

MODELAMIENTO DE FLUJO DE LODOS PROVENIENTE DEL RÍO EL
BARRANCO MEDIANTE EL SOFTWARE TITAN2D

TERESITA DEL PILAR ARGOTY CEPEDA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO

2010

MODELAMIENTO DE FLUJO DE LODOS PROVENIENTE DEL RÍO EL
BARRANCO MEDIANTE EL SOFTWARE TITAN2D

TERESITA DEL PILAR ARGOTY CEPEDA

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR:
ING. GUSTAVO CORDOBA GUERRERO PhD

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO

2010

CONTENIDO

1. CARACTERISTICAS DE LA ZONA	5
1.1. LA FLORIDA	5
1.2. VOLCÁN GALERAS	5
1.2.1. COMPLEJO VOLCÁNICO GALERAS	7
1.2.2. ACTIVIDAD RECIENTE	8
1.2.3. GEOLOGÍA	8
2. FLUJOS DE LODOS	11
2.1. MAPA DE AMENAZA DEL VOLCÁN GALERAS	11
3. TITAN2D	13
3.1. Consola Gráfica	13
3.1.1. Especificaciones de los datos del SIG	13
3.1.2. Parametros Computacionales	14
3.1.3. Pila, Flux-Source y parámetros de propiedades del material	20
4. DATOS	24

4.1. TOPOGRAFÍA	24
5. SIMULACIONES	25
5.1. SIMULACION 1	25
5.2. SIMULACION 2	25
5.3. SIMULACION 3	26

1 CARACTERISTICAS DE LA ZONA

1.1. LA FLORIDA

El 11 de noviembre de 1820 se fundó en lo que hoy es la Florida, el caserío de Mombuco (Que significa "Valle Angosto") por don Juan Meneses, y entró a formar parte de la Parroquia de San Bartolomé de Matituy, siendo esta fundación dentro de la historia nariñense, la primera registrada en el siglo XIX. El mismo, en el año de 1843, tramitó el cambio de nombre por el de La Florida, haciendo referencia a su pintoresco paisaje.

El Municipio de la Florida se ubica en la parte noroccidental del Departamento de Nariño y su espacio territorial esta localizado geográficamente a 1^o 18" de latitud Norte y 17^o 24" de longitud oeste.

El municipio de La Florida limita al Norte con el municipio de El Tambo, al Sur con los municipios de Sandoná y Consacá, al Oriente con los municipios de Pasto, Chachaguí y Nariño y al Occidente con el municipio de Sandoná. Esta ubicado a una distancia de 24.7 kms de la capital del Departamento (Pasto).

Su cabecera del corregimiento se encuentra a una altitud de 2.077 (m.s.n.m), la extensión total es de 143 Km² y la distancia de referencia a la ciudad de Pasto es de 27 kilómetros. Tiene una temperatura media de 17 C^o y una precipitación anual de 2.500 mm, posee tres pisos térmicos: Clima frío con un área total de 78 km², Clima medio con un área de 52 Km² y páramo con 9 Km². Los pisos térmicos se distribuyen de la siguiente manera:

Páramo: 201.99 Ha. Páramo Húmedo: 413.7 Ha. Muy Frío Sub-húmedo: 533.09 Ha. Frío Semi-húmedo: 6627.65 Ha. Medio Húmedo: 3055.61 Ha. Medio Seco: 904.40 Ha. Cálido Semi-seco: 739.66 Ha. Cálido Seco: 75.3 Ha. Total 12551.4 Ha.

1.2. VOLCÁN GALERAS

El volcán Galeras, es uno de los mas activos de Colombia. Está ubicado en el departamento de Nariño, a 9 km al occidente de la ciudad de San Juan de Pasto, con una

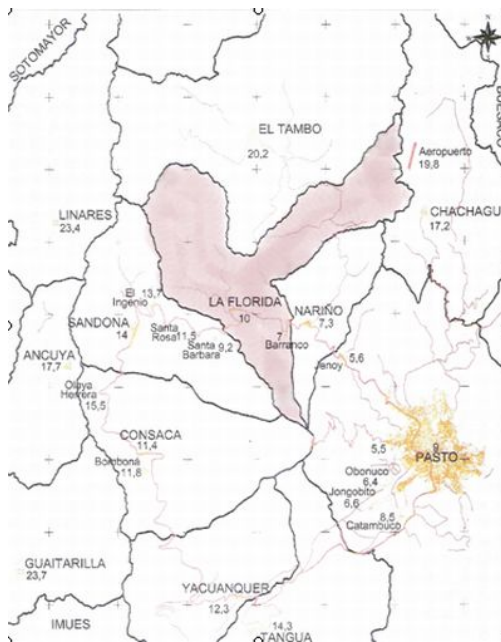


Ubicación de Nariño Respecto a Colombia. Disponible en Internet: URL:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia-narino-SIM.svg>

altura de 4270 m.s.n.m. En la zona de influencia se encuentran 6 municipios y mas de 7 corregimientos, con una población de aproximadamente 500000 habitantes.

El Galeras es un estrato volcán andesítico, con una actividad caracterizada fundamentalmente por erupciones de tipo vulcaniano. Con base en dataciones Carbono14, al edificio del Galeras se le ha asignado una edad aproximada de 5.000 años, tiempo durante el cual se identificaron seis períodos de erupciones mayores con generación de flujos piroclásticos, caídas piroclásticas, flujos de lava y flujos de lodo o escombros, cuyo volumen es de aproximadamente 0,7 km³ (Calvache, 1990; Calvache, 1995; Calvache et al., 1997).

El Volcán Galeras constituye el centro actual de actividad en el CVG; está localizado en la cicatriz dejada por el colapso del volcán Urcunina. El estrato cono del Galeras tiene una altura de 150 m, un cráter principal con un diámetro aproximado de 300 m y una profundidad de 150 m. Adicionalmente, existen otros cuatro cráteres pequeños sobre el



Ubicación de La Florida respecto a Nariño. Disponible en Internet: URL: <http://www.laflorida-narino.gov.co/>

cono; el mayor de ellos denominado El Pinta, el cual está localizado inmediatamente al noreste del cráter principal, con aproximadamente 70 m de diámetro mayor y 30 m de diámetro menor; los otros cráteres restantes están alineados con El Pinta, y siguen una dirección N-S (Ordóñez y Cepeda, 1997).

1.2.1. COMPLEJO VOLCÁNICO GALERAS Estudios detallados permitieron establecer que en el Complejo Volcanico Galeras (CVG), la composición global y las características petrográficas de los productos volcánicos son casi constantes, aunque pueden variar dentro de etapas individuales de actividad (Calvache y Williams, 1997). grado de alteración, pueden ser amarillas a anaranjada. La matriz varía desde gris oscuro, vítrea pobre en microlitos a gris clara rica en microlitos. En material vesicular, la matriz tiene muy pocos microlitos.

Calvache, 1995; Calvache y Cortés, 1996; Calvache et al., 1997 asumen que los depósitos producidos durante cada etapa son el resultado de numerosos episodios eruptivos que ocurrieron sobre largos períodos de tiempo, y representan inclusive ambientes que ahora han desaparecido; agrupan las diferentes sucesiones volcánicas sobre las bases

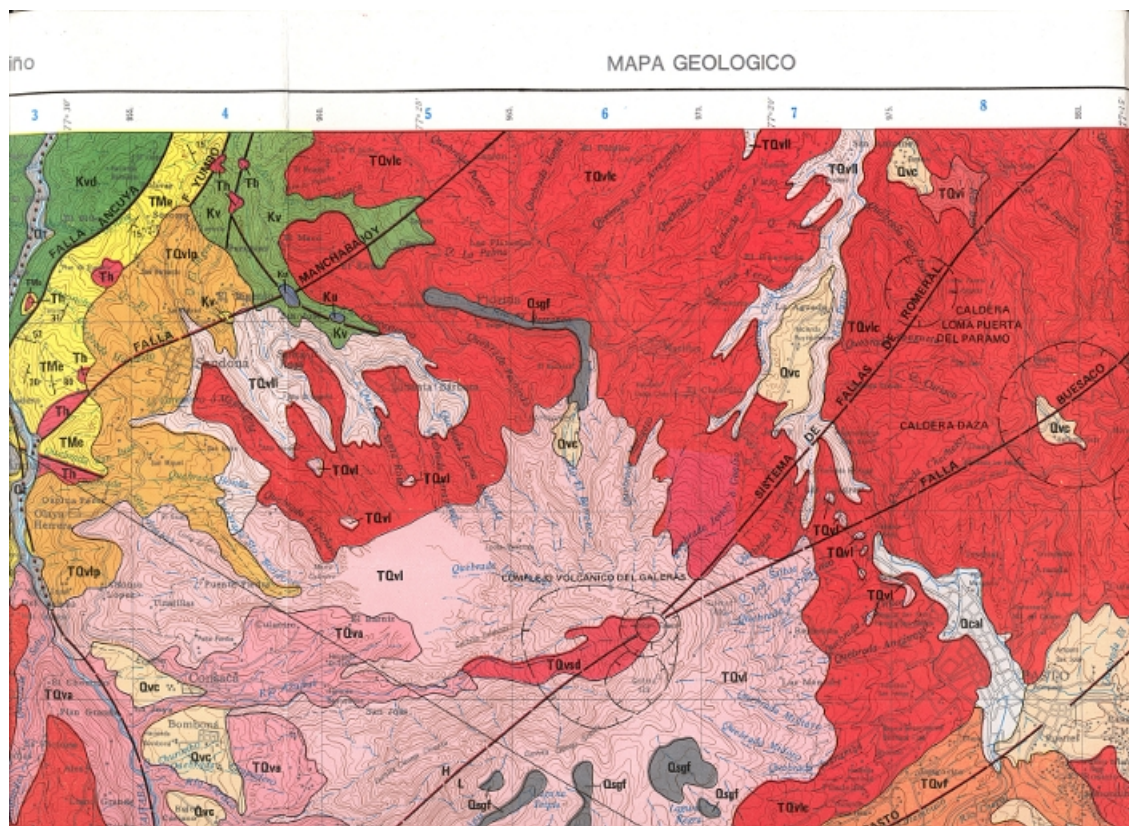
de diferencias morfológicas (grado de erosión, existencia de rasgos glaciares, cambios de pendiente y otros), posición estratigráfica relativa del centro de erupción inferido, litología y edad. Los depósitos de las etapas más recientes están mejor preservados, y facilitan la relación entre depósitos y etapas. Para las etapas más antiguas, los límites y relaciones originales entre depósitos son enmascarados por procesos como erosión, cambios en facies, alteración y deposición de materiales más recientes como cenizas originadas en otros centros volcánicos; lo que hace que los límites no sean fácilmente determinables y tengan que inferirse.

Las subdivisiones informales de la Formación Los Pastos, asimiladas de las seis etapas del Complejo Volcánico del Galeras, en el sentido de Calvache (1995), Calvache y Cortés (1996) y Calvache et al. (1997) son, en orden de antigüedad, Cariaco, Pamba, Coba Negra, Jenoy, Urcunina y Galeras .

1.2.2. ACTIVIDAD RECIENTE El actual ciclo de actividad del Galeras, iniciado en 1988, se caracteriza principalmente por la ocurrencia de eventos tales como: (1) erupciones vulcanianas semicontinuas originadas en el cráter secundario El Pinta, entre el 4 y el 9 de mayo de 1989; (2) emplazamiento de un domo de lava andesítica en el fondo del cráter principal entre octubre y noviembre de 1991; (3) seis erupciones vulcanianas originadas en el cráter principal durante 1992 y 1993; y (4) tres crisis de sismicidad volcánica tectónica en abril de 1993, noviembre y diciembre de 1993 y marzo de 1995 (Cortés y Raigosa, 1997).

1.2.3. GEOLOGÍA Se diferencian 3 zonas geológicas según la plancha 429 del Mapa Geológico de Colombia por las que atraviesa el río el barranco, estas son:

Lavas (TQv1): se encuentra en la zona alta del río el barranco, entre los 2700 y los 3800 m.s.n.m aproximadamente. Se trata principalmente de flujos masivos de forma tubular y algunos escoriáceos, lavas aa' y lavas en bloques; generalmente se hallan intercalados con otros materiales volcánicos; con rocas porfíricas, con fenocristales que rara vez sobrepasan los 2mm en su mayor diámetro y que presentan evidentes texturas de flujo. Son principalmente andesitas de dos piroxenos y plagioclasa cálcica y dacitas con anfíbol y plagioclasa sódica; además pueden presentar cuarzo microcristalino, olivino y biotita como accesorio o xenocristales; el vidrio se presenta en la matriz y rellenando vesículas en proporciones variable.



Segmento de la plancha geológica 429 - Pasto.

Lluvias de Ceniza (Qvc): se encuentra en la zona media de la cuenca de río barranco, entre los 2700 y los 2500 m.s.n.m aproximadamente. Representan la actividad explosiva de los diferentes focos volcánicos, están suavizando una morfología preexistente y modelan, en gran parte, la actual. Presentan una morfología de lomas pequeñas y redondeadas, con estructuras típicas de depósitos sedimentarios como gradación. Los depósitos se componen fundamentalmente de vidrio, biotita, plagioclasa, hornablenda, cuarzo, feldespato potásico y fragmentos de pumita. Predominan las composiciones dacítica y andesítica. La actividad volcánica cenozoica ha sido de tipo lávico-piroclástica, asociada principalmente a volcanes, compuestos. Las lavas del Terciario-Cuaternario se relacionan con focos volcánicos activos y extintos que, por lo general, se desarrollan en intersecciones de fallas. De análisis petrográficos y químicos, se puede concluir que la mayoría de estas lavas, predominantemente andesitas, pertenecen principalmente a la serie calcoalcalina de márgenes continentales activos y fueron formadas a partir de magmas originados en la placa que subduce y en la cuña del manto sobre ella, con contaminación

mas o menos importante.

Depósitos Glaciares y Fluvio-Glaciares (Qsgf): En el área del Volcán Galeras se encuentra una morfología glacial típica, donde se conservan muy bien circos, valles en U, lagunas represadas por morrenas de recesión y morrenas laterales terminales y de recesión. Los depositos netamente glaciares se hallan cubiertos totalmente por vegetación de páramo y sólo son distinguibles los del tipo fluvio-glacial, representados por gravas y arenas principalmente. Partiendo de la base de que se conserva muy bien la morfología glacial en el área y que las dataciones de depósitos glaciares a nivel regional se restringen al Cuaternario, no hay bases para creer que los depósitos de este tipo en la plancha posean edad diferente.

2 FLUJOS DE LODOS

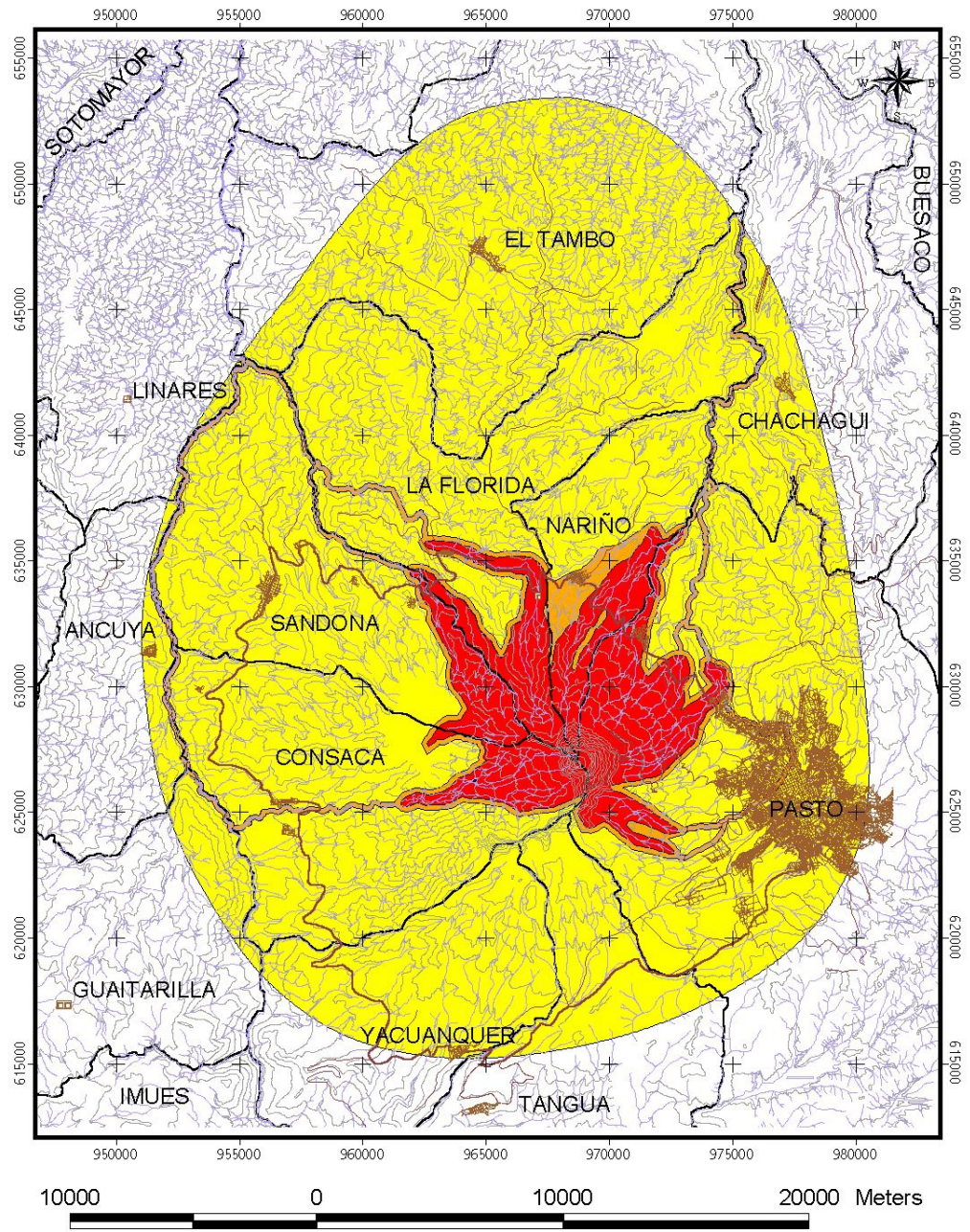
En toda erupción que produce grandes cantidades de cenizas y fragmentos gruesos, estos materiales se acumulan en las laderas del volcán, algunas veces con espesores de varios metros en sitios cercanos al cráter.

Cuando caen lluvias fuertes sobre estos depósitos sueltos, se transforman en una mezcla densa pero fluida como concreto húmedo que fluye fácilmente pendiente abajo. Tales flujos de lodo volcánico incluyen materiales como bloques de lava, mucho mayores en tamaño que las partículas que comúnmente componen el lodo. Los flujos de lodo son muy comunes en volcanes de los trópicos húmedos, y en Indonesia el término lahar se utiliza para designarlos.

La velocidad de los flujos depende del volumen y de la viscosidad del lodo, y de la pendiente y rugosidad del terreno, pudiendo alcanzar hasta 50 Km/h, y en casos excepcionales, 100 Km/h o más. La distancia que recorren depende de su volumen y la naturaleza del terreno, pero en casos extremos han excedido los 100 Km.

La mayoría de los flujos son disparados por fuertes lluvias después que una erupción ha estado produciendo material, pero también se pueden disparar por cualquier condición que produzca grandes cantidades de agua que se mezcle con el material suelto, tal como el desagüe de un lago de cráter, el fundido rápido de nieve o hielo, o cuando el material suelto acumulado en las pendientes fuertes está cerca del punto de saturación y el tremor volcánico provoca su licuación. Dependiendo de cómo y en qué etapa de la erupción se origine el flujo de lodo, éste puede ser caliente o frío, pero nunca es más caliente que el punto de ebullición del agua, aunque algunos fragmentos recién eruptados, contenidos en el flujo, pueden tener temperaturas superiores a los 100°C.

2.1. MAPA DE AMENAZA DEL VOLCÁN GALERAS



INGEOMINAS – PASTO

Mapa de amenaza volcánica de Galeras, Tercera Versión.

3 TITAN2D

3.1. Consola Gráfica

3.1.1. Especificaciones de los datos del SIG

- La casilla “GIS Information Main Directory” muestra la ubicación de los SIG datasets (conjunto de datos). Por ejemplo, esto puede ser “/nombre_de_equipo/home/usuario/dire”. El directorio “./grass5 /” es el directorio principal del SIG.
- Las casillas “GIS Map Set” y “GIS Map” permiten que el usuario escoja dentro del DEM dataset que conjunto de datos usar. El “GIS Map” debe estar dentro del directorio del “GIS Map Set”. Escriba el nombre de ambos dentro de la casilla apropiada.
- * NOTA: La siguiente característica está disponible sólo para usuarios que tienen una hoja de material específico (archivo con terminación en Mat). La casilla de verificación “Use GIS Material Map?” permite la entrada de una Base SIG del material superficial que coincida con el área cubierta por el DEM. Este mapa es usado para definir zonas de la región donde los cambios morfológicos de la superficie son resultado de un cambio en el ángulo de fricción basal. Cuando esta función está habilitada, ventanas emergentes (que aparecen después de hacer clic en el botón “run”) preguntarán por el ángulo de fricción interna y por el ángulo de fricción basal de cada material representado sobre el mapa del material. Si bien la ventana emergente le pide tantos ángulos de fricción interna y basal como materiales haya, TITAN2D usa únicamente el primer ángulo de fricción interna ingresado. No es necesario para introducir los valores para cada material, los ángulos ingresados en la primera ventana se trasladarán automáticamente a la siguiente si los valores no se modifican. Usted puede entrar en el ángulo de fricción interna en la primera ventana y cambiar sólo los ángulos basales en las ventanas posteriores.

3.1.2. Parametros Computacionales

- En la casilla “Simulation Directory Location” se especifica el directorio donde los archivos de salida de datos se almacenarán. Es necesario que un directorio se especifique en esta casilla. Si el directorio especificado ya existe, este no será reemplazado y los datos no serán procesados. La localización de las simulaciones se ubicarán en “../titan/bin/nombre_del_directorio/”. Por ejemplo, la ruta del directorio de la simulación “Prueba1” sería “../titan/bin/Prueba1/”. Cada vez que se corra una simulación, un nuevo directorio debe ser creado.
- El número de procesadores que el usuario decida utilizar debe ser especificado en la casilla “Number of Processors”. Si se especifica más de un procesador, cada uno recibe una parte de la carga de procesamiento, lo que disminuye el tiempo de ejecución de la simulación. Sin embargo, si se especifican los procesadores de más, los datos presentados pueden estar en cola hasta que el número de procesadores elegidos estén disponibles. El usuario debe ser consciente de la cantidad de procesadores disponibles en su máquina.
- TITAN2D crea una cuadrícula regular o malla en la que el cálculo se lleva a cabo. El valor especificado por el usuario en la casilla “Number of Computational Cells Across Smallest Pile/Flux-Source Diameter” se utiliza por Titan para determinar el nivel máximo de refinamiento en la grilla de celdas permitido durante toda la simulación. Utilizando el caso por defecto, como ejemplo, que se produce si el usuario deja en blanco este campo, será usado el valor 20. Luego, cuando se inicie la simulación, la grilla de celdas que contienen el centroide de cada pila es sucesivamente refinada (es decir, dividida en 4 celdas “hijas”) hasta que su tamaño no sea mayor que $1/20$ del diámetro más pequeño de la pila o la fuente de flujo. Este es el tamaño de la celda más pequeña de cómputo que puede permitirse en el mapa durante el curso de la simulación. Aunque con la opción “adaptive grid” (donde las celdas son máximamente refinadas), lo anterior no se producirá en todas partes, sino cuando sea necesario (sólo en la proximidad del borde de una pila, o cuando un flujo de masa llegue a ser muy grande), es importante aquí elegir un valor que logre un equilibrio entre el tiempo de cálculo y la precisión del mismo. Si hay muchas pilas de escombros, todas ellas tendrán un máximo de refinamiento en el borde de toda la simulación. Si el tamaño de las celdas refinadas es muy

pequeño, entonces habrá más de ellos y más tiempo de cálculo será necesario para procesar los datos, junto con más espacio en disco para almacenamiento.

- El usuario también debe especificar “Number of Piles”, número de pilas, para incluir en una simulación. El usuario puede especificar cualquier número de pilas para una sola simulación. Cada uno de los atributos de las pilas, tales como su tamaño, orientación y ubicación, se especificarán por separado en ventanas emergentes tras completar esta primera ventana y ejecutar “Run”. Si dos o más pilas se incluyen en una simulación, estas se pueden colocar en cualquier parte del mapa, incluso superpuestas. Si se superponen varias pilas, la altura del material en ese lugar en particular se define como la mayor de las alturas de las pilas en ese punto en lugar de sumarlas todas.
- Además de modelar la evolución de una cantidad de material, como por ejemplo una pila de escombros, que atraviesa un terreno inclinado, Titan2D tiene la capacidad para simular la evolución de un material que es extruido activamente desde el suelo. Estas fuentes de material son llamadas “Flux-Sources” o en español fuentes de flujo. Al igual que el número de pilas, cualquier número de fuentes de flujo puede ser implementada utilizando la casilla “Number of Flux Sources”. Para cada flujo de fuente especificada se abrirá una ventana adicional más adelante, lo que permite al usuario definir sus propiedades específicas.
- En la siguiente casilla “Number of Discharge Planes”, el usuario especifica el número de planos de descarga. Esta nueva característica de Titán le da la capacidad de calcular la cantidad de material que cruza un plano, o una línea si el mapa es visto en planta, sobre el mapa DEM. Por cada plano de descarga que se especifica, se abrirá otra ventana para que el usuario introduzca las coordenadas de dos puntos extremos que formaran el plano. Conforme la simulación avanza, la cantidad (metros cúbicos) de material que cruzan por el plano se guarda en el directorio de la simulación (.../ bin/Prueba1, para este caso) en un archivo llamado discharge.out.

* Nota: El usuario puede especificar cualquier número de planos de descarga y se puede conectar en cualquier forma necesaria para captar el volumen de flujo que cruza por un límite específico. Una de ellas es la de formar un cuadro alrededor de una región en el mapa con 4 planos. Esto le permitirá realizar el seguimiento

de un volumen de flujo que entre o salga de esa zona, independientemente de su dirección.

- TITAN2D permite que varias propiedades de la simulación puedan ser escaladas. Al hacer clic en la casilla de verificación “Scale Simulation?”, escalar simulación, (la casilla se vuelve roja cuando se selecciona) permitiendo volver adimensionales las ecuaciones que gobiernan la simulación, usando la altura pila, gravedad y factores de escalamiento de longitud (otros, como la velocidad y escalas de tiempo, son variables derivadas a partir de las primeras). El escalamiento de la altura de pila se calcula automáticamente y se toma como la raíz al cubica volumen total de material que aparecerá en el mapa, ya sea una pila de masa constante, una fuente de flujo que extruye material activamente o una combinación de ambas. El factor de escala de la gravedad se toma simplemente como $9,80 \frac{m}{s^2}$. La escala de longitud debe ser especificada por el usuario en la casilla “If Scaled, Length Scale [m]”. Este factor hace referencia a la longitud que se espera recorra el flujo y sólo necesita ser especificada si la simulación se escala, lo cual para cálculos en terreno real es altamente recomendable.
- Los siguientes dos parámetros de entrada hacen referencia al tiempo de la simulación. El usuario debe especificar “Maximun Number of Time Steps”, número máximo de pasos y “Maximun Time [sec]”, máximo de tiempo en segundos (aunque se pueden utilizar fracciones de segundo). La simulación se detendrá cuando se llegue al numero máximo de pasos o cuando se llegue al tiempo de simulación especificado; lo que ocurra primero. En la casilla ”Time [sec] Between Results Output”, tiempo entre salida de resultados en segundos, el usuario puede especificar la frecuencia con la cual se crearan archivos de salida. Por ejemplo, si el usuario ejecuta la simulación con un valor de 5 en esta casilla no se producirán archivos cada 5 segundos sino cada 5 segundos simulados. El usuario también puede ingresar un valor en fracciones de segundos si así lo desea.

* Nota: La determinación de un criterio aceptable para detener la simulación es difícil cuando se consideran los casos en general. Debido a esto, los criterios de detención de la simulación deben ser establecido por el usuario. Los dos criterios, el máximo tiempo y el número máximo de intervalos, deben ser suficientemente elevados para que el evento geológico que se simula ya haya terminado o su velocidad sea considerablemente baja. Si cualquiera de estos valores es demasia-

do pequeño la simulación finalizará antes de que el material haya alcanzado el equilibrio estático. Si los dos valores se establecen excesivamente altos, se desperdiciará tiempo de calculo en una pila que ya ha alcanzado el reposo. La simulación se acabará cuando sea el número de pasos calculados sea igual al valor de la casilla “Maximum Number of Time Steps” o el tiempo de simulación alcance al valor de la casilla “Maximun Time [sec]”. El número de pasos de calculo necesarios para simular un evento geológico puede variar dependiendo de la cantidad de puntos de malla de cálculo, los parámetros de fricción, el uso de la red de adaptación, el orden de simulación, y la geometría inicial de pila y la ubicación.

- En la casilla “Time [sec] Between Results Output”, tiempo entre salida de resultados en segundos, el usuario puede especificar la frecuencia con la cual se crearan archivos de salida. Por ejemplo, si el usuario ejecuta la simulación con un valor de 5 en esta casilla no se producirán archivos cada 5 segundos sino cada 5 segundos simulados. El usuario también puede ingresar un valor en fracciones de segundos si así lo desea.
- El usuario también puede especificar el tiempo en segundos cada cuanto desea que se guarde la información, en la casilla “Time [sec] Between Saves”. Titan ahora tiene la capacidad de reinicio de la ejecución de una simulación guardada. Esto puede ser necesario en el caso que usted deba apagar o reiniciar el equipo o cuando el número máximo de iteraciones se ha alcanzado o ha caducado el tiempo de simulación. En lugar de ejecutar la simulación desde el inicio, usted puede continuar desde el punto en donde esta fue detenida. El valor introducido en este campo indica la frecuencia con que los datos de configuración para la ejecución actual se guardan en un archivo ubicado en la carpeta de la simulación. Para continuar con una simulación previamente detenida, el usuario debe:

[(a)]Busque el archivo restart0000.x más recientemente guardado (si se ejecuta en un equipo con dos procesadores, deberá buscar los archivos restart0000.x y restart0001.x, así sucesivamente según el numero de procesadores). Usted puede verificar cual fue el ultimo archivo guardado observando el valor del parámetro “savefile”, que puede ser 0 ó 1, de la ultima linea en el archivo output_summary.-00001. El usuario debe cambiar la extensión 0 ó 1 por la extensión *this*, es decir, el nombre del archivo restart0000.x (más reciente) por restart0000.this y ejecutar Titan de nuevo como de costumbre.

(Se debe tener en cuenta que con dos procesadores, el usuario debe cambiar el nombre de ambos archivos restart0000.x y restart0001.x a la extensión *.this* y ejecutar de nuevo Titan en su equipo con múltiples procesadores) * Nota: Si el interés de reiniciar la simulación es porque esta ha terminado debido a que el número máximo de iteraciones o tiempo de ejecución ha concluido, primero se debe encontrar y aumentar estos valores de forma adecuada en el archivo simulation.data, para permitir que se extienda el periodo de la simulación, antes de reiniciar la ejecución.

- La siguiente opción es “Adapt the Grid?”, adaptar la grilla? que es una casilla de verificación que hace referencia a la grilla computacional y reduce el costo computacional mientras mantiene la precisión de la simulación. Sin embargo, esto también puede introducir cierta inestabilidad en el cálculo. También se debe tener en cuenta que si esta casilla no es seleccionada, entonces todo el DEM será analizado uniformemente con un máximo nivel de refinación, con celdas de tamaño determinado por el usuario en la casilla “Number of Computational Cells Across Smallest Pile/Flux-Source Diameter”. Debido al importante ahorro en tiempo de cálculo, se recomienda que el “Adapt the Grid” se seleccione a menos que se detecte inestabilidad en la salida.
- “Visualization Output”, salida de visualización permite al usuario elegir el formato de los archivos de salida (tecplotxxxx.plt, mshplotxxxx.plt, GMFG Viz, XDMF/Paraview, Web Viz o grass_sites). El usuario debe activar los botones correspondientes a las salidas deseadas, puede activar una, varias o todas con cada simulación. tecplotxxxx.plt y mshplotxxxx.plt son archivos Tecplot [www.amtec.com]. GMFG Viz es para el visualizador TITAN2D. XDMF/Paraview genera archivos xdmfxxxx.h5 y xdmfxxxx.xmf utilizados con la aplicación Paraview, disponible libremente en <http://www.paraview.org/>. Web Viz es salida para el Quickview Viewer.
- “First/Second Order Method”, método de primer o segundo orden. Por defecto Titan se encuentra el método de primer orden. Al hacer clic en el botón “Second”, le permite seleccionar el método de segundo orden para calcular los valores en la grilla de celdas. Según el método de primer orden, los valores de altura de pila, momentum, etc. que son calculados para el modelo son aproximados como constantes en toda la celda. Esto puede significar que hay un salto hacia arriba

o abajo en el valor del mismo parámetro en la celda contigua. Bajo el método de segundo orden, se asume que los valores de los parámetros varían linealmente a través de la celda; en este método se tiene en cuenta el valor de las células vecinas y se usan para calcular el valor de la celda en cuestión. Por ejemplo, si las celdas vecinas flujo arriba respecto a la celda en cuestión tienen valores inferiores a las celdas flujo abajo de la misma, el valor de la celda se incrementa generando una pendiente en la dirección flujo abajo. Si no hay diferencia de valores entre las celdas vecinas, entonces la celda en cuestión también se mantendrá constante. Seleccionando el método de segundo orden se producirán resultados ligeramente más precisos, pero también puede incrementarse el tiempo de cómputo porque el se deben realizar más cálculos.

- La localización mínima y máxima “x” y “y” dentro de un DEM se especifica en “Minimum (and Maximum) x and y location (UTM E, UTM N)”. Si el usuario no especifica ningún valor, Titan realizará el cálculo sobre todo el mapa. Si la región de cálculo es más pequeña que la región entera, el usuario puede hacer el cálculo dentro de un cuadro formado por un mínimo y un máximo “x” y “y”, ingresado en coordenadas UTM, en las casillas para tal fin.

* Nota para entrar las coordenadas: El usuario puede buscar los límites de un mapa en particular buscando en su correspondiente carpeta. Por ejemplo, si se utiliza el DEM ColimaSmall”, los límites del mapa se encuentra en el archivo con ese nombre en el directorio: /Colima/ColimaSmall/cellhd. (Las coordenadas también son necesarias para especificar la ubicación de la pila o fuente de flujo y los puntos extremos de los planos de descarga.)

La casilla “Height used to define flow outline (¿0) [m]”, establece un “límite” del flujo de masa. Esto era necesario en versiones anteriores de Titán, ya que, debido a valores numéricos, la altura de flujo se continuaba haciendo delgada con incremento en la distancia del centroide de la pila, tomando valores exageradamente pequeños, sin realmente llegar a “cero”. En esta versión de Titan, aunque el flujo de capa delgada se controla, el usuario todavía es capaz de definir un límite de pila (es decir, ignorar material por debajo de una altura de pila determinada) introduciendo un valor mayor que cero en esta casilla. Esto será utilizado para, entre otras cosas, calcular la propagación de la pila en las direcciones x e y. La difusión en cada dirección es definida como el máximo menos mínimo de coordenadas donde la altura de pila es mayor que el valor introducido aquí. Si no se introduce

ningún valor este será por defecto a 1/50 de la altura máxima de la pila inicial. La propagación en “x” y “y” se encuentra en la posición 8 y 9 en cada línea de los archivos llamados “statout_lhs.xx” (donde xx es un número de 2 dígitos). Vea la sección sobre simulaciones probabilísticas para más información.

- En “Test if flow reaches height [m] ...”, probar si un flujo alcanza una altura, y “at test point (x and y location)”, prueba localizada en el punto, se establecen los criterios para determinar si la corriente llega a un punto en particular. Estas opciones permiten que el usuario compruebe si en el punto especificado en cualquier momento durante el cálculo el flujo alcanza una altura determinada. El tiempo dado en segundos que el flujo alcanza el punto está ubicado en la 3ª posición en cada línea del archivo llamado “statout_lhs.xx”. Un valor de -1 en la extensión indica que la corriente no llegó al lugar durante el período de tiempo simulado, es posible que no se haya simulado el tiempo suficiente. Vea la sección sobre simulaciones probabilísticas para más información.
- Cuando la simulación ha terminado de ejecutarse, el usuario será notificado a través de la dirección de correo electrónico especificada en la casilla “Email Address” Dirección de correo electrónico. Si no se especifica una dirección, la notificación será enviada a user@buffalo.edu. No se enviará notificación de correo electrónico si TITAN2D se utiliza en un equipo con Linux.
- En la parte inferior se encuentran tres botones uno llamado “Run” y otro “Quit”, que en español son Ejecutar y Salir y un botón con un signo de interrogación “?”. Con el botón Run se crea una carpeta cuyo nombre se especificó anteriormente y dentro de ella, se crean también, los archivos necesarios para empezar la simulación. Cuando se activa este botón, aparecerá una nueva ventana, en la que el usuario especifica las propiedades de los materiales (ver sección siguiente). El botón Quit permite salir de la interfaz gráfica de usuario (GUI). Al hacer clic en el botón “?” se abre una nueva ventana que muestra un archivo de ayuda para el ingreso de los parámetros en la GUI

3.1.3. Pila, Flux-Source y parámetros de propiedades del material Ángulos de fricción - Ventana de entrada de datos

Los siguientes dos parámetros, el ángulo de fricción interna y el ángulo de fricción basal

establecen las fuerzas de resistencia por fricción que se producen dentro del material que se simula, y entre el material y la superficie basal.

- El ángulo de fricción interna corresponde a la fricción resultante de la interacción entre partícula y partícula dentro del material que fluye. Este valor es equivalente a la pendiente natural de la superficie libre que se forma si una pila cilíndrica del material granular se coloca en una superficie plana y se deja que el colapso bajo su propio peso. El ángulo de fricción basal corresponde a la fricción que se desarrolla debido a las interacciones de las partículas del suelo. Este valor es equivalente a la pendiente mínima que se debe obtener sobre una superficie para que un material colocado sobre esta comience a deslizarse desde su posición estática. Los anteriores ángulos se deben introducir en la ventana emergente, cuando este seguro de los valores haga clic en “Done” y luego en “Quit”.
- Cuando se selecciona el botón “Done” los datos de los ángulos de fricción se almacena en el directorio de simulación en el archivo denominado “frict.data” que será utilizado por Titan durante la simulación. El botón Salir cierra la ventana.

* Nota: Un rango típico de los ángulos de fricción interna que se producen en los flujos de escombros con una fracción de volumen de líquido de hasta el 60 por ciento es: 25 a 45 grados. Este ángulo de fricción, depende en gran medida del carácter de la superficie basal.

Parámetros de la Pila - Ventana de entrada de datos

- Aparecerá una de estas ventanas por cada una de las pilas especificadas en la ventana principal de entrada de datos. La primera línea en la ventana identifica el número de la pila para la cual se ingresarán las dimensiones. La geometría inicial de las pilas que puede variar de acuerdo a un paraboloides dado por la siguiente ecuación (suponiendo un ángulo de orientación de cero):

$$P * \left[1 - \left(\frac{x - x_c}{x_r} \right)^2 - \left(\frac{y - y_c}{y_r} \right)^2 \right]$$

Los datos a ser introducidos por el usuario son: Maximum Initial Thickness, espesor inicial máximo, P (en metros); Center of Initial Volume, Centro inicial del

volumen, x_c , y_c (en coordenadas UTM); the Major and Minor Extent, $majorR$, $minorR$ of the initial pile, los ejes mayor y menor de la pila inicial (en metros); Orientation (angle [degrees] from X axis to major axis), la orientación en grados desde eje x al eje mayor; Initial speed, la velocidad inicial (m/s) y Initial direction, la dirección inicial refiriéndose a la velocidad (en grados desde eje x). Ambos ángulos se miden en sentido antihorario desde el eje x. Si no se ingresa ningún ángulo, por omisión se tomará cero. ((Nota: El eje x se define como el Este en coordenadas UTM; eje y se define como el Norte en coordenadas UTM). Si para la simulación se usan dos o más pilas y estas se superponen, se tomará la mayor de las dos alturas como la altura de pila en ese punto de la red. Hay tres botones en la parte inferior de esta ventana “Done”, “Quit” y “Calculate Volume”. Cuando se selecciona el botón “Done”, los parámetros de la pila se introducen en la interfaz gráfica de usuario. El botón “Quit” cierra la ventana de dimensiones y ubicación de la pila. Si se especificó más de una pila, una nueva ventana aparecerá para introducir la ubicación y dimensiones de la siguiente pila. Una vez que los parámetros de todas las pilas se han especificado, se guardaran todos los datos. El botón “Calculate Volume” (Calcular volumen) calcula el volumen individual de las pilas usando la altura de la pila y las dimensiones en x y y . El volumen se da en metros cúbicos y se supone que no hay superposición de las pilas.

Fuentes de Flujo - Ventana de entrada de datos

- Esta ventana es similar a la ventana de información de pila. La ventana de entrada de datos de la fuente de flujo permite al usuario especificar ciertos parámetros que caracterizan la naturaleza de una o más fuentes de flujo. Cada fuente de flujo requiere la siguiente información: Extrusion flux rate, rata de extrusión del flujo en m/s, que es la tasa media a la que expulsa material verticalmente desde el suelo (el material es inicialmente expulsado al doble de la tasa media, y luego decrece linealmente hasta cero al final de la duración de la fuente de flujo); Active Time, tiempo de actividad en segundos, donde el usuario puede especificar un tiempo inicial y final para la fuente de flujo que puede abarcar una parte o todo el tiempo de la simulación; Center of the source, x_c , y_c , centro de la fuente, dada en coordenadas UTM; Major and Minor Extent, $majorR$, $minorR$, los ejes mayor y menor de la fuente de flujo, si se considera de forma elíptica; Orientation (angle [degrees] from X axis to major axis), la orientación en grados desde eje x al eje

mayor; Initial speed, velocidad inicial en m/s refiriéndose a la velocidad horizontal inicial (es decir, tangente al terreno) del material que sale de la fuente de flujo (la fuente de flujo en sí misma, permanece inmóvil) y Initial direction, dirección inicial de material que se mide en grados en sentido antihorario desde el eje x.

Coordenadas de los Planos de Descarga - Ventana de entrada de datos

- Esta ventana permite al usuario introducir las coordenadas de los dos extremos de un plano de descarga orientado verticalmente. El usuario puede introducir los valores o, si ejecuta Titan a través de GRASS, puede seleccionar los dos puntos directamente utilizando el cursor del ratón sobre el mapa. Cada punto se identifica por un par de coordenadas en sistema UTM, introduciendo primero la coordenada Este y luego la Norte. Durante la simulación, Titan calculará la cantidad (metros cúbicos) de material que pasa entre estos puntos y guarda los datos en el archivo discharge.out.

* Nota: los planos de descarga tienen una orientación, esto significa que el flujo que pasa por ellos en una dirección puede ser registrado como de un volumen positivo, mientras que el flujo que pasa por en la dirección opuesta tendrá una contribución de volumen negativo. La orientación de los planos de descarga es tal que si cada punto de los 4 aviones son sucesivamente establecidos en un sentido antihorario (donde el resultado es que los planos una caja cerrada), entonces cualquier flujo que salga de la caja tendrá un aporte positivo del volumen . Es decir, que el material que fluye a través de los planos de descarga obedece, en convención de signos, a la regla de la mano derecha.

4 DATOS

4.1. TOPOGRAFÍA

La topografía es uno de los mas importantes datos de entrada para el programa Titan2D, ya que de acuerdo a su resolución y calidad de la misma seran los resultados que arroje la simulacion.

El DEM utilizado para la simulación fue obtenido gracias a datos obtenidos por la Mision Topografica de Radar volada en el Transbordador Espacial, tambien conocida en ingles como SRTM. Con su radar barrió la mayoria de la superficie terrestre, adquiriendo durante sus diez dias de operación la mas completa base de datos de alta resolucion de la topografía de la Tierra.

Para la simulación con Titan2D se utiliza un DEM con resolución de 30 m, con area de estudio desde 134000 S hasta 145000 N y 230000 W hasta 240000 E en coordenadas UTM, sobre la region noroccidental del volcan Galeras. Este DEM que contiene datos de elevacion debe estar en un formato tal que pueda ser operado en el entorno GRASS GIS.

5 SIMULACIONES

5.1. SIMULACION 1

NOTE: This file outputs the data used in the runs, NOT the data input into the Python script
GIS Information Main Directory: /home/teresita/Titan/grass.data/Galeras
GIS Sub-Directory: barranco
GIS Map Set: barranco_c2g
GIS Map: dembarranco3m
GIS Vector:
Use GIS Material Map? no
(there are 1 different materials)
Simulation Directory Location: prueba1
Number of Processors: 1
Number of Computational Cells Across Smallest Pile Diameter: 20
Number of Piles: 1
Number of Flux Sources: 0
Scale Simulation? yes
If Scaled, Length Scale [m]: 10000
Maximum Number of Time Steps: 25000
Maximum Time [sec]: 5000.0
Time [sec] between Results Output: 10
Time [sec] between Saves: 20.0
Adapt the Grid? yes
First/Second Order Method: 1
Minimum x and y location (UTM E, UTM N):
Maximum x and y location (UTM E, UTM N):
Flow edge defined to have pile height (>0) [m]: 1.0
Test if flow reaches height [m] ...: -2
...at test point (x and y location (UTM E, UTM N)): none none
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 236180.0 136890.0
Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0

5.2. SIMULACION 2

NOTE: This file outputs the data used in the runs, NOT the data input into the Python script
GIS Information Main Directory: /home/teresita/Titan/grass.data/Galeras
GIS Sub-Directory: barranco
GIS Map Set: barranco_c2g
GIS Map: dembarranco3m
GIS Vector:
Use GIS Material Map? no
(there are 1 different materials)
Simulation Directory Location: prueba_2
Number of Processors: 1
Number of Computational Cells Across Smallest Pile Diameter: 20
Number of Piles: 2
Number of Flux Sources: 0
Scale Simulation? yes

```

If Scaled, Length Scale [m]: 10000
Maximum Number of Time Steps: 25000
Maximum Time [sec]: 5000.0
Time [sec] between Results Output: 10
Time [sec] between Saves: 20.0
Adapt the Grid? yes
First/Second Order Method: 1
Minimum x and y location (UTM E, UTM N):
Maximum x and y location (UTM E, UTM N):
Flow edge defined to have pile height (>0) [m]: 1.0
Test if flow reaches height [m] ...: -2
...at test point (x and y location (UTM E, UTM N)): none none
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 235680.0 136850.0
Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 236180.0 136890.0
Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0

```

5.3. SIMULACION 3

```

NOTE: This file outputs the data used in the runs, NOT the data input into the Python script
GIS Information Main Directory: /home/teresita/Titan/grass.data/Galeras
GIS Sub-Directory: barranco
GIS Map Set: barranco_c2g
GIS Map: dembarranco3m
GIS Vector:
Use GIS Material Map? no
(there are 1 different materials)
Simulation Directory Location: prueba3
Number of Processors: 1
Number of Computational Cells Across Smallest Pile Diameter: 20
Number of Piles: 3
Number of Flux Sources: 0
Scale Simulation? yes
If Scaled, Length Scale [m]: 10000
Maximum Number of Time Steps: 25000
Maximum Time [sec]: 5000.0
Time [sec] between Results Output: 10
Time [sec] between Saves: 20.0
Adapt the Grid? yes
First/Second Order Method: 1
Minimum x and y location (UTM E, UTM N):
Maximum x and y location (UTM E, UTM N):
Flow edge defined to have pile height (>0) [m]: -1
Test if flow reaches height [m] ...: -2
...at test point (x and y location (UTM E, UTM N)): none none
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 235680.0 136850.0
Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 235415.0 137175.0

```

Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0
Maximum Initial Thickness, P (m): 3.0
Center of Initial Volume, xc, yc (UTM E, UTM N): 236180.0 136890.0
Major and Minor Extent, majorR, minorR (m, m): 150.0 150.0
Angle from X axis to major axis (degrees): 0.0
Initial speed [m/s]: 0.0
Initial direction ([degrees] from X axis): 0.0