	1.086	0.947	0.995	0.858	0.986	1.128	1.133	1.232	1.307	
Día	día 8	día 9	día 10	día 10	día 10	día 3	día 10	día 10	día 10	día 7	día 7	día 10	día 9	día 10	día 7	día 10	día 10	día 8	día 8	día 9	día 10	día 6	día 10	día 7	día 10	

ANEXO 1.1

Simulación	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	
Días de lluvia (mm/día)	1	6.3	24.3	20.3	14.3	15.3	24.3	7.6	50.3	51.2	0	0	23.6	0.4	26.7	0.3	20.3	14.7	41.7	28.7	5.5	20.3	14.3	7.8	0	17.4
	2	9.6	15.3	11.3	20.3	20.6	12.3	19.3	15.3	27.3	0	0	17.8	9.3	19.3	0.7	0	3.6	20.4	0.4	11.4	0.6	10.9	19.5	0	24.5
	3	3.6	5.3	16.3	36.4	21.3	78.6	28.3	169.6	0.6	0	0	8.4	78.3	14.2	0.9	0	68.4	17.4	0.6	20.4	0	15.2	20.4	47	0.6
	4	15.6	1.4	138.6	5.5	41.3	8.9	48.6	0.6	69.6	121.5	4.8	6.3	6.3	0.6	130.7	62.5	2.6	3.6	30.4	12.5	45.6	0.3	28.5	25.3	1.3
	5	98.3	56.3	12.3	0	14.2	164.5	1.3	12.3	4.5	36.7	89.6	0.5	15.4	0.7	60.7	178.6	0.4	7.4	41	0.3	12.3	6.3	10.2	0.2	4.5
	6	1.5	14.7	0.6	0	251.4	6.3	6.3	4.4	6.3	1.5	14.2	178.6	20.1	121.7	14.4	36	1.4	15.4	3.6	142.9	3.6	201.6	0.6	14.2	6.7
	7	3.6	89.3	0.7	186.4	0.3	7.8	121.3	0.6	0	9.6	23.6	6.3	0.4	63.2	3.6	14.2	70.1	263.4	0.4	3.6	156	15.3	143.2	101.4	77.4
	8	56.3	14.2	4.6	0.3	0.6	15.3	45.6	7.8	11.9	1.2	0.7	8.6	0.7	0.6	9.4	3.6	6.3	24.1	98.7	5.2	23.2	6.3	2.6	0.6	63.4
	9	23.4	4.5	7.8	6.3	0.9	6.3	0.6	6.6	58.3	1.3	29.3	0.5	96.2	5.5	7.7	14.2	8.8	14.7	1	8.6	1.4	4.4	7.8	0.1	1.5
	10	4.4	0.9	14.3	14.2	1.1	7.8	1.7	4.5	9.6	12.3	5.4	0.7	12.3	12.4	0.2	0.4	4.4	5.6	5.6	0.2	4	8.8	9.6	12.3	9.6
F.S.	1.204	1.05	1.231	1.16	0.924	1.004	1.241	1.22	1.048	1.29	1.071	1.227	1.148	1.082	1.071	1.241	1.247	0.984	1.303	1.13	1.066	1.138	1.029	1.263	1.098	
Día	día 10	día 7	día 4	día 10	día 8	día 8	día 10	día 10	día 10	día 5	día 7	día 8	día 10	día 8	día 5	día 10	día 7	día 8	día 9	día 9	día 9	día 9	día 10	día 7	día 10	

Simulación	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	
Días de lluvia (mm/día)	1	0	3.6	36.4	0.3	14.2	15.6	20.4	14.2	40.1	2.3	14.1	14.2	5.6	20.7	26.4	29.6	50.2	29.4	0.4	1.2	6.3	9.4	24.6	5.6	6.3
	2	0	15.4	66.4	23.1	23.1	0.6	11.2	25.6	6.3	26.4	0.3	3.6	15.4	4.4	7.8	12.4	23.4	0	73.3	7.6	41.6	30.7	18.4	17.1	19.3
	3	78.5	0.7	0.6	0	80.4	14.2	3.6	1.4	24.5	7.7	0.4	56.4	30.1	68.4	78.4	17.4	20.3	63.4	4.5	50.3	23.4	25.1	6.3	2.3	20.3
	4	6.3	0.5	9.8	50.1	0.6	0.8	24	20.4	6.7	20.4	2.5	7.8	1	0	20.3	70.3	11.2	0	63.4	0.6	0	6.7	9.8	30.7	0.6
	5	47.4	0.4	15.6	69.5	6.3	20.7	87.4	178.4	105.7	123.7	68.4	63.4	54.4	0	0.4	6.3	6.3	0.3	0.6	6.3	16.5	0	99.3	12.3	1.2
	6	0.3	0	3.1	6.3	4.4	0	60.1	4.4	60.4	12.3	20.4	4.4	0.6	36.4	7.7	0.6	77.4	6.3	119.6	89.4	121.6	0	0	9.8	78.2
	7	1.2	89.6	164.2	4.2	78.6	189.4	3.6	20.7	0	1.1	50.6	178.4	4.5	196.8	0.4	0.1	15.2	114.7	0.6	41.2	20.1	181.4	0	132.7	6.3
	8	0.9	66.4	0.6	70.1	63.4	0.6	2.5	1.4	0	40.1	1.1	0.3	40.7	0.4	17.4	1.2	3.6	6.3	0.9	3.6	0	0	72.4	0.3	80.9
	9	68.7	0	5.3	1.5	14.2	4.4	5.6	0.6	0.4	6.3	12.3	6.4	4.4	0.1	6.3	125.4	7.5	7.8	4.5	11.4	0	0.6	15.2	1.3	4.4
	10	6.3	0.2	1.5	2.3	3.1	2.3	7.7	3.9	14.1	0	9.7	1.7	9.3	0.7	10.8	6.3	15.3	0	1.2	5.5	0	9.1	0.6	6.3	8.3
F.S.	1.145	1.284	1.174	1.172	1.061	0.933	1.139	0.919	1.072	1.146	1.158	1.007	1.254	0.986	1.002	0.819	1.11	1.134	1.125	1.15	0.928	1.101	1.199	1.197	1.236	
Día	día 3	día 7	día 10	día 10	día 10	día 10	día 10	día 8	día 9	día 8	día 10	día 10	día 10	día 10	día 10	día 10	día 7	día 10	día 10	día 8	día 7	día 7	día 9	día 7	día 10	

ANEXO 1.1

Simulación	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	
Días de lluvia (mm/día)	1	56.3	30.2	56.3	23.4	3.6	13.2	45	14.2	28	0	12.4	26.4	3.6	34.5	20.3	47.2	23.2	41.4	38.6	45	36.4	66.3	80.3	36.4	63.4
	2	41.2	0.6	14.5	15.2	15.3	3.3	0	22.6	17	0	12	34	5.3	24.2	121.5	30.4	1.2	0	21.5	0	2.3	0	44.2	12.4	24.1
	3	36.4	1.2	78.3	7.5	56.4	5.5	32	50.3	0	23.4	46	4	69.3	12.3	0	18.2	80.3	4.7	12.4	32	17.6	29.8	0.6	180.1	1.4
	4	0.6	115.8	23.4	6.6	0	23.5	41.2	0	0	15.8	83	12	89.4	6.3	98.5	3.6	20.4	2.3	0.6	4	66.2	21.7	21.3	18.8	5.3
	5	1.4	23.1	12.3	96	0.4	0	3.6	63.2	48.3	2.3	99.1	0.4	13.2	0.2	12.4	26.4	98.4	89.4	16.5	43.2	0	19.6	12.3	1.3	6.3
	6	8.3	12.4	2.6	17.4	5.6	198.4	7.5	256.3	18.6	117.8	6	99	2.3	1.3	4.4	2.3	13.2	2.3	3.2	89.6	1.4	11.4	2.5	2.8	98.3
	7	78.6	96.5	4.5	12.6	189.4	0	11.2	0.2	223.4	12.4	1.5	83	4.5	45.2	13.7	18.4	8.3	6.5	1.1	9	5.3	20.2	25.3	5.4	21.5
	8	0.6	0.6	115.3	78.4	0	27.3	3.1	2.6	0.6	3.6	4.2	12.4	27.6	121.3	9.9	121.7	70.4	10.5	6.3	4.2	101.4	0.6	14.2	20.2	14
	9	6.3	7.5	0	1.3	0	3.6	154.2	14.2	11.2	8.5	0.3	13.2	4.2	0	4.6	2.3	7.5	41.2	113.6	18.4	0	4.5	6.3	15.8	1.7
	10	1.4	6.3	0	0	0.6	15.2	9	3.8	3.6	4.2	0	5.5	6.3	0	1.1	6.4	2.3	0	2.3	1.8	0	1.1	0.1	2.4	11.9
F.S.	1.048	1.103	0.985	1.12	1.214	1.208	1.106	1.16	1.073	1.279	1.114	0.933	1.246	1.126	1.103	1.129	0.991	1.137	1.196	0.977	1.046	1.26	1.125	1.223	1.281	
Día	día 10	día 7	día 9	día 8	día 7	día 7	día 10	día 10	día 8	día 7	día 7	día 10	día 4	día 10	día 8	día 9	día 6	día 10	día 9	día 8	día 10	día 6	día 1	día 3	día 10	

Simulación	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	
Días de lluvia (mm/día)	1	70.5	26	65.2	52.4	60.4	44.6	70.6	12.8	0.7	30.6	35.6	9.9	40.5	14.2	23.2	75.9	8	15.3	14.3	23.2	3.6	20.3	2.3	6.3	18.4
	2	36.2	18.5	0.2	44.1	12.5	24.2	10.4	12.4	0.4	15.8	22.9	57.8	28.7	20.6	1.3	8.5	87.6	14.3	69.5	70.1	4.3	0.3	25.6	14.3	41.6
	3	15.3	134.4	2.3	32.1	6.3	5.3	14.5	39.4	0	19.2	14.2	18.2	7.2	28.5	4.6	6.3	14.3	78.3	23.1	0.6	19.3	0.6	14.3	77.3	3.6
	4	10.5	15.4	80.3	10.2	2.3	0	24.2	6.1	20.3	7.2	0	11.4	35.8	30.2	88.5	78.2	14.7	26.5	14.2	1.5	20.3	96.3	88.6	4.3	5.3
	5	4.4	0.2	1.5	0.6	61.4	69.4	38.6	18.4	14.2	28.4	10.3	19.4	19.4	0.6	21.4	17.2	3.6	14.2	2.3	6.3	1.4	15.3	14.2	9.3	77.3
	6	96.5	0.4	8.6	145.6	20.4	35	4.2	25.3	301.4	35.8	3.6	5.4	1.4	123.6	0	15.6	9.5	2.3	6.5	15.3	55.3	4.3	7.3	20.3	1
	7	50.3	30.4	90.4	26.6	0	14.7	3.6	167.1	92.4	6.3	192.5	98.6	7.6	14.2	100.4	23	19.6	6.3	10.5	98.3	88.3	6.3	6.3	55.3	1.6
	8	0.2	21	0	2.3	0.3	70.6	62.4	42.5	5.3	97.6	21.2	0	98.5	2.3	21.4	41.3	99.5	101.2	74.2	8.3	6.3	21.6	89.3	6.3	3.6
	9	2.3	1.5	0.6	1.2	64.2	14.3	1.2	8.8	7.5	9.4	1.5	0	23.1	10.7	2.6	3.6	5.3	0	0.5	4.4	1.2	47.6	2.6	7.3	60.2
	10	6.4	6.3	14.3	0.3	15.3	2.3	0	7.8	6.3	1.1	6.5	1.5	1.3	6.3	7.3	9.5	1.5	0	1.4	2.3	0.3	0.6	6.3	0.6	15.3
F.S.	0.953	0.975	1.05	0.879	1.129	0.977	1.001	1.101	1.11	0.953	1.185	0.936	1.075	1.132	0.996	1.082	1.073	1.051	1.176	1.246	0.992	1.257	1.132	0.986	1.215	
Día	día 7	día 8	día 7	día 6	día 10	día 9	día 10	día 10	día 10	día 8	día 9	día 8	día 10	día 8	día 8	día 7	día 9	día 10	día 10	día 8	día 8	día 9	día 9	día 9	día 8	día 10

ANEXO 1.1

Simulación	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	
Días de lluvia (mm/día)	1	9	28.6	15.4	13.5	7.4	35.9	24.6	14.3	11.6	37.5	63.4	42.5	14.3	12.6	14.2	20.8	21.3	28.3	37.5	25.3	23.5	24.6	23	21.4	2.3
	2	57.5	30.5	18.1	53.2	18.1	78.4	37.4	77.2	29.4	24.3	47.2	12.3	67.5	98.3	50.4	41.3	78.3	14.5	14.2	14.3	88.5	12.3	16.4	14	54.1
	3	19	67.3	36.7	14.3	121.6	11.2	11.6	0.3	15.7	14.2	21.4	31.2	23.1	14.3	11.1	66.3	24.3	6.3	16.3	0	2.6	1.3	77.2	98.6	14.3
	4	111.6	8.2	22.9	5.3	9.4	3.6	30.3	4.6	37.6	0.4	3.6	0	1.5	65.2	27.2	0	11.2	98.4	8.3	0	2.3	66.3	2.3	14.3	2.3
	5	37.7	3.3	29.6	7.9	0.6	18.6	19.8	7.3	0.5	78.3	14.3	17.4	5.3	0	1.2	0	6.3	4.5	6.3	98	26.3	12.3	12.3	3.6	6.3
	6	3.9	40.3	43.2	19.6	0.4	2.3	20.4	105.7	0	19.5	10.2	13.2	9.5	0	5.5	89.3	7.6	6.3	133.4	71.2	14.2	80.4	96.3	14.2	14.2
	7	6.2	69.7	0.6	20.4	23.6	80.4	7.6	12.6	166.7	85.3	0.6	156.2	97.6	0.4	124.6	6.3	18.2	105.3	23.6	3.6	99.3	0.2	14.5	103.2	104.8
	8	15.8	1.5	9.5	1.6	11.8	4.5	95.6	21.3	0.3	0.4	0.4	0	40.1	12.3	2.3	7.5	28.3	1.2	0	10.2	2.3	3.6	2.3	5.3	5.3
	9	28.7	1.9	18.3	0.6	93.3	33.5	2.3	0.6	0.4	20.3	0	0	0	5.3	8	9.6	6.3	6.3	0	4.6	5.3	1.1	15.6	4.6	6.5
	10	1.5	3.1	121.5	98.6	1.5	14.2	5.4	0.4	0	14.3	98.6	0.9	0.6	6.4	7.5	10.1	7.8	8.6	10.3	8.9	2.5	4.4	78.6	2.2	14.5
F.S.	1.076	0.9	1.147	1.231	1.242	0.989	1.117	0.977	1.239	1.157	1.1	0.904	1.05	1.149	1.177	0.959	1.05	0.989	1.226	1.056	1.155	1.141	0.975	0.947	1.181	
Día	día 7	día 8	día 10	día 10	día 10	día 9	día 10	día 6	día 7	día 10	día 10	día 9	día 10	día 3	día 9	día 9	día 6	día 10	día 10	día 8	día 8	día 10	día 10	día 9	día 9	

Simulación	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	
Días de lluvia (mm/día)	1	0.3	47.3	24.3	28.4	8.6	69.7	23.4	29.3	47.6	56.3	14.3	16.9	6.3	35.8	63.4	40.3	33	24.3	7.8	8.9	41.3	35.2	35.2	40.3	63.4
	2	0	14.3	15.3	1	9.3	20.3	7.5	2.3	23.5	0	44.3	23.5	4.7	40.6	14.7	11.6	30.5	21.3	69.4	66.2	24.3	6.3	0	3.6	0
	3	96.5	96.4	19.3	12.3	14.7	41.2	9.3	20.3	16.4	0	6.3	14.3	12.3	0	6.3	28	57.6	60.3	50.2	0	25.3	40.3	24.3	0	0
	4	54.2	12.3	20.1	6.3	56.1	6.3	78.2	12.3	6.3	98.6	100.4	189.4	47.6	0	31.2	6.7	4.3	4.3	87.3	0	89.6	6.3	181.6	161.7	33.6
	5	0.3	14.3	4.3	47.6	14.2	2.5	2.3	6.3	4.5	1.3	14.3	0.6	0.9	12.3	6.3	0.8	11.2	5.7	1.3	55.3	4.4	9.8	6.3	6.3	116.4
	6	14.3	2.3	4.6	6.3	101.5	0	20.1	98.3	126.3	0	17.6	6.3	14.3	20.5	19.3	174.8	3.6	98.4	5.6	0	14.3	3	7.8	5.6	0
	7	16.3	5.3	181.7	147	6.3	0	101.5	1.1	0	0.6	9.3	14.3	107.8	106.3	5.3	116.2	12.4	14.3	9.8	12.3	3.6	125.4	9.6	76.5	0
	8	1.2	43.2	1.6	14.3	14.3	84.3	6.3	15.6	0	77.6	5.6	5.3	0.6	0.2	1.4	0	181.4	20.5	7.6	11.5	0	1.3	11.2	7.8	26.3
	9	63.4	14.2	1.3	6.3	7.6	1.3	7.5	3.6	15.3	15.3	26.5	17.3	5.3	2.3	98.3	0	6.3	8.6	18.3	89.3	66.3	3.6	16.5	10.3	3.3
	10	0.6	7.6	6.2	2.3	9.3	1.7	1.1	1.1	0	0	18.3	20.3	4.3	6.4	1.8	0.4	4.5	4.5	11.6	0	6.3	1.4	13.4	9.3	19.3
F.S.	1.093	1.091	1.116	1.136	1.087	1.053	0.965	1.236	1.092	1.246	1.205	1.221	1.173	1.153	0.941	0.923	0.804	0.911	1.24	1.151	0.976	1.249	1.253	1.215	1.039	
Día	día 3	día 9	día 7	día 10	día 10	día 10	día 9	día 6	día 10	día 9	día 10	día 10	día 9	día 8	día 10	día 8	día 9	día 9	día 10	día 10	día 9	día 7	día 10	día 5	día 9	

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$	Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
1	1.124	0.0274	0.000752	51	1.143	0.0464	0.002155
2	0.813	-0.2836	0.080419	52	1.043	-0.0536	0.002871
3	0.97	-0.1266	0.016023	53	1.196	0.0994	0.009884
4	0.98	-0.1166	0.013591	54	1.172	0.0754	0.005688
5	0.961	-0.1356	0.018383	55	0.99	-0.1066	0.011360
6	0.998	-0.0986	0.009718	56	1.001	-0.0956	0.009136
7	1.224	0.1274	0.016235	57	1.06	-0.0366	0.001338
8	1.161	0.0644	0.004150	58	1.081	-0.0156	0.000243
9	1.013	-0.0836	0.006986	59	0.983	-0.1136	0.012901
10	1.178	0.0814	0.006629	60	1.141	0.0444	0.001973
11	0.944	-0.1526	0.023281	61	1.089	-0.0076	0.000057
12	1.108	0.0114	0.000130	62	0.949	-0.1476	0.021780
13	0.959	-0.1376	0.018929	63	0.963	-0.1336	0.017844
14	1.023	-0.0736	0.005414	64	0.942	-0.1546	0.023896
15	0.981	-0.1156	0.013359	65	1.033	-0.0636	0.004043
16	0.969	-0.1276	0.016277	66	1.128	0.0314	0.000987
17	0.951	-0.1456	0.021194	67	0.985	-0.1116	0.012451
18	1.009	-0.0876	0.007671	68	1.151	0.0544	0.002961
19	0.937	-0.1596	0.025466	69	0.971	-0.1256	0.015771
20	0.875	-0.2216	0.049099	70	1.124	0.0274	0.000752
21	0.99	-0.1066	0.011360	71	0.961	-0.1356	0.018383
22	0.945	-0.1516	0.022977	72	1.087	-0.0096	0.000092
23	0.932	-0.1646	0.027087	73	1.096	-0.0006	0.000000
24	1.164	0.0674	0.004545	74	1.057	-0.0396	0.001567
25	1	-0.0966	0.009328	75	1.048	-0.0486	0.002360
26	0.866	-0.2306	0.053168	76	0.92	-0.1766	0.031181
27	0.949	-0.1476	0.021780	77	0.94	-0.1566	0.024518
28	0.98	-0.1166	0.013591	78	1.075	-0.0216	0.000466
29	0.952	-0.1446	0.020904	79	0.885	-0.2116	0.044767
30	0.975	-0.1216	0.014782	80	1	-0.0966	0.009328
31	1.052	-0.0446	0.001988	81	1.09	-0.0066	0.000043
32	0.913	-0.1836	0.033702	82	0.97	-0.1266	0.016023
33	0.998	-0.0986	0.009718	83	1.11	0.0134	0.000180
34	0.905	-0.1916	0.036704	84	1.041	-0.0556	0.003089
35	0.767	-0.3296	0.108624	85	1.065	-0.0316	0.000997
36	0.775	-0.3216	0.103415	86	0.733	-0.3636	0.132192
37	1.312	0.2154	0.046405	87	1.085	-0.0116	0.000134
38	0.971	-0.1256	0.015771	88	0.935	-0.1616	0.026109
39	1.064	-0.0326	0.001062	89	1.044	-0.0526	0.002765
40	1.109	0.0124	0.000154	90	1.091	-0.0056	0.000031
41	0.946	-0.1506	0.022675	91	0.879	-0.2176	0.047342
42	0.928	-0.1686	0.028420	92	1.313	0.2164	0.046837
43	1	-0.0966	0.009328	93	0.784	-0.3126	0.097708
44	1.059	-0.0376	0.001412	94	1.047	-0.0496	0.002458
45	0.966	-0.1306	0.017052	95	1.069	-0.0276	0.000761
46	1	-0.0966	0.009328	96	1.117	0.0204	0.000417
47	1.197	0.1004	0.010084	97	1.074	-0.0226	0.000510
48	1.08	-0.0166	0.000275	98	0.931	-0.1656	0.027417
49	0.905	-0.1916	0.036704	99	0.779	-0.3176	0.100858
50	1.036	-0.0606	0.003670	100	0.953	-0.1436	0.020616

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
101	1.048	-0.0486	0.002360
102	1.266	0.1694	0.028702
103	1.007	-0.0896	0.008025
104	1.303	0.2064	0.042608
105	1.183	0.0864	0.007468
106	0.938	-0.1586	0.025148
107	1.197	0.1004	0.010084
108	1.272	0.1754	0.030771
109	1.279	0.1824	0.033276
110	1.212	0.1154	0.013321
111	1.065	-0.0316	0.000997
112	1.077	-0.0196	0.000383
113	1.236	0.1394	0.019437
114	1.347	0.2504	0.062709
115	1.206	0.1094	0.011972
116	0.822	-0.2746	0.075395
117	0.998	-0.0986	0.009718
118	1.252	0.1554	0.024155
119	1.193	0.0964	0.009296
120	1.251	0.1544	0.023845
121	1.106	0.0094	0.000089
122	0.923	-0.1736	0.030131
123	1.173	0.0764	0.005840
124	1.27	0.1734	0.030074
125	1.302	0.2054	0.042197
126	1.195	0.0984	0.009686
127	1.073	-0.0236	0.000556
128	0.95	-0.1466	0.021486
129	1.254	0.1574	0.024780
130	1.215	0.1184	0.014023
131	0.995	-0.1016	0.010319
132	1.265	0.1684	0.028365
133	1.084	-0.0126	0.000158
134	1.093	-0.0036	0.000013
135	1.224	0.1274	0.016235
136	1.13	0.0334	0.001117
137	1.201	0.1044	0.010903
138	0.932	-0.1646	0.027087
139	1.152	0.0554	0.003071
140	1.05	-0.0466	0.002170
141	1.119	0.0224	0.000503
142	1.348	0.2514	0.063211
143	1.004	-0.0926	0.008571
144	1.089	-0.0076	0.000057
145	1.248	0.1514	0.022927
146	0.935	-0.1616	0.026109
147	0.932	-0.1646	0.027087
148	1.14	0.0434	0.001885
149	1.07	-0.0266	0.000707
150	1.212	0.1154	0.013321

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
151	1.226	0.1294	0.016749
152	0.998	-0.0986	0.009718
153	0.995	-0.1016	0.010319
154	1.263	0.1664	0.027695
155	0.915	-0.1816	0.032972
156	1.081	-0.0156	0.000243
157	1.139	0.0424	0.001799
158	0.644	-0.4526	0.204831
159	1.062	-0.0346	0.001196
160	1.166	0.0694	0.004819
161	1.227	0.1304	0.017009
162	1.069	-0.0276	0.000761
163	1.274	0.1774	0.031477
164	1.266	0.1694	0.028702
165	1.151	0.0544	0.002961
166	1.271	0.1744	0.030422
167	1.265	0.1684	0.028365
168	1.114	0.0174	0.000303
169	1.181	0.0844	0.007126
170	1.246	0.1494	0.022326
171	0.992	-0.1046	0.010937
172	1.17	0.0734	0.005390
173	1.042	-0.0546	0.002979
174	1.248	0.1514	0.022927
175	0.92	-0.1766	0.031181
176	1.179	0.0824	0.006793
177	1.058	-0.0386	0.001489
178	1.299	0.2024	0.040973
179	1.192	0.0954	0.009105
180	1.258	0.1614	0.026056
181	1.182	0.0854	0.007296
182	1.274	0.1774	0.031477
183	1.041	-0.0556	0.003089
184	1.093	-0.0036	0.000013
185	1.243	0.1464	0.021438
186	1.007	-0.0896	0.008025
187	1.227	0.1304	0.017009
188	1.036	-0.0606	0.003670
189	1.042	-0.0546	0.002979
190	1.066	-0.0306	0.000935
191	0.96	-0.1366	0.018655
192	1.259	0.1624	0.026380
193	0.983	-0.1136	0.012901
194	1.239	0.1424	0.020283
195	0.978	-0.1186	0.014062
196	0.983	-0.1136	0.012901
197	0.901	-0.1956	0.038252
198	1.048	-0.0486	0.002360
199	0.988	-0.1086	0.011790
200	0.866	-0.2306	0.053168

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$	Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
201	1.188	0.0914	0.008357	251	1.228	0.1314	0.017271
202	1.066	-0.0306	0.000935	252	0.957	-0.1396	0.019483
203	0.951	-0.1456	0.021194	253	0.856	-0.2406	0.057880
204	1.274	0.1774	0.031477	254	1.338	0.2414	0.058283
205	0.953	-0.1436	0.020616	255	1.009	-0.0876	0.007671
206	0.758	-0.3386	0.114638	256	1.109	0.0124	0.000154
207	1.18	0.0834	0.006959	257	1.271	0.1744	0.030422
208	0.94	-0.1566	0.024518	258	1.011	-0.0856	0.007324
209	1.279	0.1824	0.033276	259	0.97	-0.1266	0.016023
210	1.134	0.0374	0.001400	260	0.954	-0.1426	0.020330
211	1.088	-0.0086	0.000074	261	1.209	0.1124	0.012638
212	1.302	0.2054	0.042197	262	1.197	0.1004	0.010084
213	1.19	0.0934	0.008727	263	1.181	0.0844	0.007126
214	1.269	0.1724	0.029728	264	1.139	0.0424	0.001799
215	1.212	0.1154	0.013321	265	1.015	-0.0816	0.006656
216	1.195	0.0984	0.009686	266	1.103	0.0064	0.000041
217	1.268	0.1714	0.029384	267	1.227	0.1304	0.017009
218	1.218	0.1214	0.014742	268	0.983	-0.1136	0.012901
219	1.081	-0.0156	0.000243	269	1.22	0.1234	0.015232
220	0.843	-0.2536	0.064304	270	1.192	0.0954	0.009105
221	1.041	-0.0556	0.003089	271	0.809	-0.2876	0.082703
222	0.988	-0.1086	0.011790	272	1.146	0.0494	0.002442
223	1.104	0.0074	0.000055	273	1.116	0.0194	0.000377
224	1.093	-0.0036	0.000013	274	1.147	0.0504	0.002542
225	0.916	-0.1806	0.032610	275	1.06	-0.0366	0.001338
226	0.808	-0.2886	0.083280	276	1.132	0.0354	0.001254
227	1.077	-0.0196	0.000383	277	1.251	0.1544	0.023845
228	1.082	-0.0146	0.000213	278	1.253	0.1564	0.024467
229	0.999	-0.0976	0.009522	279	1.202	0.1054	0.011113
230	1.234	0.1374	0.018884	280	0.973	-0.1236	0.015273
231	1.173	0.0764	0.005840	281	0.95	-0.1466	0.021486
232	1.127	0.0304	0.000925	282	1.07	-0.0266	0.000707
233	1.099	0.0024	0.000006	283	0.981	-0.1156	0.013359
234	1.265	0.1684	0.028365	284	1.312	0.2154	0.046405
235	1.017	-0.0796	0.006333	285	1.251	0.1544	0.023845
236	1.273	0.1764	0.031123	286	1.272	0.1754	0.030771
237	1.207	0.1104	0.012192	287	1.182	0.0854	0.007296
238	1.265	0.1684	0.028365	288	1.233	0.1364	0.018610
239	1.247	0.1504	0.022626	289	1.09	-0.0066	0.000043
240	1.251	0.1544	0.023845	290	1.182	0.0854	0.007296
241	1.128	0.0314	0.000987	291	1.055	-0.0416	0.001729
242	1.172	0.0754	0.005688	292	0.924	-0.1726	0.029785
243	1.025	-0.0716	0.005124	293	1.217	0.1204	0.014500
244	1.026	-0.0706	0.004982	294	1.22	0.1234	0.015232
245	1.24	0.1434	0.020569	295	0.977	-0.1196	0.014300
246	1.155	0.0584	0.003413	296	0.975	-0.1216	0.014782
247	1.155	0.0584	0.003413	297	1.039	-0.0576	0.003316
248	1.258	0.1614	0.026056	298	0.711	-0.3856	0.148674
249	1.098	0.0014	0.000002	299	0.994	-0.1026	0.010523
250	1.014	-0.0826	0.006820	300	0.92	-0.1766	0.031181

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$	Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
301	1.02	-0.0766	0.005865	351	0.944	-0.1526	0.023281
302	0.943	-0.1536	0.023587	352	1.209	0.1124	0.012638
303	1.025	-0.0716	0.005124	353	1.062	-0.0346	0.001196
304	1.098	0.0014	0.000002	354	0.995	-0.1016	0.010319
305	1.052	-0.0446	0.001988	355	0.928	-0.1686	0.028420
306	0.997	-0.0996	0.009917	356	1.138	0.0414	0.001715
307	1.278	0.1814	0.032912	357	1.282	0.1854	0.034380
308	1.065	-0.0316	0.000997	358	1.306	0.2094	0.043856
309	1.017	-0.0796	0.006333	359	1.174	0.0774	0.005994
310	0.924	-0.1726	0.029785	360	1.046	-0.0506	0.002559
311	1.105	0.0084	0.000071	361	1.167	0.0704	0.004959
312	1.226	0.1294	0.016749	362	0.962	-0.1346	0.018112
313	0.894	-0.2026	0.041040	363	1.034	-0.0626	0.003917
314	1.068	-0.0286	0.000817	364	1.2071	0.1105	0.012214
315	1.06	-0.0366	0.001338	365	1.282	0.1854	0.034380
316	1.048	-0.0486	0.002360	366	1.122	0.0254	0.000646
317	1.043	-0.0536	0.002871	367	1.22	0.1234	0.015232
318	1.062	-0.0346	0.001196	368	1.076	-0.0206	0.000424
319	1.005	-0.0916	0.008387	369	1.13	0.0334	0.001117
320	1.131	0.0344	0.001185	370	0.911	-0.1856	0.034441
321	1.3	0.2034	0.041379	371	1.22	0.1234	0.015232
322	0.986	-0.1106	0.012228	372	1.131	0.0344	0.001185
323	1.278	0.1814	0.032912	373	1.123	0.0264	0.000698
324	0.991	-0.1056	0.011148	374	1.266	0.1694	0.028702
325	1.233	0.1364	0.018610	375	1.218	0.1214	0.014742
326	1.023	-0.0736	0.005414	376	1.069	-0.0276	0.000761
327	1.158	0.0614	0.003772	377	1.316	0.2194	0.048144
328	1.224	0.1274	0.016235	378	1.21	0.1134	0.012864
329	1.224	0.1274	0.016235	379	1.056	-0.0406	0.001647
330	0.962	-0.1346	0.018112	380	1.091	-0.0056	0.000031
331	1.267	0.1704	0.029042	381	1.08	-0.0166	0.000275
332	1.14	0.0434	0.001885	382	0.983	-0.1136	0.012901
333	0.938	-0.1586	0.025148	383	1.116	0.0194	0.000377
334	1.206	0.1094	0.011972	384	1.086	-0.0106	0.000112
335	1.115	0.0184	0.000339	385	1.09	-0.0066	0.000043
336	1.261	0.1644	0.027033	386	1.105	0.0084	0.000071
337	1.246	0.1494	0.022326	387	1.3	0.2034	0.041379
338	0.831	-0.2656	0.070534	388	1.148	0.0514	0.002644
339	1.259	0.1624	0.026380	389	1.082	-0.0146	0.000213
340	1.065	-0.0316	0.000997	390	1.056	-0.0406	0.001647
341	1.19	0.0934	0.008727	391	1.295	0.1984	0.039370
342	1.176	0.0794	0.006307	392	1.135	0.0384	0.001476
343	1.112	0.0154	0.000238	393	1.165	0.0684	0.004681
344	1.018	-0.0786	0.006175	394	1.142	0.0454	0.002063
345	1.104	0.0074	0.000055	395	1.252	0.1554	0.024155
346	1.045	-0.0516	0.002661	396	0.837	-0.2596	0.067383
347	1.13	0.0334	0.001117	397	1.08	-0.0166	0.000275
348	1.117	0.0204	0.000417	398	1.112	0.0154	0.000238
349	0.997	-0.0996	0.009917	399	1.097	0.0004	0.000000
350	0.969	-0.1276	0.016277	400	0.995	-0.1016	0.010319

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
401	0.914	-0.1826	0.033336
402	1.137	0.0404	0.001634
403	1.115	0.0184	0.000339
404	0.995	-0.1016	0.010319
405	1.241	0.1444	0.020857
406	1.238	0.1414	0.019999
407	1.274	0.1774	0.031477
408	1.183	0.0864	0.007468
409	1.13	0.0334	0.001117
410	1.146	0.0494	0.002442
411	1.186	0.0894	0.007996
412	1.118	0.0214	0.000459
413	0.938	-0.1586	0.025148
414	1.148	0.0514	0.002644
415	1.089	-0.0076	0.000057
416	1.269	0.1724	0.029728
417	0.958	-0.1386	0.019205
418	1.164	0.0674	0.004545
419	1.235	0.1384	0.019160
420	1.025	-0.0716	0.005124
421	1.027	-0.0696	0.004842
422	0.851	-0.2456	0.060311
423	0.959	-0.1376	0.018929
424	1.241	0.1444	0.020857
425	0.985	-0.1116	0.012451
426	1.102	0.0054	0.000029
427	1.109	0.0124	0.000154
428	1.06	-0.0366	0.001338
429	1.065	-0.0316	0.000997
430	1.092	-0.0046	0.000021
431	0.981	-0.1156	0.013359
432	1.144	0.0474	0.002248
433	1.038	-0.0586	0.003432
434	1.268	0.1714	0.029384
435	0.99	-0.1066	0.011360
436	1.14	0.0434	0.001885
437	1.065	-0.0316	0.000997
438	1.168	0.0714	0.005101
439	0.991	-0.1056	0.011148
440	1.274	0.1774	0.031477
441	1.201	0.1044	0.010903
442	1.001	-0.0956	0.009136
443	0.988	-0.1086	0.011790
444	0.884	-0.2126	0.045191
445	0.997	-0.0996	0.009917
446	0.917	-0.1796	0.032250
447	1.231	0.1344	0.018068
448	1.248	0.1514	0.022927
449	1.253	0.1564	0.024467
450	0.907	-0.1896	0.035941

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
451	1.091	-0.0056	0.000031
452	1.227	0.1304	0.017009
453	1.315	0.2184	0.047706
454	0.955	-0.1416	0.020045
455	1.223	0.1264	0.015981
456	1.168	0.0714	0.005101
457	1.22	0.1234	0.015232
458	1.073	-0.0236	0.000556
459	1.118	0.0214	0.000459
460	1.093	-0.0036	0.000013
461	1.23	0.1334	0.017800
462	1.311	0.2144	0.045975
463	1.079	-0.0176	0.000309
464	0.98	-0.1166	0.013591
465	0.826	-0.2706	0.073215
466	1.032	-0.0646	0.004171
467	1.101	0.0044	0.000020
468	1.171	0.0744	0.005538
469	1.097	0.0004	0.000000
470	1.105	0.0084	0.000071
471	1.063	-0.0336	0.001128
472	1.309	0.2124	0.045121
473	1.286	0.1894	0.035879
474	0.993	-0.1036	0.010729
475	1.153	0.0564	0.003183
476	1.338	0.2414	0.058283
477	1.255	0.1584	0.025096
478	1.248	0.1514	0.022927
479	1.276	0.1794	0.032191
480	1.219	0.1224	0.014986
481	0.994	-0.1026	0.010523
482	1.269	0.1724	0.029728
483	1.054	-0.0426	0.001813
484	1.093	-0.0036	0.000013
485	1.244	0.1474	0.021732
486	1.106	0.0094	0.000089
487	1.12	0.0234	0.000548
488	1.232	0.1354	0.018338
489	1.223	0.1264	0.015981
490	1.19	0.0934	0.008727
491	1.259	0.1624	0.026380
492	1.137	0.0404	0.001634
493	1.306	0.2094	0.043856
494	1.058	-0.0386	0.001489
495	1.028	-0.0686	0.004704
496	1.098	0.0014	0.000002
497	1.071	-0.0256	0.000654
498	0.99	-0.1066	0.011360
499	1.042	-0.0546	0.002979
500	1.125	0.0284	0.000808

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$	Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
501	1.301	0.2044	0.041787	551	1.068	-0.0286	0.000817
502	1.04	-0.0566	0.003202	552	0.919	-0.1776	0.031535
503	1.164	0.0674	0.004545	553	1.017	-0.0796	0.006333
504	0.938	-0.1586	0.025148	554	0.939	-0.1576	0.024832
505	1.029	-0.0676	0.004567	555	0.853	-0.2436	0.059332
506	1.049	-0.0476	0.002264	556	0.933	-0.1636	0.026759
507	1.087	-0.0096	0.000092	557	1.11	0.0134	0.000180
508	1.032	-0.0646	0.004171	558	1.264	0.1674	0.028029
509	1.235	0.1384	0.019160	559	1.21	0.1134	0.012864
510	0.926	-0.1706	0.029098	560	1.029	-0.0676	0.004567
511	1.262	0.1654	0.027363	561	0.934	-0.1626	0.026433
512	1.217	0.1204	0.014500	562	1.242	0.1454	0.021146
513	0.984	-0.1126	0.012675	563	1.27	0.1734	0.030074
514	1.014	-0.0826	0.006820	564	0.974	-0.1226	0.015026
515	1.198	0.1014	0.010286	565	0.935	-0.1616	0.026109
516	0.991	-0.1056	0.011148	566	1.151	0.0544	0.002961
517	1.225	0.1284	0.016491	567	1.105	0.0084	0.000071
518	1.303	0.2064	0.042608	568	0.827	-0.2696	0.072675
519	1.191	0.0944	0.008915	569	0.997	-0.0996	0.009917
520	1.265	0.1684	0.028365	570	1.023	-0.0736	0.005414
521	0.96	-0.1366	0.018655	571	1.212	0.1154	0.013321
522	0.999	-0.0976	0.009522	572	0.837	-0.2596	0.067383
523	1.202	0.1054	0.011113	573	1.071	-0.0256	0.000654
524	1.06	-0.0366	0.001338	574	0.998	-0.0986	0.009718
525	1.137	0.0404	0.001634	575	0.932	-0.1646	0.027087
526	0.981	-0.1156	0.013359	576	0.976	-0.1206	0.014540
527	0.962	-0.1346	0.018112	577	0.98	-0.1166	0.013591
528	1.058	-0.0386	0.001489	578	1.003	-0.0936	0.008758
529	0.938	-0.1586	0.025148	579	1.203	0.1064	0.011325
530	0.969	-0.1276	0.016277	580	0.996	-0.1006	0.010117
531	1.192	0.0954	0.009105	581	1.183	0.0864	0.007468
532	1.142	0.0454	0.002063	582	1.202	0.1054	0.011113
533	1.038	-0.0586	0.003432	583	1.036	-0.0606	0.003670
534	0.973	-0.1236	0.015273	584	1.11	0.0134	0.000180
535	1.211	0.1144	0.013091	585	1.248	0.1514	0.022927
536	1.261	0.1644	0.027033	586	1.27	0.1734	0.030074
537	0.99	-0.1066	0.011360	587	0.969	-0.1276	0.016277
538	1.201	0.1044	0.010903	588	0.917	-0.1796	0.032250
539	0.962	-0.1346	0.018112	589	1.07	-0.0266	0.000707
540	1.29	0.1934	0.037410	590	0.978	-0.1186	0.014062
541	1.246	0.1494	0.022326	591	1.007	-0.0896	0.008025
542	0.829	-0.2676	0.071600	592	0.968	-0.1286	0.016533
543	0.917	-0.1796	0.032250	593	0.958	-0.1386	0.019205
544	1.059	-0.0376	0.001412	594	1.011	-0.0856	0.007324
545	0.986	-0.1106	0.012228	595	0.996	-0.1006	0.010117
546	1.327	0.2304	0.053092	596	0.914	-0.1826	0.033336
547	1.087	-0.0096	0.000092	597	0.889	-0.2076	0.043090
548	1.138	0.0414	0.001715	598	1.266	0.1694	0.028702
549	1.316	0.2194	0.048144	599	1.034	-0.0626	0.003917
550	1.262	0.1654	0.027363	600	1.22	0.1234	0.015232

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
601	1.082	-0.0146	0.000213
602	1.042	-0.0546	0.002979
603	1.229	0.1324	0.017535
604	1.261	0.1644	0.027033
605	1.19	0.0934	0.008727
606	1.084	-0.0126	0.000158
607	0.998	-0.0986	0.009718
608	1.27	0.1734	0.030074
609	1.271	0.1744	0.030422
610	1.076	-0.0206	0.000424
611	1.09	-0.0066	0.000043
612	0.87	-0.2266	0.051339
613	0.8	-0.2966	0.087961
614	0.928	-0.1686	0.028420
615	1.024	-0.0726	0.005268
616	0.987	-0.1096	0.012008
617	1.063	-0.0336	0.001128
618	1.271	0.1744	0.030422
619	1.315	0.2184	0.047706
620	1.029	-0.0676	0.004567
621	1.226	0.1294	0.016749
622	1.26	0.1634	0.026705
623	0.989	-0.1076	0.011574
624	1.298	0.2014	0.040569
625	1.294	0.1974	0.038974
626	0.817	-0.2796	0.078166
627	0.951	-0.1456	0.021194
628	0.999	-0.0976	0.009522
629	1.147	0.0504	0.002542
630	1.175	0.0784	0.006149
631	1.132	0.0354	0.001254
632	1.259	0.1624	0.026380
633	0.998	-0.0986	0.009718
634	1.027	-0.0696	0.004842
635	1.08	-0.0166	0.000275
636	0.95	-0.1466	0.021486
637	1.093	-0.0036	0.000013
638	1.086	-0.0106	0.000112
639	1.011	-0.0856	0.007324
640	1.297	0.2004	0.040167
641	1.157	0.0604	0.003650
642	1.167	0.0704	0.004959
643	1.162	0.0654	0.004280
644	1.226	0.1294	0.016749
645	1.125	0.0284	0.000808
646	1.107	0.0104	0.000109
647	1.149	0.0524	0.002748
648	0.906	-0.1906	0.036322
649	1.188	0.0914	0.008357
650	1.063	-0.0336	0.001128

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
651	1.006	-0.0906	0.008205
652	1.192	0.0954	0.009105
653	0.877	-0.2196	0.048216
654	0.958	-0.1386	0.019205
655	1.167	0.0704	0.004959
656	0.965	-0.1316	0.017314
657	1.266	0.1694	0.028702
658	1.252	0.1554	0.024155
659	1.129	0.0324	0.001051
660	1.123	0.0264	0.000698
661	0.931	-0.1656	0.027417
662	1.274	0.1774	0.031477
663	1.206	0.1094	0.011972
664	0.975	-0.1216	0.014782
665	0.984	-0.1126	0.012675
666	1.152	0.0554	0.003071
667	0.99	-0.1066	0.011360
668	0.84	-0.2566	0.065834
669	0.994	-0.1026	0.010523
670	1.129	0.0324	0.001051
671	0.982	-0.1146	0.013129
672	1.137	0.0404	0.001634
673	0.831	-0.2656	0.070534
674	1.269	0.1724	0.029728
675	1.171	0.0744	0.005538
676	0.921	-0.1756	0.030829
677	1.15	0.0534	0.002853
678	1.077	-0.0196	0.000383
679	0.925	-0.1716	0.029440
680	1.037	-0.0596	0.003550
681	1.265	0.1684	0.028365
682	0.972	-0.1246	0.015521
683	1.212	0.1154	0.013321
684	1.101	0.0044	0.000020
685	1.26	0.1634	0.026705
686	0.925	-0.1716	0.029440
687	1.224	0.1274	0.016235
688	1.2	0.1034	0.010695
689	1.248	0.1514	0.022927
690	1.231	0.1344	0.018068
691	1.263	0.1664	0.027695
692	1.274	0.1774	0.031477
693	1.214	0.1174	0.013787
694	1.137	0.0404	0.001634
695	1.193	0.0964	0.009296
696	1.135	0.0384	0.001476
697	1.008	-0.0886	0.007847
698	0.88	-0.2166	0.046908
699	1.226	0.1294	0.016749
700	0.954	-0.1426	0.020330

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	X - μ	(X - μ) ²
701	1.121	0.0244	0.000596
702	1.147	0.0504	0.002542
703	0.968	-0.1286	0.016533
704	1.019	-0.0776	0.006019
705	1.085	-0.0116	0.000134
706	1.123	0.0264	0.000698
707	1.085	-0.0116	0.000134
708	1.122	0.0254	0.000646
709	0.941	-0.1556	0.024206
710	1.271	0.1744	0.030422
711	0.82	-0.2766	0.076498
712	1.266	0.1694	0.028702
713	1.132	0.0354	0.001254
714	1.251	0.1544	0.023845
715	1.193	0.0964	0.009296
716	1.285	0.1884	0.035501
717	1.241	0.1444	0.020857
718	0.881	-0.2156	0.046476
719	1.213	0.1164	0.013553
720	1.117	0.0204	0.000417
721	0.976	-0.1206	0.014540
722	0.957	-0.1396	0.019483
723	1.095	-0.0016	0.000003
724	1.195	0.0984	0.009686
725	1.057	-0.0396	0.001567
726	0.9	-0.1966	0.038645
727	0.998	-0.0986	0.009718
728	1.094	-0.0026	0.000007
729	1.033	-0.0636	0.004043
730	1.274	0.1774	0.031477
731	1.049	-0.0476	0.002264
732	1.277	0.1804	0.032551
733	1.117	0.0204	0.000417
734	1.073	-0.0236	0.000556
735	0.934	-0.1626	0.026433
736	1.236	0.1394	0.019437
737	1.061	-0.0356	0.001266
738	0.979	-0.1176	0.013826
739	1.13	0.0334	0.001117
740	0.972	-0.1246	0.015521
741	1.292	0.1954	0.038188
742	1.274	0.1774	0.031477
743	1.219	0.1224	0.014986
744	1.313	0.2164	0.046837
745	1.347	0.2504	0.062709
746	1.155	0.0584	0.003413
747	1.1	0.0034	0.000012
748	1.267	0.1704	0.029042
749	1.105	0.0084	0.000071
750	0.964	-0.1326	0.017578

Simulación	F.S	X - μ	(X - μ) ²
751	1.279	0.1824	0.033276
752	0.837	-0.2596	0.067383
753	1.047	-0.0496	0.002458
754	0.983	-0.1136	0.012901
755	1.188	0.0914	0.008357
756	1.147	0.0504	0.002542
757	1.098	0.0014	0.000002
758	1.16	0.0634	0.004022
759	1.231	0.1344	0.018068
760	1.171	0.0744	0.005538
761	1.086	-0.0106	0.000112
762	1.272	0.1754	0.030771
763	1.16	0.0634	0.004022
764	1.13	0.0334	0.001117
765	0.88	-0.2166	0.046908
766	1.268	0.1714	0.029384
767	1.147	0.0504	0.002542
768	1.251	0.1544	0.023845
769	1.258	0.1614	0.026056
770	1.21	0.1134	0.012864
771	1.105	0.0084	0.000071
772	1.207	0.1104	0.012192
773	1.226	0.1294	0.016749
774	1.042	-0.0546	0.002979
775	1.244	0.1474	0.021732
776	1.24	0.1434	0.020569
777	1.083	-0.0136	0.000184
778	1.25	0.1534	0.023537
779	1.123	0.0264	0.000698
780	1.257	0.1604	0.025734
781	0.972	-0.1246	0.015521
782	1.273	0.1764	0.031123
783	1.129	0.0324	0.001051
784	0.958	-0.1386	0.019205
785	1.264	0.1674	0.028029
786	1.073	-0.0236	0.000556
787	0.89	-0.2066	0.042676
788	1.031	-0.0656	0.004301
789	1.122	0.0254	0.000646
790	1.072	-0.0246	0.000604
791	0.804	-0.2926	0.085604
792	0.997	-0.0996	0.009917
793	1.172	0.0754	0.005688
794	1.264	0.1674	0.028029
795	1.244	0.1474	0.021732
796	1.256	0.1594	0.025414
797	1.208	0.1114	0.012414
798	1.195	0.0984	0.009686
799	1.102	0.0054	0.000029
800	1.074	-0.0226	0.000510

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
801	1.102	0.0054	0.000029
802	0.992	-0.1046	0.010937
803	0.994	-0.1026	0.010523
804	1.101	0.0044	0.000020
805	1.027	-0.0696	0.004842
806	0.916	-0.1806	0.032610
807	1.111	0.0144	0.000208
808	1.268	0.1714	0.029384
809	1.232	0.1354	0.018338
810	1.257	0.1604	0.025734
811	0.853	-0.2436	0.059332
812	0.943	-0.1536	0.023587
813	1.269	0.1724	0.029728
814	0.964	-0.1326	0.017578
815	1.178	0.0814	0.006629
816	1.127	0.0304	0.000925
817	1.033	-0.0636	0.004043
818	1.129	0.0324	0.001051
819	1.169	0.0724	0.005244
820	1.198	0.1014	0.010286
821	1.292	0.1954	0.038188
822	1.11	0.0134	0.000180
823	1.124	0.0274	0.000752
824	0.952	-0.1446	0.020904
825	1.179	0.0824	0.006793
826	0.959	-0.1376	0.018929
827	1.011	-0.0856	0.007324
828	1.03	-0.0666	0.004433
829	1.13	0.0334	0.001117
830	0.996	-0.1006	0.010117
831	1.26	0.1634	0.026705
832	1.255	0.1584	0.025096
833	1.268	0.1714	0.029384
834	1.257	0.1604	0.025734
835	0.796	-0.3006	0.090350
836	1.115	0.0184	0.000339
837	1.077	-0.0196	0.000383
838	0.956	-0.1406	0.019763
839	1.003	-0.0936	0.008758
840	1.187	0.0904	0.008175
841	1.077	-0.0196	0.000383
842	1.086	-0.0106	0.000112
843	0.947	-0.1496	0.022375
844	0.995	-0.1016	0.010319
845	0.858	-0.2386	0.056921
846	0.986	-0.1106	0.012228
847	1.128	0.0314	0.000987
848	1.133	0.0364	0.001326
849	1.232	0.1354	0.018338
850	1.307	0.2104	0.044276

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
851	1.204	0.1074	0.011539
852	1.05	-0.0466	0.002170
853	1.231	0.1344	0.018068
854	1.16	0.0634	0.004022
855	0.924	-0.1726	0.029785
856	1.004	-0.0926	0.008571
857	1.241	0.1444	0.020857
858	1.22	0.1234	0.015232
859	1.048	-0.0486	0.002360
860	1.29	0.1934	0.037410
861	1.071	-0.0256	0.000654
862	1.227	0.1304	0.017009
863	1.148	0.0514	0.002644
864	1.082	-0.0146	0.000213
865	1.071	-0.0256	0.000654
866	1.241	0.1444	0.020857
867	1.247	0.1504	0.022626
868	0.984	-0.1126	0.012675
869	1.303	0.2064	0.042608
870	1.13	0.0334	0.001117
871	1.066	-0.0306	0.000935
872	1.138	0.0414	0.001715
873	1.029	-0.0676	0.004567
874	1.263	0.1664	0.027695
875	1.098	0.0014	0.000002
876	1.145	0.0484	0.002344
877	1.284	0.1874	0.035125
878	1.174	0.0774	0.005994
879	1.172	0.0754	0.005688
880	1.061	-0.0356	0.001266
881	0.933	-0.1636	0.026759
882	1.139	0.0424	0.001799
883	0.919	-0.1776	0.031535
884	1.072	-0.0246	0.000604
885	1.146	0.0494	0.002442
886	1.158	0.0614	0.003772
887	1.007	-0.0896	0.008025
888	1.254	0.1574	0.024780
889	0.986	-0.1106	0.012228
890	1.002	-0.0946	0.008946
891	0.819	-0.2776	0.077052
892	1.11	0.0134	0.000180
893	1.134	0.0374	0.001400
894	1.125	0.0284	0.000808
895	1.15	0.0534	0.002853
896	0.928	-0.1686	0.028420
897	1.101	0.0044	0.000020
898	1.199	0.1024	0.010489
899	1.197	0.1004	0.010084
900	1.236	0.1394	0.019437

ANEXO 1.2

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
901	1.048	-0.0486	0.002360
902	1.103	0.0064	0.000041
903	0.985	-0.1116	0.012451
904	1.12	0.0234	0.000548
905	1.214	0.1174	0.013787
906	1.208	0.1114	0.012414
907	1.106	0.0094	0.000089
908	1.16	0.0634	0.004022
909	1.073	-0.0236	0.000556
910	1.279	0.1824	0.033276
911	1.114	0.0174	0.000303
912	0.933	-0.1636	0.026759
913	1.246	0.1494	0.022326
914	1.126	0.0294	0.000865
915	1.103	0.0064	0.000041
916	1.129	0.0324	0.001051
917	0.991	-0.1056	0.011148
918	1.137	0.0404	0.001634
919	1.196	0.0994	0.009884
920	0.977	-0.1196	0.014300
921	1.046	-0.0506	0.002559
922	1.26	0.1634	0.026705
923	1.125	0.0284	0.000808
924	1.223	0.1264	0.015981
925	1.281	0.1844	0.034010
926	0.953	-0.1436	0.020616
927	0.975	-0.1216	0.014782
928	1.05	-0.0466	0.002170
929	0.879	-0.2176	0.047342
930	1.129	0.0324	0.001051
931	0.977	-0.1196	0.014300
932	1.001	-0.0956	0.009136
933	1.101	0.0044	0.000020
934	1.11	0.0134	0.000180
935	0.953	-0.1436	0.020616
936	1.185	0.0884	0.007818
937	0.936	-0.1606	0.025787
938	1.075	-0.0216	0.000466
939	1.132	0.0354	0.001254
940	0.996	-0.1006	0.010117
941	1.082	-0.0146	0.000213
942	1.073	-0.0236	0.000556
943	1.051	-0.0456	0.002078
944	1.176	0.0794	0.006307
945	1.246	0.1494	0.022326
946	0.992	-0.1046	0.010937
947	1.257	0.1604	0.025734
948	1.132	0.0354	0.001254
949	0.986	-0.1106	0.012228
950	1.215	0.1184	0.014023

Simulación	F.S	$X - \mu$	$(X - \mu)^2$
951	1.076	-0.0206	0.000424
952	0.9	-0.1966	0.038645
953	1.147	0.0504	0.002542
954	1.231	0.1344	0.018068
955	1.242	0.1454	0.021146
956	0.989	-0.1076	0.011574
957	1.117	0.0204	0.000417
958	0.977	-0.1196	0.014300
959	1.239	0.1424	0.020283
960	1.157	0.0604	0.003650
961	1.1	0.0034	0.000012
962	0.904	-0.1926	0.037088
963	1.05	-0.0466	0.002170
964	1.149	0.0524	0.002748
965	1.177	0.0804	0.006467
966	0.959	-0.1376	0.018929
967	1.05	-0.0466	0.002170
968	0.989	-0.1076	0.011574
969	1.226	0.1294	0.016749
970	1.056	-0.0406	0.001647
971	1.155	0.0584	0.003413
972	1.141	0.0444	0.001973
973	0.975	-0.1216	0.014782
974	0.947	-0.1496	0.022375
975	1.181	0.0844	0.007126
976	1.093	-0.0036	0.000013
977	1.091	-0.0056	0.000031
978	1.116	0.0194	0.000377
979	1.136	0.0394	0.001554
980	1.087	-0.0096	0.000092
981	1.053	-0.0436	0.001899
982	0.965	-0.1316	0.017314
983	1.236	0.1394	0.019437
984	1.092	-0.0046	0.000021
985	1.246	0.1494	0.022326
986	1.205	0.1084	0.011754
987	1.221	0.1244	0.015480
988	1.173	0.0764	0.005840
989	1.153	0.0564	0.003183
990	0.941	-0.1556	0.024206
991	0.923	-0.1736	0.030131
992	0.804	-0.2926	0.085604
993	0.911	-0.1856	0.034441
994	1.24	0.1434	0.020569
995	1.151	0.0544	0.002961
996	0.976	-0.1206	0.014540
997	1.249	0.1524	0.023231
998	1.253	0.1564	0.024467
999	1.215	0.1184	0.014023
1000	1.039	-0.0576	0.003316

ANEXO 1.3

PRUEBA DE CHI CUADRADA PARA FUNCIÓN BETA β

Tabla A1. Tabla de frecuencias observadas para cada categoría de F.S. para la función beta β .

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (4)
1	0.644	0.744	3
2	0.744	0.844	26
3	0.844	0.944	86
4	0.944	1.044	236
5	1.044	1.144	273
6	1.144	1.244	217
7	1.244	1.344	156
8	1.344	1.444	3

Tabla A2. Tabla de frecuencias esperadas para cada categoría de F.S.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Area (4)	Frecuencias Esperadas (5)
1	0.644	0.744	0.0005	0.541
2	0.744	0.844	0.0189	18.864
3	0.844	0.944	0.0984	98.443
4	0.944	1.044	0.2169	216.943
5	1.044	1.144	0.2780	278.002
6	1.144	1.244	0.2290	228.995
7	1.244	1.344	0.1196	119.611
8	1.344	1.444	0.0386	38.601
		$\Sigma =$	1.0000	1000.0

Se aplica la ecuación (53) para obtener los valores de la columna 6 en la tabla A3

ANEXO 1.3

Tabla A3. Tabla de valores de X^2 con el número de categorías reducida.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (5)	Frecuencias Esperadas (5)	χ^2 (6)
1	0.644	0.744			
2	0.744	0.844	29	19.41	4.7440
3	0.844	0.944	86	98.44	1.5729
4	0.944	1.044	236	216.94	1.6741
5	1.044	1.144	273	278.00	0.0900
6	1.144	1.244	217	228.99	0.6283
7	1.244	1.344	159	158.21	0.0039
8	1.344	1.444			
		$\Sigma =$	1000	1000	8.7132

Para un valor $k = 6$, se tiene que:

$$v = k - 1$$

$$v = 6 - 1 = 5$$

Para un valor de significancia $\alpha = 0.05$ se tiene:

$$X_0^2 = 11.07$$

Se realiza la siguiente evaluación:

$$X_0^2 < \Sigma X^2$$

$$11.07 > 8.7132$$

\therefore Se acepta la hipótesis H_0 , es decir, la función beta β se ajusta con los datos obtenidos.

ANEXO 1.3

PRUEBA DE CHI CUADRADA PARA FUNCIÓN GAMA γ

Tabla A4. Tabla de frecuencias observadas para cada categoría de F.S. para la función gama γ .

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (4)
1	0.644	0.744	3
2	0.744	0.844	26
3	0.844	0.944	86
4	0.944	1.044	236
5	1.044	1.144	273
6	1.144	1.244	217
7	1.244	1.344	156
8	1.344	1.444	3

Tabla A5. Tabla de frecuencias esperadas para cada categoría de F.S.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Area (4)	Frecuencias Esperadas (5)
1	0.644	0.744	0.002	2.31
2	0.744	0.844	0.022	21.65
3	0.844	0.944	0.091	91.26
4	0.944	1.044	0.202	202.10
5	1.044	1.144	0.263	263.29
6	1.144	1.244	0.220	219.94
7	1.244	1.344	0.126	125.96
8	1.344	1.444	0.073	73.48
		$\Sigma =$	1.00	1000.0

Se aplica la ecuación (53) para obtener los valores de la columna 6 en la tabla A6

ANEXO 1.3

Tabla A6. Tabla de valores de X^2 con el número de categorías reducida.

Categoría (1)	Límite inferior (2)	Límite superior (3)	Frecuencias Observadas (4)	Frecuencias Esperadas (5)	χ^2 (6)	
1	0.644	0.744				
2	0.744	0.844	29	23.96	1.0581	
3	0.844	0.944	86	91.26	0.3030	
4	0.944	1.044	236	202.10	5.6856	
5	1.044	1.144	273	263.29	0.3577	
6	1.144	1.244	217	219.94	0.0392	
7	1.244	1.344	159	199.44	8.2011	
8	1.344	1.444				
			$\Sigma =$	1000	1000	15.6448

Para un valor $k = 6$, se tiene que:

$$v = k - 1$$

$$v = 6 - 1 = 5$$

Para un valor de significancia $\alpha = 0.05$ se tiene:

$$X_0^2 = 11.07$$

Se realiza la siguiente evaluación:

$$X_0^2 < \Sigma X^2$$

$$11.07 < 15.6448$$

\therefore Se rechaza la hipótesis H_0 , es decir, la función gama γ no se ajusta con los datos obtenidos.