



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES DETONANTES DEL  
DESLIZAMIENTO LA PINTADA, GUERRERO CON FINES DE  
EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN GEOTECNIA**

PRESENTA:

**ING. ESTEFANÍA YAZMÍN PIZARRO RIVAS**

DIRECTOR DE TESINA: **ING. HÉCTOR ALFREDO LEGORRETA CUEVAS**

CIUDAD DE MÉXICO

MARZO 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Contenido

<b>1</b>	<b>Lineamientos generales de riesgo, e inestabilidad de laderas</b>	
1.1	<i>Introduccion.....</i>	3
1.2	<i>Antecedentes.....</i>	5
1.3	<i>Conceptos y definiciones fundamentales.....</i>	6
<b>2</b>	<b>La lluvia como factor desencadenante de la inestabilidad de laderas</b>	
2.1	<i>Precipitación como desencadenante, tipos de umbrales de lluvia.....</i>	8
2.2	<i>Efecto de la lluvia en el Factor de seguridad.....</i>	11
2.3	<i>Relacion lluvia-deslizamiento.....</i>	12
2.4	<i>Condiciones geológico - geotécnicas de los movimientos en masa detonados por lluvia.....</i>	17
<b>3</b>	<b>Análisis de deslizamientos en Hiroshima-Japon</b>	
3.1	<i>Sistema de Monitoreo de precipitaciones por la JMA (Japan Meteorological Agency).....</i>	22
3.2	<i>Análisis del deslizamiento de Hiroshima por The Japanese Geotechnical Society..</i>	28
3.3	<i>Análisis de la estabilidad y zonificación de zonas de riesgo (Mapa de riesgos).....</i>	32
<b>4</b>	<b>Metodología propuesta y factibilidad del método en el caso La Pintada Guerrero</b>	
4.1	<i>Condiciones geológico - geotécnicas del movimiento en masa La Pintada.....</i>	37
4.2	<i>Sistemas de monitoreo de precipitaciones en la Republica Mexicana.....</i>	39
4.3	<i>Metodología propuesta .....</i>	42
4.4	<i>Factibilidad de la metodología propuesta.....</i>	44
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>52</b>

# 1. LINEAMIENTOS GENERALES DE RIESGO, E INESTABILIDAD DE LADERAS

## 1.1 Introducción

México cuenta con una gran diversidad de climas como: cálidos, secos, templados, húmedos y fríos, debido a esto el suelo como capa superior de la tierra está expuesto a una serie de cambios climáticos que alteran las propiedades físicas de esta capa alterando así su estabilidad, por lo que como ley natural el suelo busca de nuevo su equilibrio detonando movimientos en masa. Estos deslizamientos cumplen con ciertas características, en este caso se estudiara el deslizamiento detonado por precipitaciones abundantes en la zona denominada La Pintada Guerrero en 2013 por el cual se perdieron vidas humanas.

Por lo anterior el presente trabajo pretende, mediante un proceso de investigación arduo y adecuado, y haciendo uso de la mayoría de los recursos tecnológicos a nuestra disposición, tomando como base metodologías y monitoreo aplicado en otro país como Japón, proponer una metodología factible para la determinación de zonas de riesgo de deslizamientos con el fin de un posible alertamiento a la población que habita en estas zonas, mediante una análisis del deslizamiento detonado por precipitaciones en La Pintada Guerrero en el año 2013, y a su vez establecer la posible aplicación del método para la zona en estudio, dependiendo del análisis de resultados obtenido.

Como consecuencia de estos deslizamientos una parte de la población que habita dentro del territorio nacional se ve afectada, en su mayoría poblaciones con alto grado de marginación asentadas en zonas vulnerables a deslizamientos, sin embargo por cuestiones en su mayoría sociales la reubicación es muy complicada, por ello es de gran importancia informar, prevenir y alertar a la población de los posibles riesgos naturales en los que se encuentran con el fin de mitigar los daños materiales y aún más importante cuidar la integridad física de los habitantes.

Teniendo en cuenta este panorama mediante este trabajo se resalta una ideología en la que para prevenir es necesario tener un monitoreo adecuado de los cambios climáticos, el estado del tiempo actual y constante para nuestro país, partiendo de los sistemas de monitoreo en otras naciones.

Una vez analizado el caso planteado y la metodología propuesta se tiene como un objetivo secundario dejar un marco técnico que sirva de apoyo para los programas de prevención que existen actualmente en México, aportar material para el análisis de las políticas públicas que nos rigen y a su vez mejorarlas teniendo en cuenta un panorama más amplio de todas las materias y ciencias que intervienen para un adecuado funcionamiento de nuestros sistemas de alerta, prevención y mitigación de desastres naturales

## 1.2 Antecedentes

Los eventos naturales no pueden evitarse, sin embargo se puede prevenir que por sus efectos no se conviertan en desastres; un desastre ocurre cuando se sobrepasa la capacidad de respuesta de la zona afectada, requiriendo la asistencia y la intervención externa inmediata. Bajo esta premisa y debido a las consecuencias catastróficas de los sismos y los eventos naturales a los que nuestro país está sujeto, se han creado instancias gubernamentales capaces de dar respuestas a las grandes necesidades de la población en materia de atención a desastres, conjuntamente elaboran pronósticos, alertas, bases de datos, normatividad en materia de desastres.

A raíz del sismo de La Ciudad de México en 1985, fue un parteaguas el cual como consecuencia nos dejó una conciencia acerca de la prevención de desastres, por ello en el país se crearon instancias públicas y gubernamentales en las cuales a lo largo del tiempo, expertos provenientes de distintos campos del conocimiento comenzaron a diseñar el marco global para el riesgo de desastres, su evaluación y su gestión, con ayuda del gobierno de Japón se creó el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y en conjunto se creó el Fondo Nacional para Desastres Naturales

En un país como México que es propenso a los desastres naturales por múltiples factores geográficos, geológicos, meteorológicos, políticos y sociales, se requiere de un amplio estudio y documentación de las causas de estos eventos, derivado de esta investigación en conjunto con su análisis, realizar las gestiones necesarias para una cultura de prevención mediante sistemas de alerta y gestión de los daños.

Año con año en México debido a su ubicación geográfica está sometido a una temporada de huracanes y ciclones tropicales, los cuales desencadenan inundaciones y movimientos en masa de tierra, ambas en las zonas costeras tanto en la región centro del país hasta donde llegue la influencia de estos eventos naturales, sin embargo aunque se sabe que cada año existe una temporada de ciclones y huracanes las medidas de prevención y de gestión aún pueden ser mejoradas, para evitar un riesgo fiscal para el Gobierno y una pérdida de vidas humanas, la economía del país y la integridad de sus habitantes se ve afectada por estos eventos.

### 1.3 Conceptos y definiciones fundamentales

Para lograr un mejor entendimiento del tema es necesario definir los conceptos fundamentales que ocuparemos durante el desarrollo de este trabajo:

**Desastre natural:** De acuerdo al Centro Nacional de Apoyo para las Contingencias Epidemiológicas y Desastres, un desastre natural es cualquier evento catastrófico causado por la naturaleza o los procesos naturales de la tierra, la gravedad de un desastre se mide en pérdida de vidas, pérdidas económicas y la capacidad de la población para la reconstrucción, entre ellos se consideran huracanes, deslizamientos de tierra, sismos, erupciones volcánicas, y terremotos.

**Inestabilidad de laderas:** La falla de una masa de suelo y/o roca en un movimiento pendiente debajo de un talud se le conoce como deslizamiento o falla de talud.

**Riesgo:** se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, los factores que intervienen en su definición son amenaza y vulnerabilidad, de acuerdo a estos conceptos se establece la siguiente función<sup>1</sup>:

$$R = A \times V$$

Donde:

R= riesgo

A= amenaza

V = vulnerabilidad

**Amenaza:** El CIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño) define amenaza como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales y esta es determinada en función de la intensidad y la frecuencia.

**Vulnerabilidad:** son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia, expresando su relación en la siguiente fórmula:

$$V = \frac{E \times S}{R}$$

Donde:

V= vulnerabilidad

E= exposición

S=susceptibilidad

R= resiliencia

---

<sup>1</sup>Definición tomada de CIFEN.ORG

**Exposición:** es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

**Susceptibilidad:** es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

**Resiliencia:** es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.



## 2. LA LLUVIA COMO FACTOR DESENCADENANTE DE LA INESTABILIDAD DE LADERAS

### 2.1 Precipitación como desencadenante

Para poder plantear una solución de prevención de desastres en los cuales el desencadenante es la lluvia, es necesario investigar todos los factores que intervienen en estos eventos como: sociales, económicos, demográficos y sobre todo geológicos e hidrológicos del lugar que se pretenda analizar.

En la mayoría de deslizamientos ocurridos en nuestro país, los detonadores son las precipitaciones intensas, la actividad sísmica y la actividad volcánica o la combinación de ellas<sup>2</sup> dentro del factor hidrológico es importante mencionar la relación entre deslizamiento, lluvias y topografía.

En cuanto a los factores geológico-geotécnicos que intervienen se debe considerar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, como principales parámetros:

- Resistencia al esfuerzo cortante
- Presión de poro
- Geometría de la ladera
- Fuerza gravitacional

Estos flujos de tierra resultan de una falla por corte a lo largo de una superficie que se encuentra en pendiente, se pueden clasificar en:

- A. Deslizamientos de caída: se producen cuando el material se desprende de una ladera, gran parte del material se desplaza a través del aire.
- B. Volcamiento: está compuesto por una lenta inclinación de rocas
- C. Deslizamientos rotacionales: La superficie del deslizamiento es interna, en la superficie se aprecia una rotura de tipo circular.
- D. Deslizamientos traslacionales: la masa del terreno se desplaza a lo largo de una superficie plana, estos deslizamientos están controlados por las fracturas de las rocas y la resistencia de los materiales cabe mencionar que la velocidad de desplazamiento se acelera con la lluvia.
- E. Extensiones laterales: consiste en una extensión lateral controlada por fracturas, si se produce en rocas es lento, si se produce en suelo es considerablemente rápido.
- F. Flujos: se producen en rocas, escombros y suelos debido a la saturación de agua en periodos de lluvia intensa, movimiento muy rápido.

---

<sup>2</sup> Tomado de CENAPRED

G. Reptación: deformación de la masa de suelo por acción de la gravedad en tiempos muy lentos.

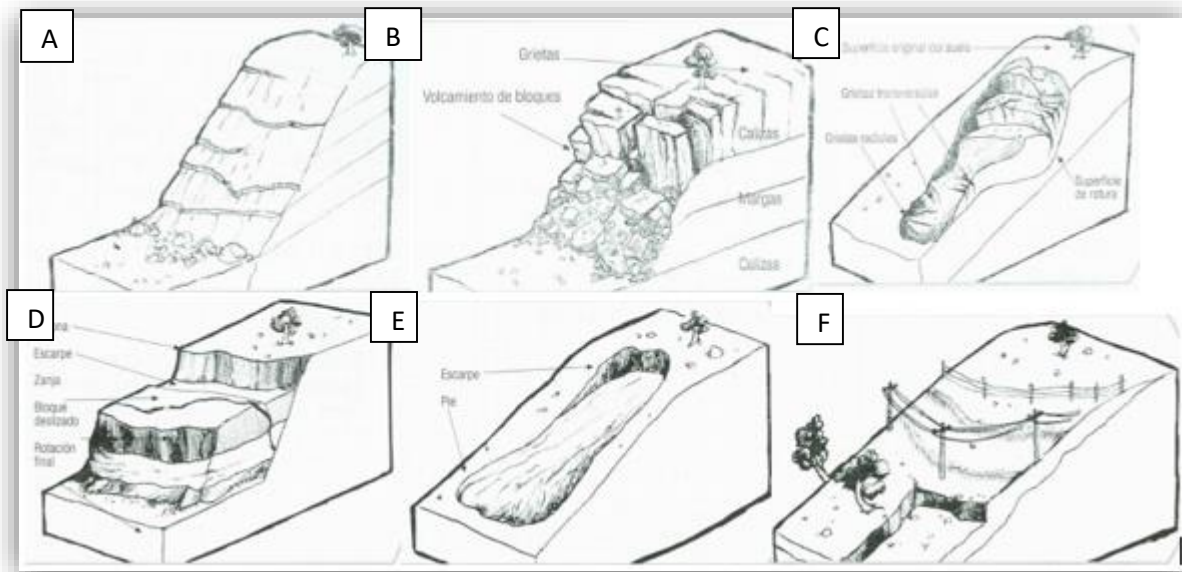


Fig 1. Movimientos gravitacionales.

Los movimientos en masa son producto del debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales y los procesos naturales tales como meteorización, levantamientos tectónicos y actividades humanas que activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles (Costa Baker, 1981; Soeters Van Western, 1996), sin embargo las precipitaciones generan una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman la ladera, ya sea por el rápido incremento de los esfuerzos o por la reducción de la resistencia (Wang & Sassa 2006). Por ello los factores que controlan la ocurrencia y distribución de los movimientos en masa se pueden dividir dependiendo las variables que los detonan.

La climatología, los procesos hidrológicos y las actividades humanas controlan otro tipo de factores, los movimientos detonados por lluvias se caracterizan por su pequeño espesor, son generados durante lluvias intensas, debido al rápido aumento de presión de poro o por la pérdida de cohesión aparente, posteriormente debido a los procesos de licuefacción y reducción rápida de la resistencia al cortante en condiciones no drenadas (Anderson & Sitar 1995), se convierte en un flujo que se propaga ladera abajo transportando material y aumentando su volumen (Wang & Sassa 2006).

Los movimientos superficiales generalmente son detonados por lluvias cortas e intensas, los movimientos profundos están relacionados con la distribución y la variación de las lluvias en largos periodos lo cual sugiere que la precipitación puede incrementar la saturación de una zona y con ello el nivel freático; en la Imagen se muestra la relación entre los factores que afectan la estabilidad de laderas y la precipitación.

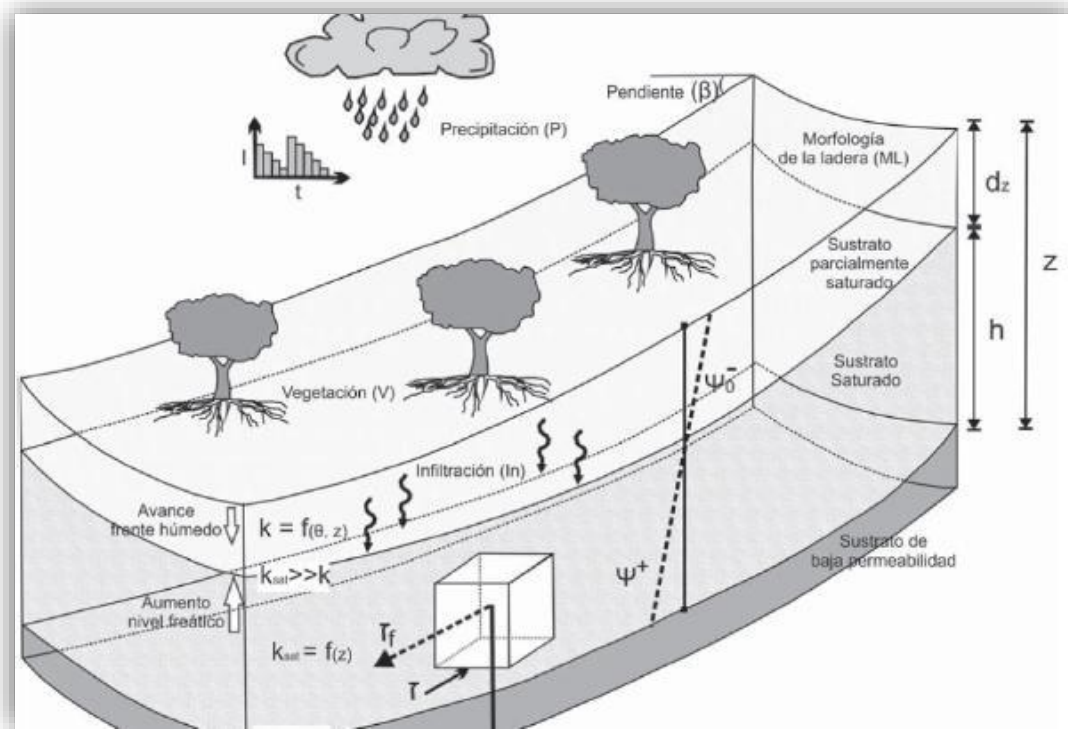


Fig 2. Movimientos detonados por lluvias.

### Umbral de lluvia

Un umbral de lluvia es la cantidad de precipitación a partir de la cual el terreno no es capaz de infiltrar más agua y esta discurre sobre la superficie en un flujo difuso, este umbral depende de la humedad inicial del suelo, su uso, el tipo de suelo y la pendiente.

Para tener un análisis más preciso de la cantidad de agua que precipita se recomienda determinar umbral de escorrentía, ya que es un parámetro que tiene por finalidad determinar la cantidad de precipitación que el terreno no es capaz de infiltrar y que fluye sobre la superficie, de este modo se puede establecer la siguiente metodología para su cálculo:

1.- Como ya se mencionó se debe tomar en cuenta el nivel de humedad del suelo dependiendo las siguientes condiciones:

I. Seco

II. Medio

III. Húmedo

2.- Una vez que se determinó la condición inicial del estado del suelo, se procede a establecer la capacidad del terreno para poder absorber el agua de la lluvia, tomando como base la permeabilidad del material.

I. Permeable

II. Impermeable

Se puede tomar como base el siguiente diagrama:

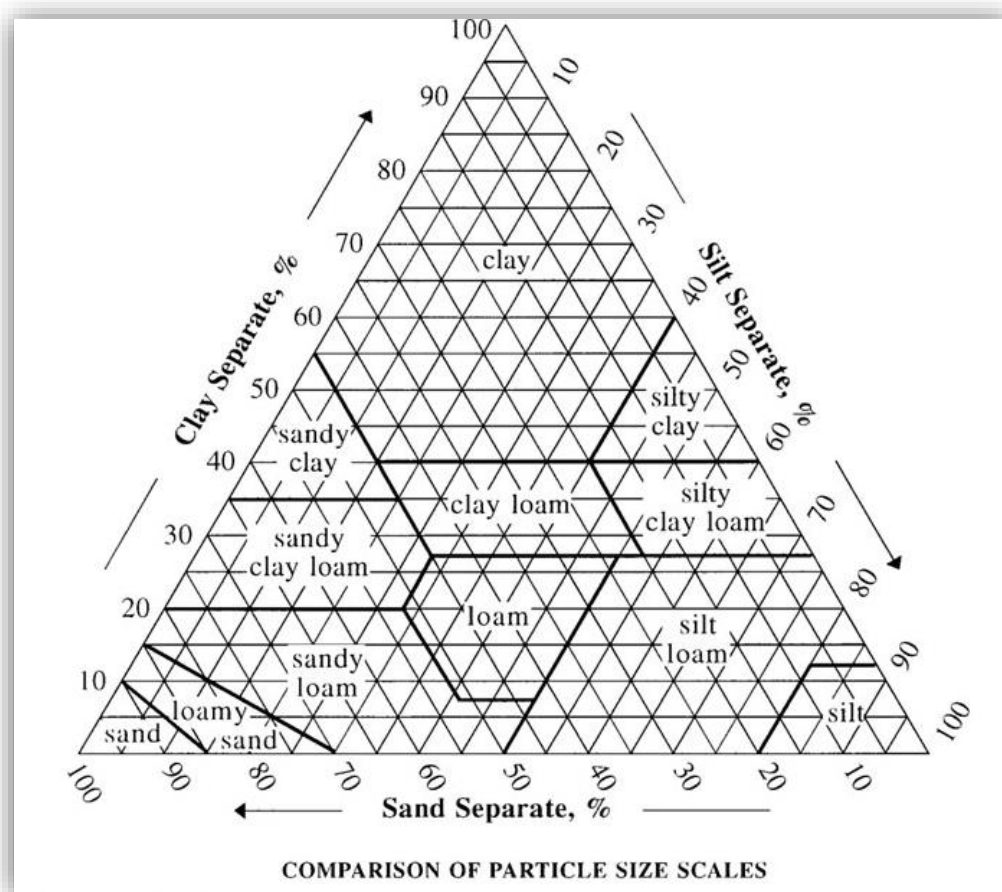


Fig 3. Triángulo de textura de suelos, con las 12 clases mayores, y escalas de tamaño de partículas, USDA

3.- Como tercer punto se toma en cuenta la actividad humana en el lugar, el uso que se le ha dado al suelo ya que la escorrentía que se genere es distinta de un terreno urbanizado, uno de cultivo, con presencia de vegetación y uno deforestado. Igualmente se debe tomar en cuenta la pendiente del terreno.

4.-Finalmente se determina el valor del umbral de escorrentía (PO) para fines de este trabajo se recomienda hacer uso de los valores de la tabla 1 en el los ANEXOS.

## **2.2 Efecto de la lluvia en el Factor de seguridad**

### **Factor de seguridad (FS)**

En cualquier circunstancia es necesario considerar la existencia de un grado de incertidumbre debido a los diferentes procesos que actúan para que se lleve a cabo la falla de un talud, para ello, a lo largo del tiempo se ha implementado un valor llamado Factor de Seguridad (FS), resultado de la integración y el análisis de los diferentes factores que actúan para que se lleven a cabo ciertos procesos.

Para fines de este trabajo se tomara en cuenta el factor de seguridad con el objetivo de evaluar la estabilidad de un talud y para ello debemos considerar todo un modelo geotécnico que integre la siguiente información: topografía, estratificación del suelo, condiciones hidráulicas, condiciones geológicas, etc.

El análisis usual de estabilidad consiste en estudiar las condiciones de equilibrio, de una masa de suelo a lo largo de la superficie de falla, presiones de poros y cargas exteriores eventuales. El análisis se suele ejecutar sobre un modelo geotécnico bidimensional en deformaciones planas. (Fundamentos de Geotecnia, Esteban Saenz, Pontificia Universidad de Chile).

La definición de un coeficiente de seguridad global presenta dos dificultades:

- Salvo situaciones simplificadas, no se conoce la distribución de los esfuerzos de corte de toda la superficie de falla.
- El coeficiente de seguridad no es constante a lo largo de la superficie de falla.

Para el cálculo de este factor existen diferentes métodos que dependen de las diferentes condiciones en las que se puedan presentar las fallas de talud.

## Efecto de la lluvia en el factor de seguridad

La presencia de agua es sumamente importante para la estabilidad de un talud se estima que alrededor del 55% de las inestabilidades de taludes están asociadas a fenómenos relacionados con el agua, por lo tanto el estudio de presiones de poro al interior del suelo, de su evolución en el tiempo, de las condiciones de drenaje, forman parte clave de la evaluación de la estabilidad de un talud y laderas.

Por consiguiente otro factor que interviene en estos procesos es el tipo de material del cual se compone el suelo ya que la resistencia de un suelo cohesivo varía dependiendo si existe o no el tiempo necesario para disipar las sobrepresiones de poro comportamiento a corto plazo (no drenado) o a largo plazo (drenado).

En el caso de deslizamientos a largo plazo, las fuerzas de filtración actúan como fuerzas motrices del mismo modo que la gravedad. En efecto para el caso de suelos granulares limpios el factor de seguridad cuando el agua aflora en la superficie se escribe:

$$FS = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma}\right) \frac{\tan \theta}{\tan \beta} \qquad FS = \frac{1 \tan \theta}{2 \tan \beta}$$

Que corresponde aproximadamente a la mitad del  $F_s$  del caso seco, para los valores usuales de pesos específicos de suelos granulares limpios. . (Fundamentos de Geotecnia, Esteban Sáenz, Pontificia Universidad de Chile).

Como se ha mencionado el agua es un factor realmente importante a tener en cuenta ya que para fines de este trabajo es considerado un desencadenante de los deslizamientos de laderas puesto que interviene en la reducción de un 50% aproximadamente en el factor de seguridad, por este motivo en el caso de prevención de desastres se propone valorar un  $F_s$  general para las regiones donde se han presentado deslizamientos y en temporada de ciclones y tormentas tropicales donde la cantidad de agua infiltrada y la escorrentía superan la permeabilidad del suelo y con ello disminuyen la resistencia del material para poder tener un elemento y determinar el riesgo en que se encuentran las poblaciones a pie de taludes.

## 2.3 Relación lluvia-deslizamiento

Los deslizamientos de suelos son variados, un deslizamiento ocurre cuando los esfuerzos de corte originados por las fuerzas motrices como la gravedad superan la resistencia del suelo sobre una superficie.

Sin embargo la lluvia como se ha mencionado es el principal agente por el que han ocurrido deslizamientos de laderas, al existir cuerpos de agua subterráneos, pueden ocurrir distintos tipos de deslizamientos dependiendo las propiedades del suelo.

Si el suelo es granular la permeabilidad es elevada, en el caso de los suelos finos como arcillas y limos son poco permeables, sin embargo los deslizamientos en estos casos son a largo plazo pues el principal factor es la infiltración derivada de las lluvias puntuales, temporales y atípicas en cada región.

A continuación se presenta una tabla resumen de los principales desastres naturales en México de 1929 a 2005.

**RESUMEN DE DESASTRES NATURALES EN MÉXICO**

**Summarized Table of natural Disasters in Mexico  
from 1929 to 2005**

	<b># of Events</b>	<b>Killed</b>	<b>Injured</b>	<b>Homeless</b>	<b>Affected</b>	<b>Total Affected</b>	<b>DamageUS (000's)</b>
<b>Drought</b>	8	0	0	0	65,000	65,000	1,742,463
ave. per event		0	0	0	8,125	8,125	217,808
<b>Earthquake</b>	27	10,677	33,287	112,275	2,411,015	2,556,577	4,691,000
ave. per event		395	1,233	4,158	89,297	94,688	173,741
<b>Epidemic</b>	2	68	0	0	11,525	11,525	0
ave. per event		34	0	0	5,763	5,763	0
<b>Extreme Temperature</b>	16	1,207	0	16,000	0	16,000	82,600
ave. per event		75	0	1,000	0	1,000	5,163
<b>Flood</b>	45	4,083	659	165,990	1,336,695	1,503,344	1,491,900
ave. per event		91	15	3,689	29,704	33,408	33,153
<b>Slides</b>	6	202	0	120	200	320	0
ave. per event		34	0	20	33	53	0
<b>Volcano</b>	10	1,120	500	15,000	146,408	161,908	117,000
ave. per event		112	50	1,500	14,641	16,191	11,700
<b>Wild Fires</b>	3	83	0	0	0	0	83,200
ave. per event		28	0	0	0	0	27,733
<b>Wind Storm</b>	61	4,972	1,803	616,250	4,927,386	5,545,439	3,953,345
ave. per event		82	30	10,103	80,777	90,909	64,809

Created on: Jul-21-2006. - Data version: v06.05

Fuente: The OFDA/CRED International Disaster Database, [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net) —Université catholique de Louvain— Brussels, Belgium.

Fig 4. Tabla-resumen de desastres naturales en México, Universidad Católica de Louvain Berlgica.

Otro claro ejemplo del alcance de estos sucesos se ha dado en Colombia pues en los últimos 40 años se han visto afectadas más de 1 millón de viviendas asociadas a la ocurrencia de diferentes fenómenos; el 73% por inundaciones, el 7% por sismos, el 5% por deslizamientos y el 15% por otros fenómenos. Los departamentos con mayores pérdidas de vidas acumuladas en los últimos 40 años son Tolima y Caldas. Antioquia reporta el mayor número de pérdidas de vidas por deslizamientos (Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Ana Campos G, Niels Holm- Nelsen, Carolina Díaz G, Diana M Rubiano V., Carlos R Costa P, Fernando Ramírez C, Y Eric Dickson)

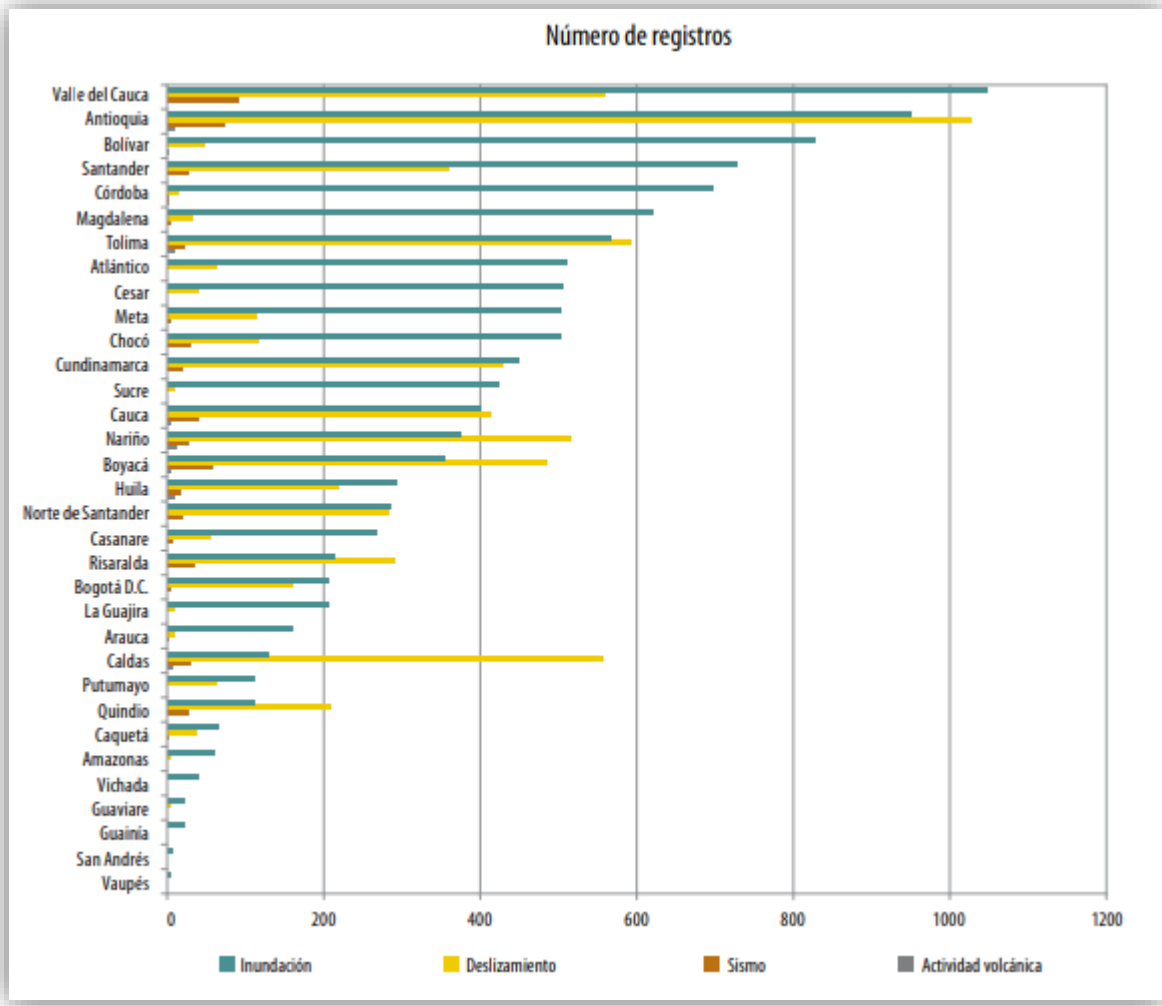


Fig 5. Registro de ocurrencia de desastres naturales.



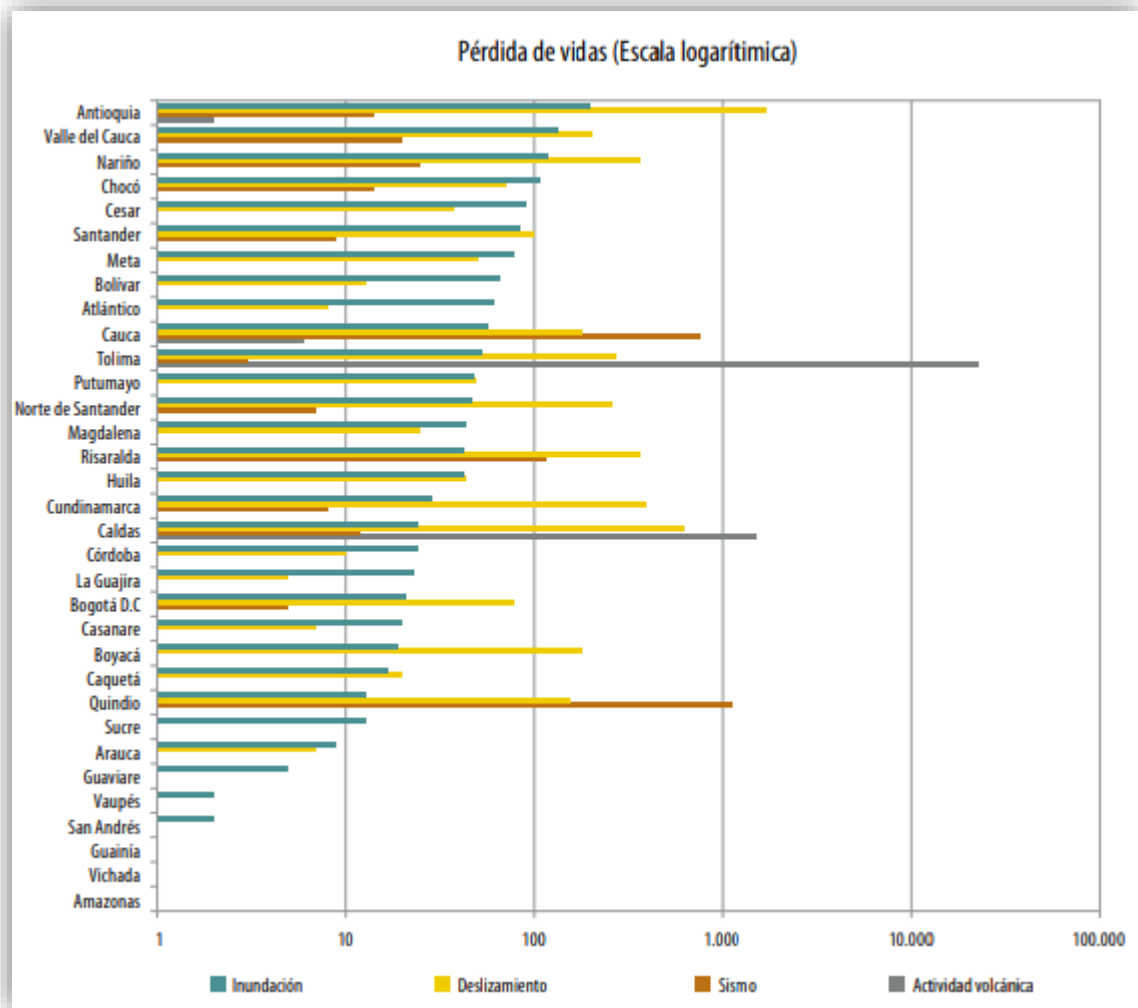


Fig 6. Gráfico de pérdida de vidas por clasificación de desastres naturales.

En la mayoría de los casos la combinación de factores humanos y naturales han sido los principales motores de inestabilidad, un uso inadecuado del suelo, la deforestación de laderas, asentamientos irregulares y las lluvias, en conjunto son un peligro latente para los pobladores de estas zonas.

Geológicamente la corteza terrestre es la capa exterior de la Tierra y está expuesta a alteraciones en los materiales que la componen, la humedad, el clima y la exposición a las lluvias altera las propiedades físicas de los suelos, los minerales como las arcillas suelen absorber y retener agua, por su propia estructura química, al exceder el límite de absorción de las arcillas estas tienden a disminuir su resistencia ocasionando flujos de pequeños o grandes volúmenes de material en cuestión de segundos o minutos.

La cifra de víctimas de deslizamientos provocados por intensas lluvias va en aumento, en naciones montañosas y sobrepobladas donde la carencia de vivienda y de otros problemas sociales son los principales agentes que intervienen en estos desastres ha demostrado la necesidad de conocer las características de las zonas donde habitamos.

El clima en especial las lluvias son los principales detonadores naturales de deslizamientos de laderas, en México se tiene registro de algunos eventos de esta naturaleza, en los estados de Puebla 1999, Chiapas 1998, Guerrero 1999 y 2010.

## **2.4 Condiciones geológico-geotécnicas de los movimientos en masa detonados por lluvias.**

Como sabemos, el suelo es producto de la desintegración y transporte de partículas provenientes de rocas preexistentes, a lo largo del tiempo estos suelos van sufriendo alteraciones en sus propiedades tanto físicas como mecánicas el tiempo en el cual estos cambios se llevan a cabo es variable ya que depende de las condiciones externas y la ubicación geográfica de estos materiales.

Los procesos externos están continuamente rompiendo y desplazando los materiales a zonas de menor elevación, dentro de estos procesos se encuentran: meteorización, procesos gravitacionales y erosión.

La composición de minerales que conforman el suelo son características que se deben tener en cuenta para el análisis de estos eventos naturales, ya que la meteorización afecta la estabilidad de un material, pues se produce cuando la roca está fragmentada mecánicamente (desintegrada o alterada) químicamente lo que implica una transformación química de la roca en uno o más compuestos nuevos (Tarbuck E.J & Lutgens, F.K ) que posteriormente formaran parte de un suelo.

También se puede presentar la meteorización mecánica que experimenta la roca cuando se rompe en fragmentos más pequeños que conservan cada uno las características del material original y con ello aumenta el área superficial disponible para el ataque químico; la velocidad a la cual se meteoriza depende de tres factores:

- 1) Tamaño de partícula
- 2) Composición mineralógica
- 3) Factores climáticos

En general los terrenos involucrados en fallas de taludes tienen una gran composición arcillosa, y en estos casos otra propiedad importante es la *compacidad* que de acuerdo con Luis Bañon Blazquez se define como el grado de compactación relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un firme para evitar los asentamientos; cuando los suelos tienen cantidades apreciables de arcilla o limo la compacidad pierde su significancia.

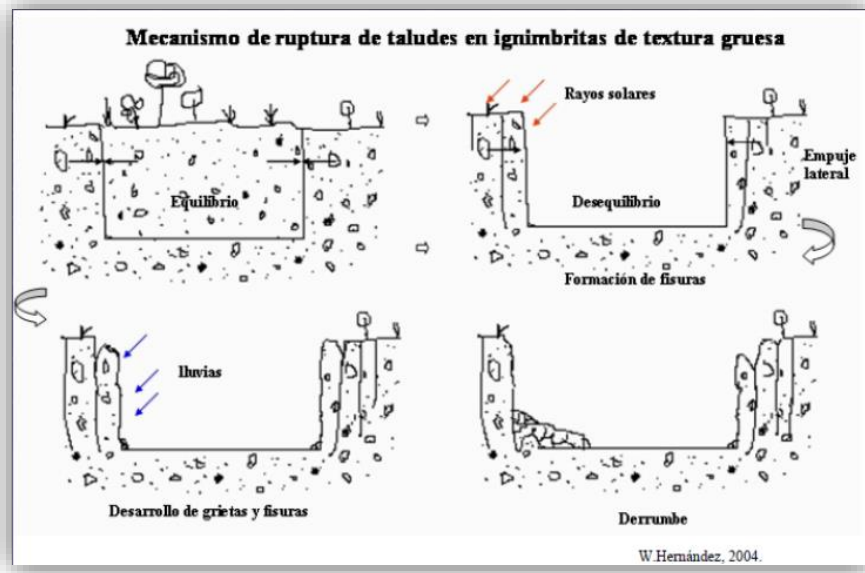
Otros procesos que intervienen en la meteorización del material es la disolución, oxidación y la hidrólisis, la afectación al suelo de estos procesos depende de la reacción química que tenga cada mineral componente del suelo a los agentes meteorizantes como la presencia de agua, oxígeno, vegetación, etc.

(Tarbuck E.J & Lutgens, F.K )

Dentro de los factores geológicos que afectan el comportamiento de laderas y taludes están los siguientes:

<b>Factores geológicos que afectan el comportamiento de taludes</b>
Litología: homogénea o heterogénea
Microestructura: Fábrica y textura
Estructuras geológicas: Planos de estratificación planos de foliación y esquistosidad, fracturas, fallas y fracturas presentes.
Grado de alteración del suelo y/o roca
Vegetación
Tectónica (Sismicidad)
Exfoliación
Topografía

Tabla 2. Factores que afectan el comportamiento de taludes.



Fog 7. Ejemplo de mecanismo de ruptura.

Sin duda para que se puedan producir procesos gravitacionales debe haber pendientes por las que el material debilitado y disgregado pueda descender, por lo tanto estos procesos se dan en períodos de tiempo largos o cortos dependiendo de los factores antes mencionados así como la constante evolución del relieve.

Existe una clasificación de los procesos gravitacionales o movimientos de masa que se basa en función del material implicado, clase de movimiento y la velocidad del mismo.

- *Desplome:: movimiento rápido sobre una superficie bien definida*
- *Deslizamiento de rocas: material que se mueve sobre una superficie bien definida, en ocasiones la superficie puede ser una diaclasa, falla o un plano estratificado paralelo a la pendiente.*
- *Flujo de derrubios: el material se desplaza pendiente abajo en forma de un fluido viscoso normalmente están saturados de agua.*
- *Flujo de tierra: movimiento rápido de tierra y regolitos*

	MATERIAL INVOLUCRADO	CARACTERISTICAS
DESlizAMIENTO DE ROCAS	Bloques rocosos, material poco consolidado	Movimientos más rápidos y destructivos, normalmente los estratos rocosos están inclinados, o donde hay diaclasas y fracturas paralelas a la pendiente; en ocasiones se desencadenan cuando la lluvia o el agua de fusión de la nieve lubrican la superficie de fricción por lo que ya no se mantiene junta la unidad rocosa
DESPLOMES	Material no consolidado que se mueve como una unidad a lo largo de una superficie curva	Deslizamiento hacia debajo de una masa de rocas o de material no consolidado que se mueve como una unidad a lo largo de una superficie curva
FLUJO DE DERRUBIOS O COLADAS DE BARRO	Propiedades fluidas, los flujos de derrubios suelen seguir los cañones y cauces fluviales, grandes cantidades de suelo y regolitos.	movimiento gravitacional relativamente rápido que consiste en la fluencia de suelo y regolitos con abundante cantidad de agua, característico de las regiones montañosas semiáridas y regiones montañosas semiáridas y pendientes de algunos volcanes
LAHARES	Se producen cuando capas muy inestables de cenizas y derrubios se saturan de agua y fluyen pendiente abajo por laderas volcánicas, su consistencia oscila entre los cemento húmedo. La velocidad del flujo depende del contenido de agua, cuando son densos, los flujos de derrubios los flujos de derrubios pueden transportar materiales de tamaño considerable.	Pueden tener lugar durante una erupción de un volcán.
FLUJOS DE TIERRA	Regolitos saturados, materiales ricos en arcilla y limo con pequeñas proporciones de arena y granos más gruesos, flujo viscoso.	Movimiento lentos que dependen de la pendiente y la consistencia del material, se forman a menudo en las laderas de las colinas de precipitación abundante , el material puede desgajarse . Cuerpos de unos pocos metros de longitud y de ancho, menos de un metro de profundidad y masas de más de un kilómetro.
REPTACION	Suelo y regolito	Movimiento descendente gradual afectado principalmente por la congelación y deshielo del material, el suelo puede perder su cohesión interna, permitiendo que la gravedad empuje el material pendiente abajo, el proceso es muy lento.

Tabla 3. Descripción de los movimientos gravitacionales.

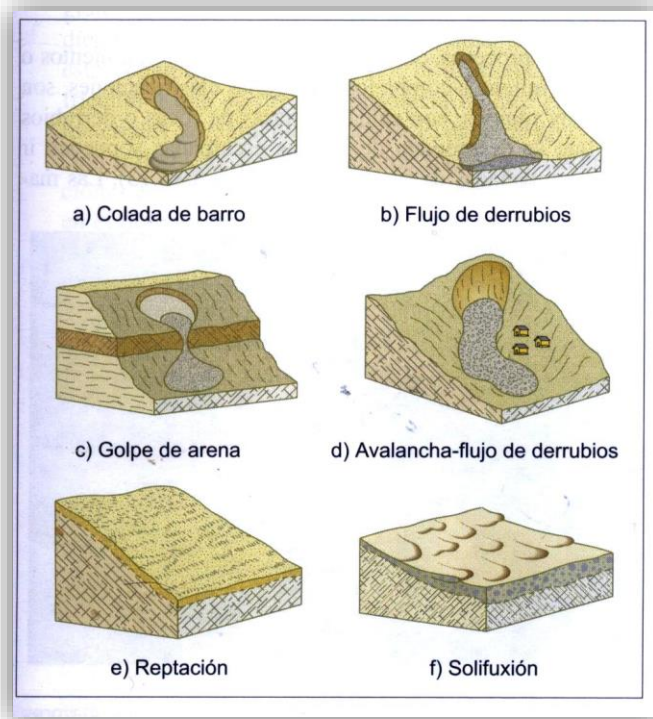


Fig 8. Ilustración de movimientos gravitacionales (Tarbuck 8ª Edición).

Los deslizamientos a corto y largo plazo son frecuentes, la disipación de las sobre-presiones (pueden ser años en el caso de las arcillas), el régimen hidráulico es un flujo estacionario y la distribución de presiones de poros queda completamente definida por la red de flujo. En dichas condiciones, el análisis de estabilidad se efectúa en esfuerzos efectivos empleando las propiedades drenadas o a largo plazo del suelo (Pontificia Universidad Católica de Chile Departamento de Ingeniería Estructural y Geotecnia, Fundamentos de Geotecnia ICE-1603, Esteban Sáenz 2010).

### **3. ANALISIS DE DESLIZAMIENTO EN HIROSHIMA-JAPÓN**

#### **3.1 Sistema de monitoreo de precipitaciones por la JMA (Japan Meteorological Agency)**

Japón es un país insular que se extiende a lo largo de la costa Pacífica del nordeste de Asia. La isla principal es Honshu, y las otras tres más grandes son Hokkaido, en el norte del país, y Shikoku y Kyushu en el sur. Más de 4.000 pequeñas islas rodean a estas cuatro principales. Las islas principales están conectadas mediante un moderno sistema de transporte, del que forma parte el túnel Seikan, el mayor túnel ferroviario del mundo, con una longitud de 54 kilómetros. Los trenes japoneses de alta velocidad (conocidos como shinkansen, o tren-bala) enlazan las principales regiones del país.

Aproximadamente un 73 por ciento del territorio japonés es montañoso, y todas las ciudades importantes, excepto la antigua capital de Kyoto, se ubican en torno a una estrecha franja de llanuras costeras. Apenas un 18 por ciento del territorio es habitable, por lo que las ciudades japonesas son grandes urbes densamente pobladas. El área metropolitana de Tokyo es el mayor núcleo urbano del planeta. En él viven 36 millones de personas, pese al inquietante historial geológico de la región, donde son frecuentes terremotos, tsunamis, inundaciones, deslizamientos y otros desastres naturales de gran poder destructivo. Solamente el gran terremoto de 1923 acabó con unas 143.000 vidas.

Japón sigue reivindicando la soberanía de estas islas ocupadas por Rusia al término de la Segunda Guerra Mundial y se ha convertido en una fuerza motriz global, afianzándose como la segunda mayor economía del mundo.

Hiroshima es el icono de la era nuclear, como lo es Nagasaki. Las referencias “lluvia negra” en el contexto de las ciudades significan lluvia radiactiva mezclada con residuos de carbono de los incendios que consumieron ciudades; por esta razón los científicos dedicados al estudio del clima han abierto una puerta a la cooperación científica y técnica del mundo sobre el cambio climático que podría salvar muchas vidas, ya que los japoneses desde una época muy temprana se han mantenido informados sobre el cambio climático sin embargo no están seguros de su escala, y la velocidad a la que se está acelerando.

El Programa Estratégico de Investigación y Desarrollo Ambiental (SERDP) realizó una declaración que se enfoca en adaptarse a los cambios en el ciclo hidrológico en condiciones climáticas no estacionarias, esto se refiere a las condiciones en las que las variaciones en la lluvia y fenómenos relacionados como las nevadas y flujos de agua están fuera de patrones históricos.

En la prefectura de Hiroshima las precipitaciones ocurridas en el año 2013 pueden o no considerarse “no estacionarias” dependiendo del grado en que JMA y otras investigaciones las desvíen de otras investigaciones del pasado.

El Programa Estratégico de Investigación y Desarrollo Ambiental (SERDP por sus siglas en inglés) también se ha enfocado al estudio de los marcos para responder a eventos de cambio climático cada vez más intensos.

JMA (Agencia Meteorológica de Japón por sus siglas en inglés) ha operado la serie de satélites GMS (Satélite Meteorológico Geoestacionario) y MTSAT (Satélite de Transporte Multifuncional) alrededor de los 140º de longitud este para cubrir las regiones de Asia Oriental y el Pacífico Occidental desde 1978, y realiza contribuciones relacionadas al Mundo de la OMM Programa Weather Watch (WWW). Como seguimiento de la serie MTSAT, la Agencia planea operar satélites de próxima generación llamados Himawari-8 y Himawari-9 (himawari significa "girasol" en japonés). A diferencia de la actual serie MTSAT, que realiza funciones meteorológicas y aeronáuticas, para incluir comunicaciones de control de tráfico aéreo e información de posición, Himawari-8 y -9 tendrán una misión meteorológica específica.

Actualmente (2014), MTSAT-2 (Himawari-7) está operativo, mientras que MTSAT-1R (Himawari-6) está en modo de espera en órbita. MTSAT-2, que asumió la misión de observación de la Tierra del MTSAT-1R el 1 de julio de 2010, está programado para completar su operación de observación en alrededor de 2015. Con el fin de proporcionar servicios de observación continua, JMA planea comenzar su operación en 2015, cuando MTSAT-2 está programado para completar su período de operación. La Agencia también planea lanzar Himawari-9 en 2016.

En julio de 2009, JMA completó los acuerdos contractuales con MELCO (Mitsubishi Electric Corporation) para la fabricación de Himawari-8 y -9, que tienen especificaciones idénticas.

Parámetros de la nave espacial:

- La nave espacial Himawari está estabilizada en 3 ejes con un sesgo de momento. Cuenta con un bus MELCO DS-2000. El tamaño total de la nave espacial desplegada es: 5,2 m (eje X), 8,0 m (eje Y), 5,3 m (eje Z).
- La masa de lanzamiento es ~ 3500 kg, la masa seca es de 1300 kg.
- La vida útil del diseño es de 8 años (incluida la prueba en órbita) para AHI, 15 años para el bus de la nave espacial.
- ADCS (subsistema de determinación de la actitud y control)



- Sensores de actitud: sensor solar grueso, rastreador de estrellas, IRU (unidad de referencia inercial), giroscopio
- Dispositivo de accionamiento: RWA (Conjunto de rueda de reacción)
- EPS (subsistema de energía eléctrica): la potencia generada es de 2,6 kW, la tensión del bus es de 100 V, el uso de una batería de iones de litio.
- MDHS (subsistema de tratamiento de datos de misión): MDHS se conecta con el instrumento AH1 utilizando SpaceWire I / F y procesa los datos del instrumento en telemetría, según las recomendaciones de CCSDS. Los datos procesados se envían al sistema de transmisión de banda Ka. MDHS también se conecta con un sistema de control de satélites por SpaceWire y envía comandos a AH1.

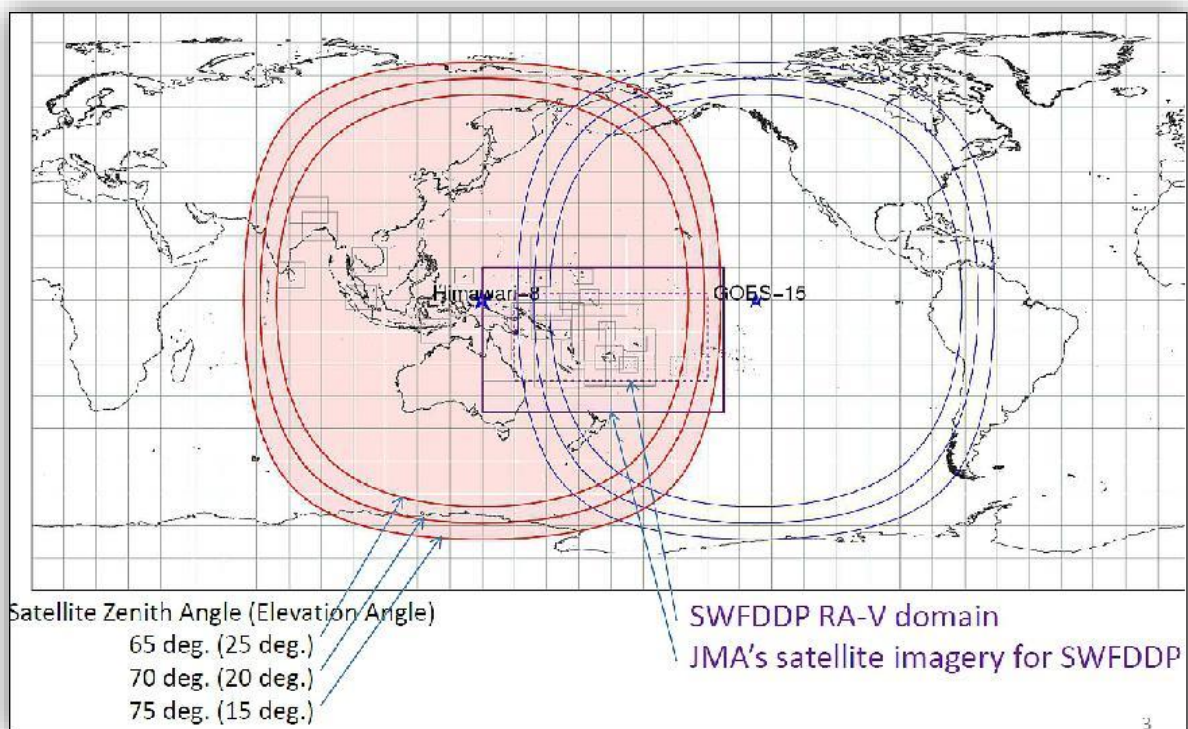


Fig 9. Cobertura del Himawari 8 (Imagen tomada del sitio del JMA)

## Plan de distribución / difusión de datos para Himawari-8/9

Ambas naves espaciales Himawari-8 y -9 no llevan ningún equipo para la transmisión directa de datos. Por lo tanto, JMA está discutiendo la utilización de ICS (Internet Cloud Service) y CTS (Commercial Telecommunication Satellite) como servicios de distribución de datos (Figura 6). JMA sustituirá la transmisión CTS por la transmisión directa actual de MTSAT. Por otro lado, se introducirá recientemente el Servicio de Internet en la nube como medio de distribución de datos para los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) y para EUMETSAT. La agencia también presentará un servidor de archivo operado por el Japanese Science Group. Los usuarios de este servidor podrán obtener todo tipo de imágenes de este servidor.

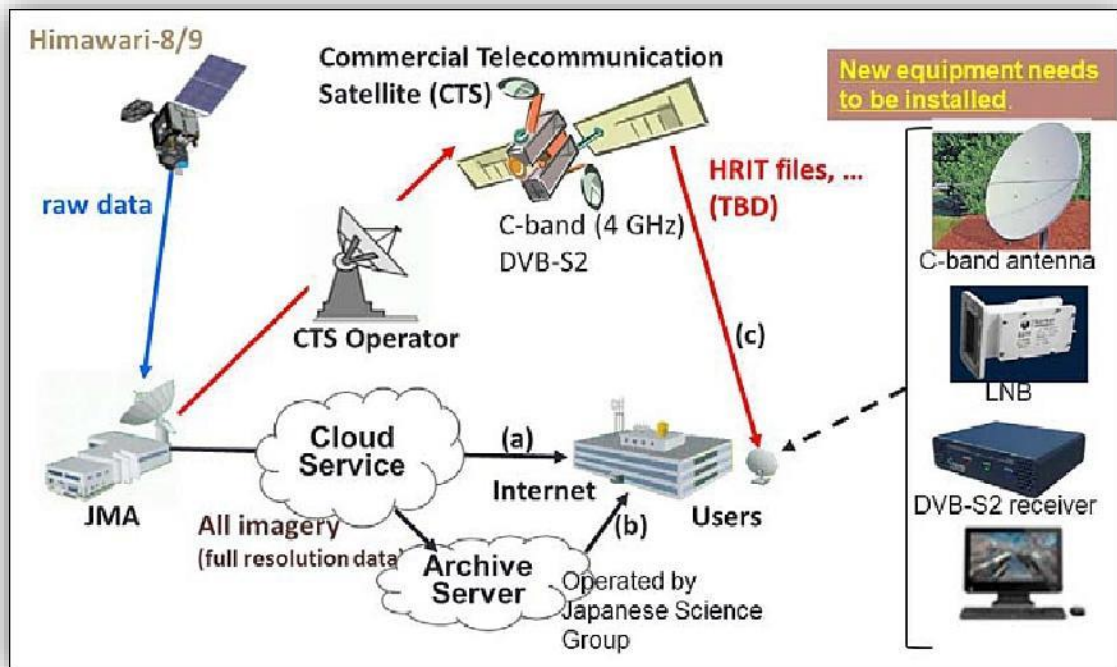


Fig 10. Transmisión satelital del Himawari.

18 de enero de 2018: JMA lanzó su nuevo servicio internacional **HimawariRequest**, que permite a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) solicitar la observación del Área Objetivo realizada por Himawari-8/9 cada 2.5 minutos. [19\) 20\)](#)

- El satélite meteorológico geostacionario Himawari-8 de última generación de JMA comenzó a funcionar en julio de 2015, y la unidad correspondiente Himawari-9 entró en un estado de operación de respaldo en marzo de 2017. Se espera que este sistema de doble

satélite proporcione un flujo continuo de datos de observación para la Región de Asia-Oceanía hasta 2029.

- AHI (Advanced Himawari Imager) a bordo Himawari-8/9 es capaz de observación frecuente y flexible, proporcionando imágenes de disco completo de la Tierra cada 10 minutos e imágenes regionales con intervalos más cortos. El disco completo y otras observaciones regionales tienen resoluciones espaciales de 0,5 a 2 km y una cobertura espectral que incorpora 16 bandas.

- En el monitoreo regional, la observación del área objetivo proporciona imágenes que cubren un área de 1,000 x 1,000 km cada 2,5 minutos con flexibilidad para cambios de ubicación para respaldar los servicios nacionales e internacionales de JMA. La observación se centra normalmente en un área de volcanes activos en el ámbito del Tokyo VAAC (Centro de Asesoramiento de Ceniza Volcánica) y está adaptada para abarcar tifones dentro del área de responsabilidad del Centro Tifónico de Tokio (Centro Meteorológico Regional Especializado) del CMRE.

- El servicio HimawariRequest permite a los usuarios registrados de los SMHN solicitar observaciones específicas del Área objetivo para aprovechar esta flexibilidad a escala internacional. El servicio proviene de un proyecto regional de la OMM RA II (Asia) para desarrollar apoyo a los SMHN en datos satelitales, productos y capacitación en colaboración con miembros de la AR V de la OMM (Pacífico Sudoccidental).

- JMA espera que el servicio HimawariRequest respalde las actividades de reducción del riesgo de desastres en la región en base al monitoreo de eventos extremos tales como ciclones tropicales y erupciones volcánicas.

Los modelos de predicción meteorológica intentan predecir el clima futuro mediante la ejecución de simulaciones basadas en las condiciones actuales tomadas de diversas fuentes de datos. Sin embargo, la naturaleza intrínsecamente compleja de los sistemas, unida a la falta de precisión y puntualidad de los datos, dificulta la realización de predicciones precisas, especialmente con sistemas meteorológicos como la precipitación repentina.

Como medio para mejorar los modelos, los científicos están utilizando supercomputadoras potentes para ejecutar simulaciones basadas en datos más actualizados y precisos. El equipo dirigido por Takemasa Miyoshi de AICS decidió trabajar con datos de Himawari-8, un satélite geoestacionario que comenzó a funcionar en 2015. Sus instrumentos pueden explorar toda el área que cubre cada diez minutos tanto en luz visible como infrarroja, a

una resolución de hasta 500 metros, y los datos se proporcionan a las agencias meteorológicas. Las mediciones infrarrojas son útiles para medir indirectamente las precipitaciones, ya que permiten ver dónde se encuentran las nubes y a qué altura.

Para un estudio, observaron el comportamiento del tifón Soudelor (conocido en Filipinas como Hanna), una tormenta de categoría 5 que causó daños en la región del Pacífico a fines de julio y principios de agosto de 2015. En un segundo estudio, investigaron el uso de los datos mejorados sobre predicciones de fuertes lluvias que se produjeron en la región de Kanto en Japón en septiembre de 2015. Estos artículos se publicaron en *Monthly Weather Review* y *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

Para el estudio sobre el tifón Soudelor, los investigadores adoptaron un modelo meteorológico recientemente desarrollado llamado SCALE-LETKF-ejecutando un conjunto de 50 simulaciones e incorporaron mediciones de infrarrojos del satélite cada diez minutos, comparando el rendimiento del modelo con los datos reales del 2015 tormenta tropical. Descubrieron que, en comparación con los modelos que no usan los datos asimilados, la nueva simulación pronostica con mayor precisión el rápido desarrollo de la tormenta. Intentaron asimilar los datos a una velocidad más lenta, actualizando el modelo cada 30 minutos en lugar de diez minutos, y el modelo no funcionó tan bien, lo que indica que la frecuencia de la asimilación es un elemento importante de la mejora.

Para realizar la investigación sobre precipitaciones desastrosas, el grupo examinó los datos de las fuertes lluvias que ocurrieron en la región de Kanto en 2015. En comparación con los modelos sin la asimilación de datos del satélite Himawari-8, las simulaciones predijeron con mayor precisión la fuerte y concentrada lluvia que tuvo lugar, y se acercó a predecir la situación en la que un río desbordado provocó graves inundaciones.

Según Miyoshi, "es gratificante ver que los supercomputadores junto con los nuevos datos satelitales nos permitirán crear simulaciones que serán mejores para predecir las precipitaciones repentinas y otros fenómenos meteorológicos peligrosos, que causan un daño enorme y pueden ser más frecuentes debido al cambio climático. Planeamos aplicar este nuevo método a otros eventos meteorológicos para asegurarnos de que los resultados sean realmente sólidos".

### **3.2 Análisis del deslizamiento de Hiroshima por The Japanese Geotechnical Society**

El mes de Agosto de 2014 ocurrió una lluvia extrema sin precedentes en la ciudad de Hiroshima derivado de ello fueron los múltiples deslizamientos y derrumbes que cobraron la vida de entre 80 y 90 personas aproximadamente.

Desde el 30 de julio de 2014 Japón había experimentado inundaciones, deslizamientos y otros desastres debido a las lluvias inusualmente intensas por lo que la JMA llamo a ese periodo como “Lluvias torrenciales de agosto de 2014”.

Debido a esto el JMA realizó una reunión de emergencia del Comité de Deliberación del Análisis Meteorológico Extremo, actualmente el JMA cree que la causa inmediata del clima extremo es una cresta de la alta presión del pacifico en verano y un inusual flujo del oeste en el norte del archipiélago.

El 20 de Agosto de 2014 se registraron deslizamientos de tierras en varias regiones, sin embargo cabe resaltar que en Japón destacan sus equipos de observación, a continuación se describe sus sistema para tener un mejor análisis.

En Japón cuentan con 1300 monitores del Sistema Automatizado de Adquisición de datos Meteorológicos (AMEDAS), estos monitores se separan a intervalos de 17 kilómetros y proporcionan un flujo constante de información precisa en tiempo real sobre la precipitación, la temperatura, la humedad y otros detalles, esta red de monitores se complementa con la red de satélites meteorológicos de Japón que proporcionan datos esenciales.

La tarde del 16 de agosto la JMA advirtió que los deslizamientos de tierra eran una amenaza en toda la prefectura debido a la saturación del suelo en muchas áreas causada por las fuertes lluvias de dos tifones (numero 11 y 12) a principios de agosto y los otros días de llovizna y llovizna, no fue hasta el 20 de agosto, luego que una lluvia sin precedentes cayera en la ciudad trajera consigo devastadores deslizamientos de tierra a muchos vecindarios en las numerosas laderas Asaminami y Asakita.

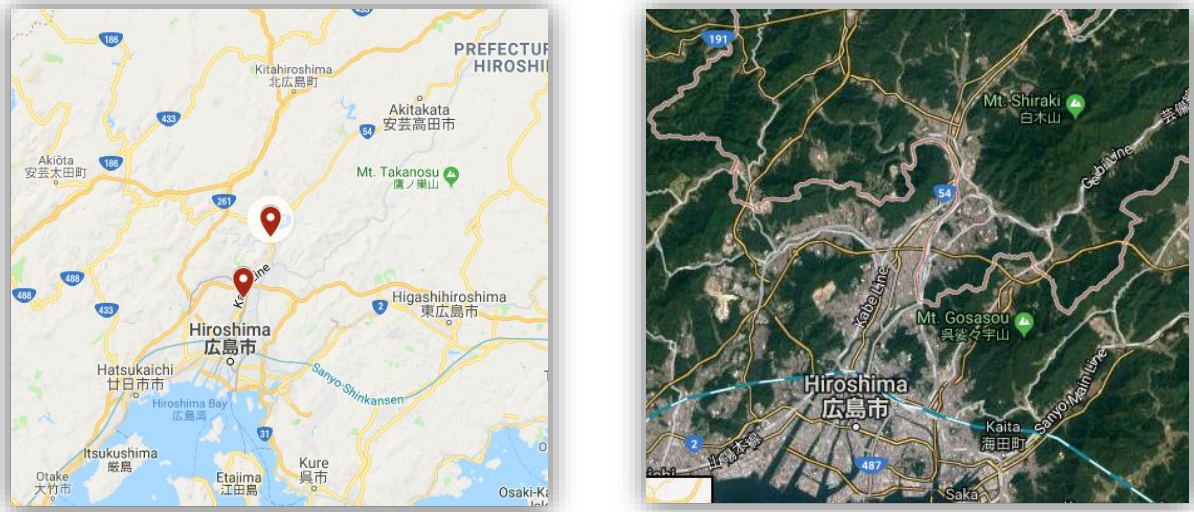


Fig 11. Ubicación de las prefecturas de Japón Asaminami y Asakita en Hiroshima.

La siguiente imagen muestra la intensidad de las tormentas y la lluvia (color morado) en el momento que ocurrió un deslizamiento. A nivel de suelo el monitor JMA AMeDAS EN Miiri registró 25.4 centímetros de lluvia desde el comienzo de agosto hasta la noche del 19 del mismo mes, mucho mas que el promedio histórico de 14.31 cm.

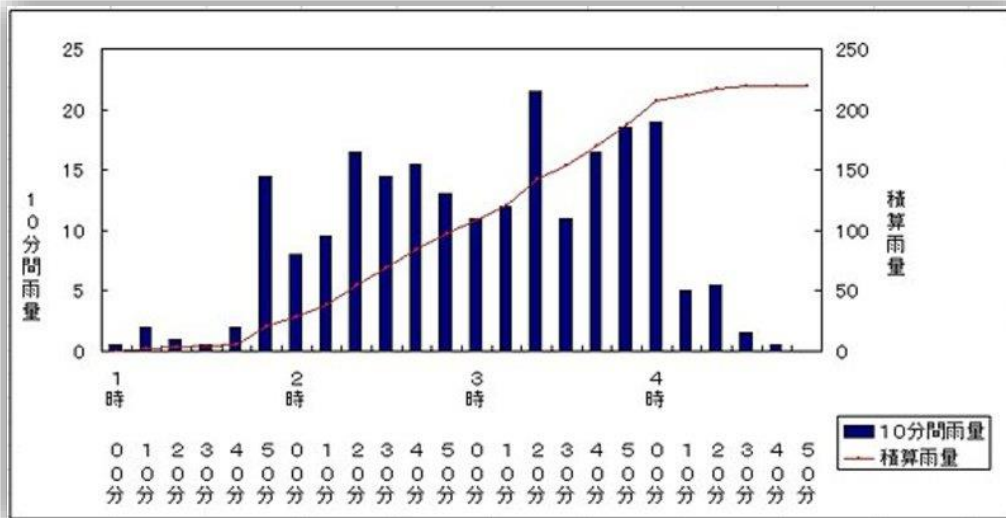


Fig 12. Grafica de precipitación vs tiempo, correspondiente al deslizamiento de Hiroshima.

El meteorólogo Yoshida Tomomi realizó una tabla en la que se muestra la precipitación en intervalos de 10 minutos en gradaciones de 5 milímetros del lado izquierdo y del lado derecho muestra la precipitación acumulada en gradaciones de 50 milímetros.

Durante la misma noche un pluviómetro de la misma prefectura en Asakita registro una intensidad de lluvia de 13 centímetros por hora alcanzando un total de 21.75 centímetros a las 4:30 am, para el día tenía un total de 27.5 centímetros.

Los deslizamientos de tierra comenzaron aproximadamente a las 3:20 a.m y se desarrollaron con una fuerza atípica en al menos 50 lugares sobre un área de aproximadamente 11 kilómetros de largo y 3 kilómetros de ancho. Estos eventos fueron grandes y rápidos.

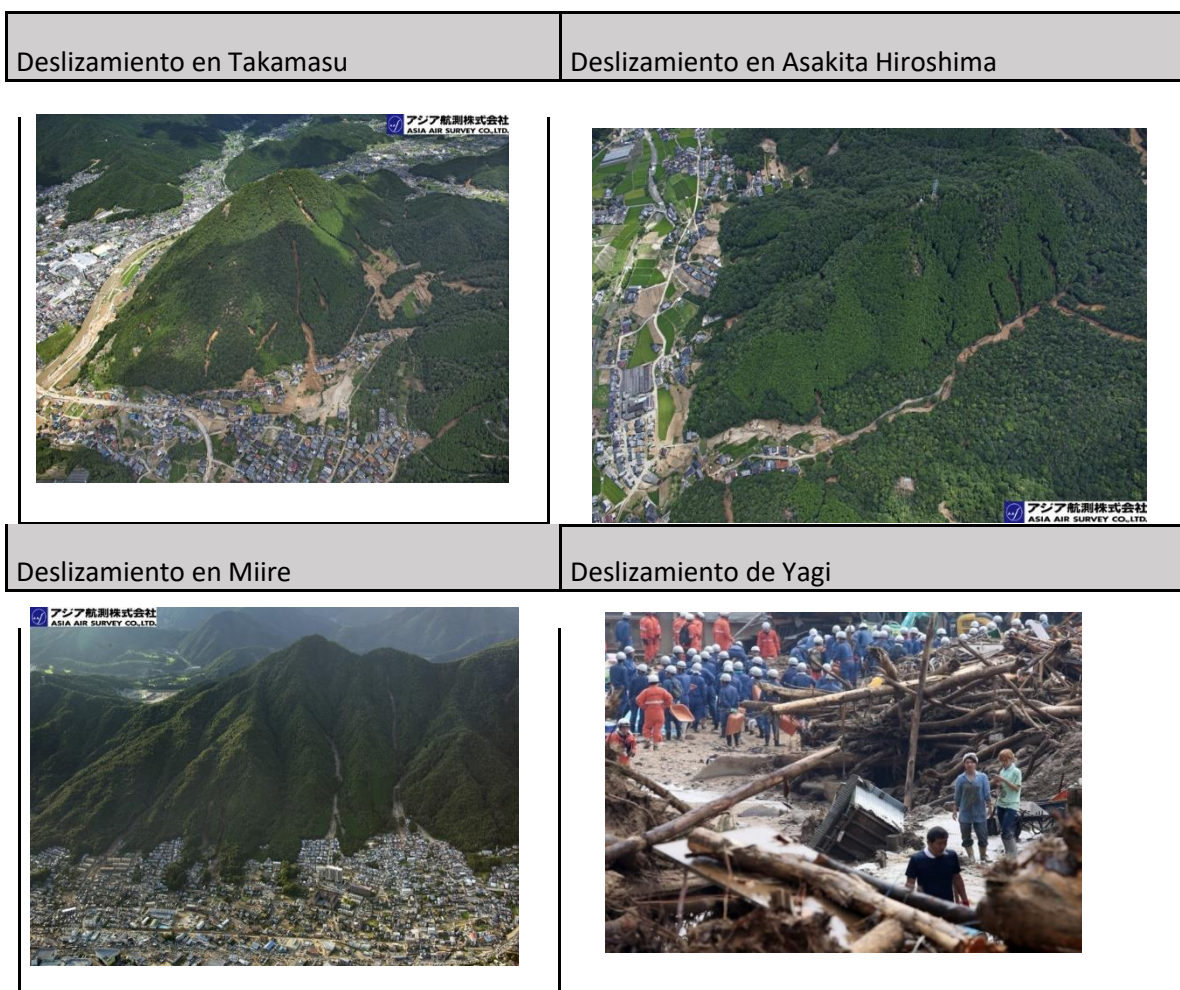


Fig 13. Imágenes de los diferentes deslizamientos en la prefectura de Hiroshima.

## Características de deslizamientos

Localidad del deslizamiento	Superficie	Velocidad	Características
Distrito de Miiri		40 km/h	27.5 cm de precipitación, el análisis sugiere que un muro de aproximadamente 3000 metros cúbicos y 3 metros de altura de árboles tierra y rocas se deslizo de la montaña Takamatsu
Distrito de Yagi de Asaminami	34 000 m cuadrados	144 km/h	superficie de suelo de aproximadamente 2 m de grosor se desprendió de la montaña Abusan de 586 m de altura, fue una enorme masa de material incluidos cantos rodados de varias toneladas descendiendo por laderas de granito

Tabla 4. Características de los deslizamientos en Hiroshima.

Cabe mencionar que los aspectos geológicos que se analizaron para este desastre arrojó poca evidencia de granito degradado redondeado sin embargo se observó una gran cantidad de roca sedimentaria grande (decenas de centímetros) y angular así como riolita (roca volcánica angular), lo cual es importante ya que los deslizamientos de tierra en Japón a menudo implican que la superficie del suelo de granito desgastado se sature con la lluvia y luego se deslice por una pendiente.

Generalmente las rocas sedimentarias y volcánicas no están implicadas en los deslizamientos de tierra esto se debe a los bordes angulosos y que la saturación de agua es menor y dificultan el flujo, si n embargo en esta ocasión la intensidad de la lluvia presentada abatió estas propiedades, Kaibori Masahiro especialista en control de erosión advierte que la lluvia extrema parece ser capaz de producir estos escenarios a pesar de la geología.



### 3.3 Análisis de la estabilidad y zonificación de zonas de riesgo (mapa de riesgos del JMA)

En el año 2013 la Agencia Meteorológica de Japón (JMA) lanzo el Sistema de Alerta de Emergencia el 30 de agosto del año mencionado, este sistema permite alertar a la población sobre la probabilidad de catástrofes en asociación con fenómenos naturales de gran magnitud.

La emisión de una advertencia de Emergencia para un área indica un nivel de riesgo excepcional de una magnitud observada solo una vez por década, para ello algunos de los criterios de emergencia son los siguientes:

Con respecto a emergencias meteorológicas

Phenomenon	Criteria
Heavy rain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heavy rainfall with a level of intensity observed only once every few decades is predicted in association with a typhoon or similar.</li> </ul> Or: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heavy rainfall is predicted in association with a typhoon expected to have a level of intensity observed only once every few decades or an extratropical cyclone with comparable intensity.</li> </ul>
Storm	A Storm is predicted
Storm surge	A storm surge is predicted
High waves	High waves are predicted
Snowstorm	A snowstorm is predicted in association with an extratropical cyclone expected to have a level of intensity observed only once every few decades.
Heavy snow	Heavy snowfall with a level of intensity observed only once every few decades is predicted.

Tabla 5. Criterios de emergencia para precipitaciones.

Con respecto a los terremotos, JMA mantiene el sistema de nomenclatura de advertencia utilizado hasta el 29 de agosto de 2013, pero emite advertencias tempranas de terremoto que incorporan la predicción de temblores que miden 6 o más en la escala de intensidad sísmica de JMA en la nueva clasificación de advertencias de emergencia.

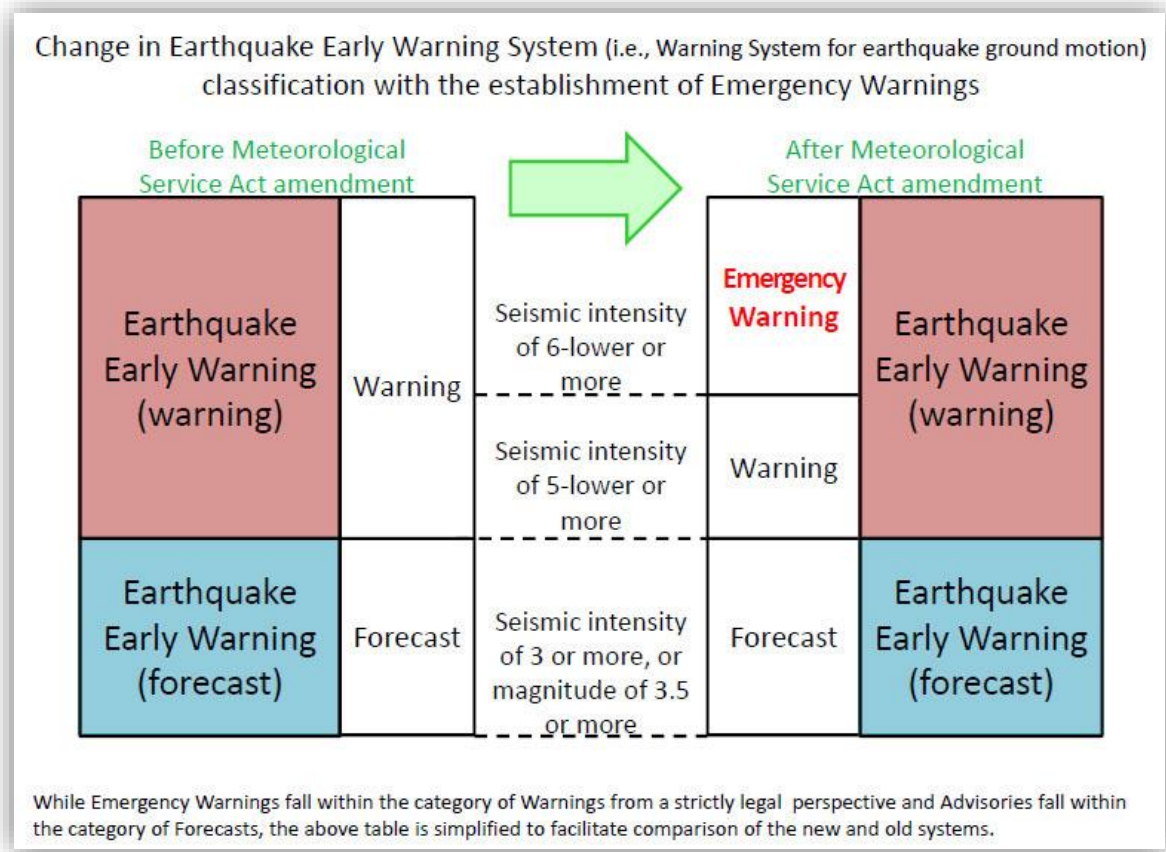


Fig 14. Criterios de emergencias.

### Mapa de riesgos

La JMA como ya se mencionó lanzó un sistema de emergencia en respuesta a los gobiernos locales y a las distintas condiciones naturales de cada localidad, este sistema contempla el mapa de riesgos el cual se creó utilizando información digital espacial proporcionada por el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo de Japón.

El mapa realizado por la JMA contempla los riesgos por erupciones, tsunamis, emergencias meteorológicas, volcánicas, para fines de este trabajo nos enfocaremos en el mapa de riesgos por deslizamientos de laderas el cual tiene relación con los siguientes mapas de riesgos:

- Mapa de riesgos de inundaciones
- Mapa de riesgos de inundaciones
- Mapa de riesgos de precipitación
- Mapa de riesgos de deslizamiento de laderas

### Mapa de riesgos de deslizamiento de laderas

Este mapa muestra los niveles de riesgo de deslizamiento de cuadrícula de 5 km en una escala ascendente de cinco niveles de riesgo que van del blanco al morado. Los datos de predicción utilizados por JMA para la determinación del riesgo incluyen los valores del índice de agua del suelo desde el periodo hasta dos horas más adelante en consideración del tiempo necesario para su evacuación.

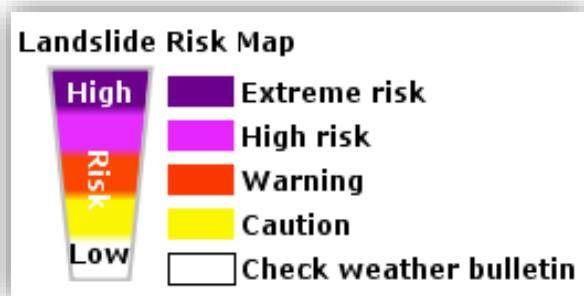
En tiempo real los datos de mapa de deslizamientos de riesgo indican lugares donde el riesgo de deslizamientos de tierra es mayor dentro de los municipios para los que las fuertes lluvias especifican posibles deslizamientos.



Los deslizamientos de tierra potencialmente fatales pueden ser inminentes en lugares que cumplen con los criterios aplicables y se encuentran en las áreas propensas a deslizamientos de tierra predesignadas.



Fig 15. Mapa de riesgos de estabilidad de laderas en tiempo real.

La escala de riesgo se clasifica mediante los colores siguientes:



Color	Comentario	Información de evacuación que se considerará en relación con la emisión para áreas designadas propensas a deslizamientos de acuerdo con la información relacionada (por ejemplo, Información de alerta de deslizamiento * y Mapas de riesgo de deslizamiento en tiempo real) informada por la Oficina del Gabinete
	<p>Equivalente a la información de alerta de derrumbe * (basado en la precipitación observada)</p> <p>Este nivel indica un riesgo extremo con condiciones comparables a las que acompañan a deslizamientos de tierra pasados. Los deslizamientos de tierra ya pueden haber ocurrido. Tome medidas urgentes para garantizar la seguridad si la evacuación no está completa.</p>	<p>Orden de evacuación</p>
	<p>Equivalente a la información de alerta de derrumbe * (basado en la precipitación pronosticada)</p> <p>Los deslizamientos de tierra potencialmente fatales pueden</p>	<p>Asesoramiento de evacuación</p>

	<p>ser inminentes en este nivel. Evacúe inmediatamente de las áreas designadas propensas al deslizamiento y del terreno circundante según lo requiera la situación.</p>	
	<p>Equivalente a la advertencia de lluvia intensa Se debe prestar especial atención a la posibilidad de deslizamientos de tierra. Prepárese para una evacuación temprana.</p>	Alerta de preparación de evacuación
	<p>Equivalente a lluvia fuerte Se debe prestar atención a la posibilidad de deslizamientos de tierra. Siga los boletines meteorológicos de JMA y controle la situación teniendo en cuenta la intensidad y la duración de la lluvia.</p>	-
	<p>Por debajo del nivel de advertencia de lluvia intensa. Siga los boletines meteorológicos de JMA y controle la situación teniendo en cuenta la intensidad y la duración de la lluvia.</p>	-

Tabla 6. Clasificación de riesgos por la JMA.

Toda la información presentada se relaciona con flujos de escombros y fallas de pendiente concentradas.

Mediante el análisis en tiempo real de los eventos naturales es posible interconectar los factores que detonan un deslizamiento de laderas, por lo que es de suma importancia poder contar con los datos necesarios para su uso.

## 4. METODOLOGIA PROPUESTA Y FACTIBILIDAD DEL METODO EN EL CASO LA PINTADA GUERRERO

### 4.1 Condiciones geológico-geotécnicas del movimiento

La inestabilidad de laderas es uno de los riesgos naturales con un gran poder destructivo: derrumbes deslizamientos, flujos, reblandecimiento de terrenos y movimientos complejos ocurren día con día (Petley 2012).

Bajo estos antecedentes en parte de la costa del Estado de Guerrero el 16 de septiembre de 2013 ocurrió un deslizamiento de ladera sobre la comunidad La Pintada (en el municipio Atoyac de Álvarez) causando graves daños.



*Fig 16. Deslizamiento en “La Pintada” Guerrero.*

Los deslaves y derrumbes ocurrieron principalmente durante los huracanes Manuel y Paulina, por degradación de la cubierta vegetal de las laderas y en las pendientes montañosas.

El sistema afectado está integrado por la población y diversos componentes hidrometeorológicos, geológicos, químicos

## CONDICIONES METEOROLOGICAS

- Viento: predominante: en los meses de enero-junio los vientos van de oeste-sureste, en los meses de agosto, octubre y noviembre van de oeste-noreste, presentan unas velocidades entre 2.52 y 8.64 Km/h.
- Lluvias: En verano, las lluvias torrenciales se presentan de mayo a noviembre.
- Fenómenos especiales: en ocasiones bruma y niebla.
- Vegetación predominante: selva caducifolia y en la región de serranía areas de bosque de pino y encino.

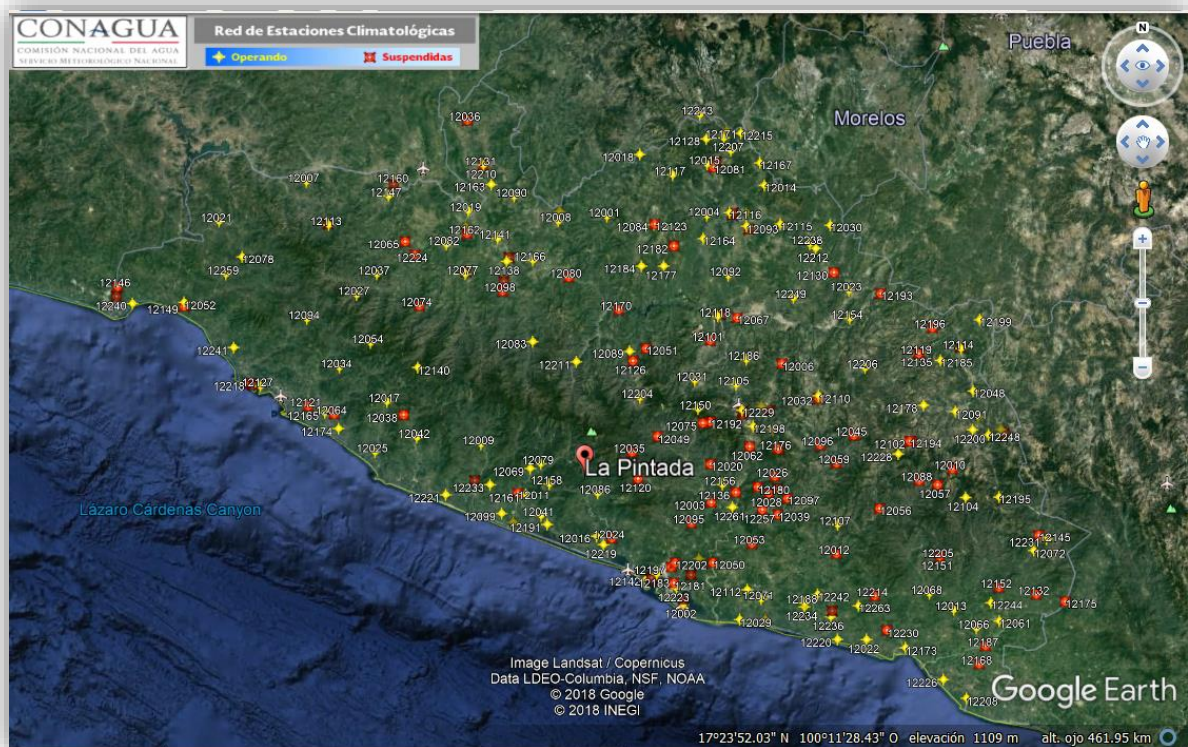


Fig 17. Estaciones Meteorológicas actuales en el estado de Guerrero.

### Características del deslizamiento “La Pintada Guerrero”

Localidad del deslizamiento	Superficie	Material	Características
La Pintada, Atoyac de Álvarez, Guerrero (2013)	longitud de la ladera 50 m , ancho de 46 m, volumen aproximado de material 125 000 m3	Flujos de suelos y rocas	pendiente de la ladera 28°

Tabla 7. Cuadro de características del deslizamiento en Guerrero.

La ocurrencia de deslizamientos en Chilpancingo se debe a varios factores, tanto antropogénicos como de la propia naturaleza del terreno. La invasión de barrancas por parte de los habitantes de la ciudad, ha ocasionado que las construcciones desestabilicen el terreno, primero al retirar la cubierta vegetal que protege los taludes y luego, al construir retajes para el desplante de viviendas, lo cual genera tiempo después si se vierten aguas domésticas sobre el talud de las barrancas, un ambiente propicio para un deslave. Por otro lado, se ha observado que durante la temporada de lluvias, los altos índices de precipitación generan deslizamientos al saturar los materiales geológicos de la zona. La filtración de agua en los materiales de la Formación Chilpancingo tiene el efecto de elevar el nivel freático rápidamente, aumentando a la vez la presión de poro y predisponiendo el terreno a un deslizamiento. El alto contenido de arcillas de la formación y su distribución irregular no permite una filtración rápida del agua, por lo que los materiales se saturan rápidamente, propiciando que se tengan las condiciones necesarias para un deslizamiento. El contenido de arcilla en esta formación es determinante para la ocurrencia de deslaves, y marca una diferencia con respecto a otros rellenos aluviales de diferente granulometría y geometría de sus partículas. La configuración geomorfológica de Chilpancingo y la composición geológica de la misma, posee superficies vulnerables ante la presencia de eventos de deslizamientos de laderas.

Red	P. C. GUERRERO
Estación	ATOYAC P.C.
Ubicación	GUERRERO
Latitud (N)	17.21138889
Longitud (O)	-100.4241667
Altitud	66

## 4.2 Sistemas de monitoreo de precipitaciones en la República Mexicana

### Servicio Meteorológico Nacional

En México el monitoreo de precipitaciones es una actividad realmente importante ya que por la ubicación geográfica está expuesto a huracanes, ciclones tropicales, entre otros cambios climático abruptos. Para llevar un control y registro de estos cambios existe el Servicio Meteorológico Nacional organismo público de México encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El Servicio Meteorológico cuenta con una red de observación con la siguiente estructura:

Red integrada por 79 estaciones meteorológicas



Red sinóptica de altura. Consta de 16 estaciones de radio sondeo encargadas de las capas altas de la atmosfera cada dos veces al día.

Red de 13 radares meteorológicos distribuidos en el Territorio Nacional permiten detectar la evolución de los sistemas nubosos puede conocerse la intensidad de la precipitación (lluvia, granizo o nieve), la altura y densidad de las nubes y su desplazamiento, así como la velocidad y dirección del viento, en un radio máximo de 480 Km alrededor de cada radar. Con la actual red de doce radares se cubre casi en su totalidad el Territorio Nacional.

Estación terrena receptora de imágenes del satélite meteorológico GOES-8; Con esta estación se reciben imágenes cada 30 minutos de cinco diferentes bandas: una visible, tres infrarrojas y una de vapor de agua. Cada imagen cubre la región meteorológica número IV, la cual abarca México, Canadá, Estados Unidos, el Caribe y Centro América. Además, cada tres horas se recibe una imagen visible, otra infrarroja y una de vapor de agua que cubren el total del continente americano.

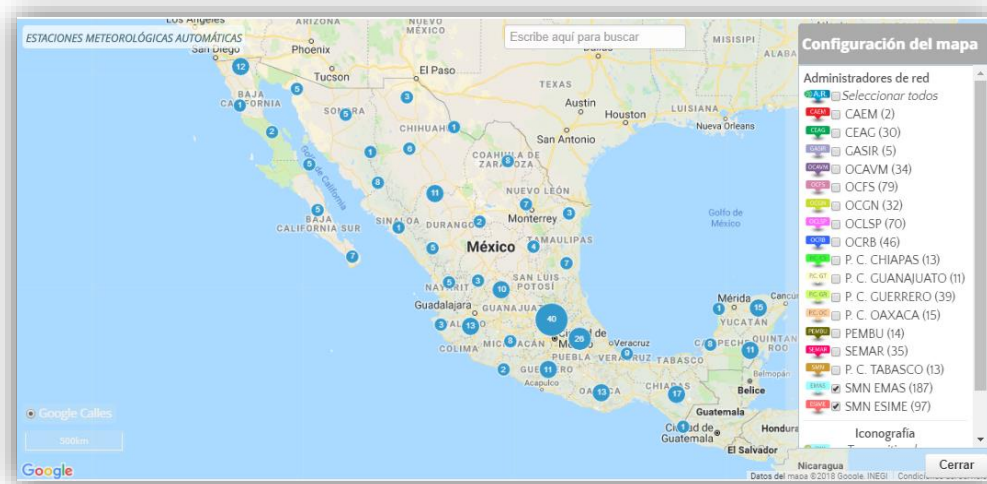


Fig 18. Red de estaciones meteorológicas a nivel nacional.

Una Estación Meteorológica Automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas **Variables Meteorológicas** para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.

Nota: La hora que se utiliza para registrar los datos es el horario **TUC ó UTC (Tiempo Universal Coordinado)** por esta razón deberá tener en consideración este factor para la correcta interpretación de los datos desplegados en la pagina del SMN.

El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso. (Referencia OMM número 100 y 168).

#### Sensores que integran la Estación:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura y Humedad relativa
- Radiación solar
- Precipitación

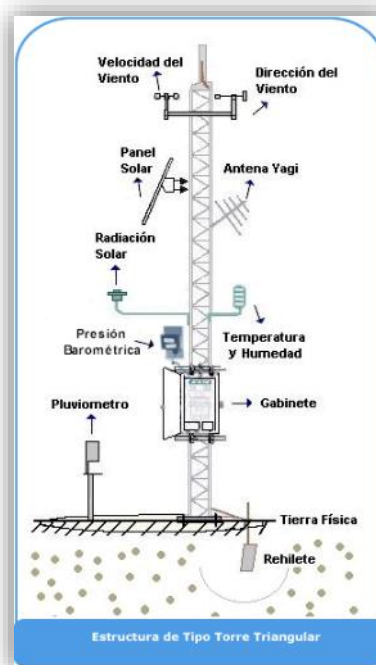
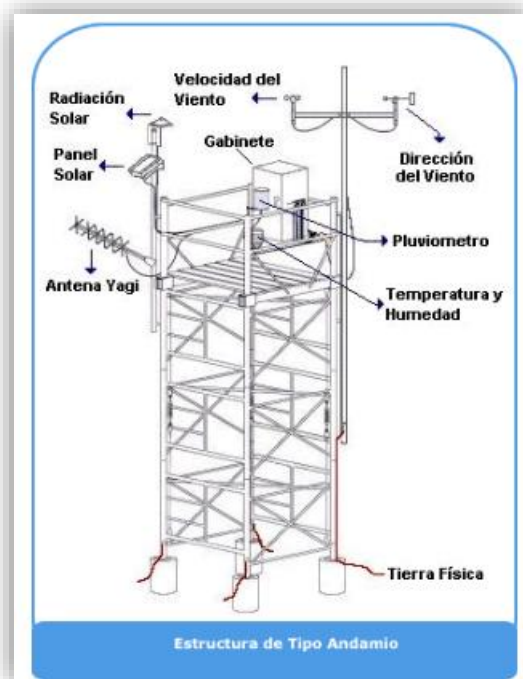


Fig 19. Estructuras de las estaciones meteorológicas.

## Servicio Meteorológico Nacional actual.

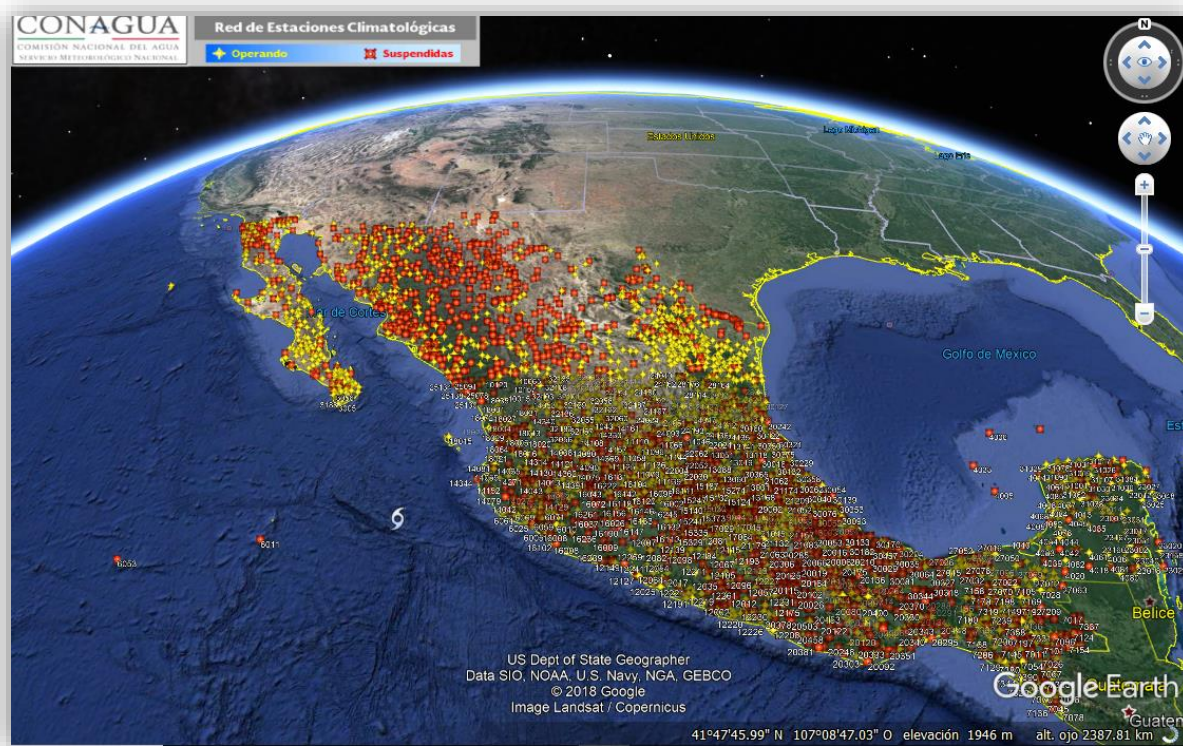


Fig 20. Estaciones meteorológicas de México fuente CONAGUA.

### 4.3 Metodología Propuesta

Como resultado de toda la investigación y sin perder de vista el objetivo planteado que es la prevención y alertamiento a la población ubicada en zonas de riesgo potencial se propone el siguiente método en el cual aspectos a considerar se mencionan a continuación:

- Antecedentes de deslizamiento
- Inclinação o pendiente del talud o formación rocosa
- Tipo de material (suelo o roca)
- Temporal de lluvia
- Pluviómetro
- Suelo erosionado
- Vegetación presente

Bajo las condiciones sociales de la población y las condiciones geográficas de nuestro país es necesario plantear un método factible, en este caso se propone un puntaje para la focalización de la localidad en cuestión.

- 1.- Determinar los factores relevantes para la zona de estudio
- 2.- De acuerdo a los factores de importancia para la focalización seleccionar una ponderación de 1-3 .
- 3.- Finalmente realizar la suma del puntaje asignado.
- 4.- De acuerdo al puntaje asignado determinar el grado de emergencia según el semáforo.

Semáforo de emergencia		
Normal	Tome precauciones	Peligro emergencia
10-14	15-20	20-24

Tabla 8. Semáforo de emergencia de acuerdo a la suma de ponderaciones.

Tabla de focalización de deslizamiento		
Factores	Respuesta	Valor
Antecedentes de deslizamiento en la zona	Si	3
	No	1
Inclinación del talud	Suave	1
	Fuerte	3
Tipo de material	Roca	1
	Suelo	3
(En caso de ser roca)	Fracturada, de diferentes coloraciones	3
	Solo fracturada	2
	Macizo rocoso	1
(En caso de ser suelo)	Arcilla	3
	Limo	3
Suelo erosionado	Si	2
	No	1
Vegetación presente	Si	1
	No	3
Clima	Tiempo de lluvia (h)	2
	Tiempo de lluvia (s)	3
Puntaje total		

Tabla 9. Ponderación de Factores que influyen en un deslizamiento de laderas

#### 4.4 Factibilidad del método

Para realizar la propuesta de la metodología para deslizamientos de laderas se analizó el problema mediante un árbol de problemas teniendo en cuenta sus causas y efectos los cuales se pretenden disminuir mediante la metodología planteada.

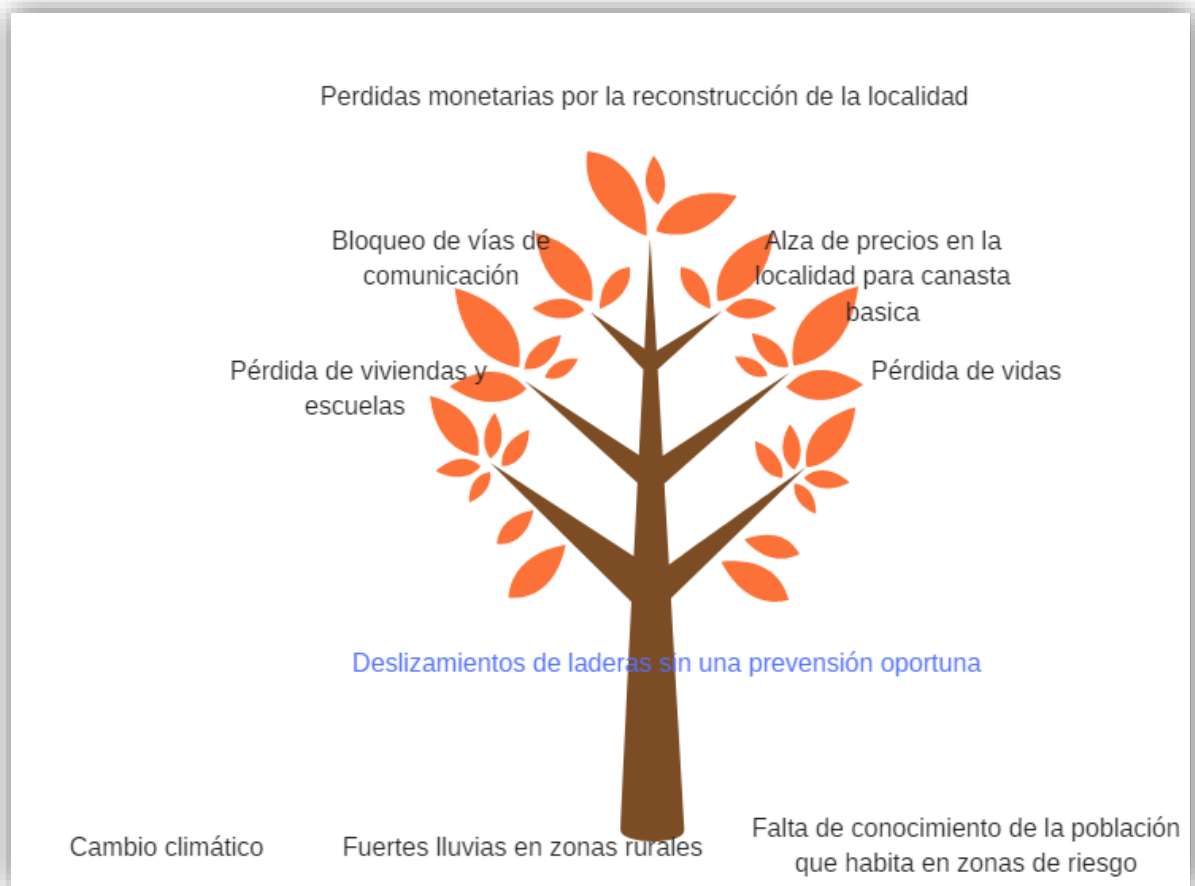


Fig 21. Árbol de problema planteado.

DE acuerdo al árbol planteado existen factores internos y externos que tienen influencia en el deslizamiento de laderas, una vez proyectado y definido el problema se proponen los efectos que tiene sobre la población y a nivel nacional; este árbol nos sirve para la posterior toma de decisiones y plantear el objetivo al cual queremos llegar y como se va a lograr, para nuestro caso particular nuestro objetivo es disminuir los deslizamientos de laderas mediante una prevención oportuna a la población objetivo.



Fig 22. *Árbol de objetivos.*

Posteriormente una vez realizado el árbol de problema se planteó un árbol de objetivos que sirve para definir la forma en que se resolverán los problemas planteados.

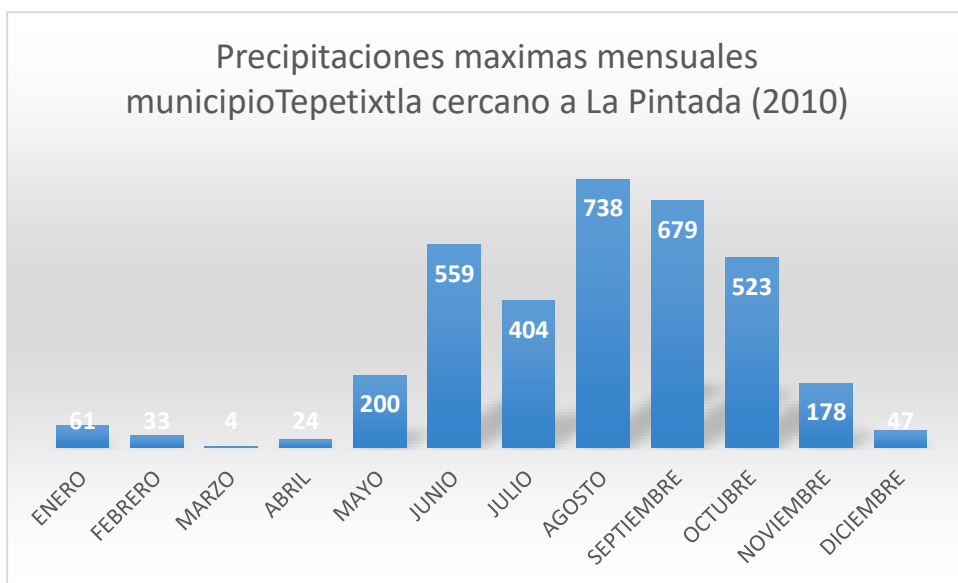
En nuestro caso la solución no abarca todas las causas de los deslizamientos ya que los factores externos, salen de nuestro control, sin embargo se proponen las siguientes acciones:

1. Capacitar a la población objetivo (se entiende como población objetivo toda aquella población asentada en zonas donde han ocurrido deslizamientos en su mayoría son zonas rurales), para el uso del formato planteado.
2. Plantear un mejor acceso a la información climatológica.
3. Aplicar la metodología planteada en el caso de “La Pintada Guerrero” y analizar el resultado
4. Proponer mejoras al formato para incluir más variables.

## Metodología propuesta para el caso La Pintada Guerrero

### Análisis de precipitaciones La Pintada Guerrero

Precipitaciones maximas registradas (2010)	
MES	mm/s
ENERO	61
FEBRERO	33
MARZO	4
ABRIL	24
MAYO	200
JUNIO	559
JULIO	404
AGOSTO	738
SEPTIEMBRE	679
OCTUBRE	523
NOVIEMBRE	178
DICIEMBRE	47



Precipitaciones normales registradas (2010)	
MES	mm/s
ENERO	6.8
FEBRERO	3.4
MARZO	0.1
ABRIL	1.2
MAYO	42.9
JUNIO	208.9
JULIO	169.6
AGOSTO	211.2
SEPTIEMBRE	229.3
OCTUBRE	135.3
NOVIEMBRE	19.9
DICIEMBRE	8.5

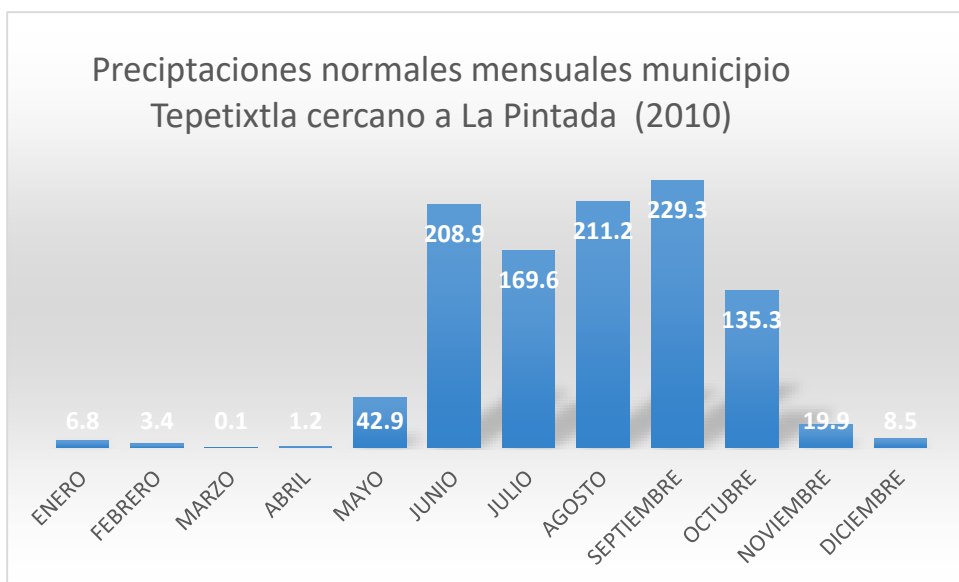


Tabla de focalización de deslizamiento "La Pintada"		
Factores	Respuesta	Valor
Antecedentes de deslizamiento en la zona	Si	3
	No	
Inclinación del talud	Suave (0°-45°)	
	Fuerte(45°-90°)	3
Tipo de material	Roca	
	Suelo	3
(En caso de ser roca)	Fracturada, de diferentes coloraciones	
	Solo fracturada	2
	Macizo rocoso	
(En caso de ser suelo)	Arcilla	3
	Limo	
Suelo erosionado	Si	2
	No	
Vegetacion presente	Si	
	No	3
Clima	Tiempo de lluvia (h)	
	Tiempo de lluvia (s)	3
Puntaje total		22

Tabla 10. Ponderacion para el caso "La Pintada Guerrero".

Semáforo de emergencia		
Normal	Tome precauciones	Peligro emergencia
10-14	15-20	20-24

Tabla 11. Semáforo de emergencia para el caso "La Pintada".

El Puntaje obtenido para el caso de "La Pintada Guerrero" es de 22, por lo tanto existe un peligro de emergencia para un deslizamiento, este método es cualitativo, mediante observación de los habitantes se plantea una ponderación que dará como resultado el grado de la emergencia en que se encuentran, para el caso que se analizó del año 2013 en método es factible ya que la emergencia resulto inminente, sin embargo es necesario realizar mas pruebas y mejoras del procedimiento.



## HOJA DE AYUDA PARA PREVENCIÓN DE DESLIZAMIENTOS

Ubicación geográfica (si se cuenta con ella)	
Coordenadas UTM (mE):	Coordenadas UTM (mN):
Estado: Guerrero	Municipio: La Pintada

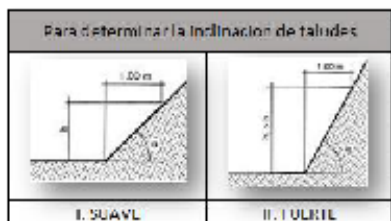


Tabla de focalización de deslizamiento "La Pintada"		
Factores	Respuesta	Valor
Antecedentes de deslizamiento en la zona	Si	3
	No	
Inclinación del talud	Suave (0°-45°)	
	Fuerte (45°-90°)	3
Tipo de material	Roca	
	Suelo	3
(En caso de ser roca)	Fracturada, de diferentes coloraciones	
	Solo fracturada	2
	Macizo rocoso	
(En caso de ser suelo)	Arcilla	3
	Limo	
Suelo erosionado	Si	2
	No	
Vegetación presente	Si	
	No	3
Clima	Tiempo de lluvia (h)	
	Tiempo de lluvia (s)	3
Puntaje total		22

Semáforo de emergencia		
Normal	Tome precauciones	Peligro emergencia
10-14	15-20	20-24

Conclusión: Emergencia

Fig. 23 Hoja de ayuda para prevención de deslizamientos

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los fenómenos geológicos como deslizamientos de laderas sismos, huracanes erupciones etc, son eventos poco frecuentes pero de alto impacto, sin embargo con el paso del tiempo y con el cambio gradual de la superficie terrestre y del clima estos acontecimientos han aumentado, afectando a miles de personas en todo el mundo.

Actualmente en México existen programas que tiene por objetivo la prevención de desastres naturales, sin embargo generalmente no existe esta cultura, estamos acostumbrados a mitigar los desastres una vez ocurridos, es cierto que un fenómeno natural puede darse en minutos o segundos, sin embargo también es cierto que una población informada es y será siempre nuestra mejor arma para combatir los posibles eventos naturales que día con día han ido aumentando.

En este trabajo se trató de tomar como referencia la JMA (Japan Meteorological Agency) ya que en un país como Japón que está sujeto a múltiples eventos naturales la cultura de prevención y el avance tecnológico son fundamentales para salvaguardar la vida de las personas que es lo más importante, y con ello si es posible disminuir el costo de reconstrucción de las zonas afectadas, cabe señalar que aun con todas estas herramientas difícilmente se disipan las posibles afectaciones, pues aunque se trabaja en ello las condiciones sociales son factores externos que ocasionan que gran parte de las poblaciones se asienten en lugares con alto grado de vulnerabilidad.

México es un país con una extensión territorial 5, 196, 000 veces más grande que Japón aproximadamente, por ello la inversión económica que se requiere para cubrir de estaciones meteorológicas es considerable, de ahí surge la necesidad de plantear una solución viable para las necesidades de la población y para ello se debe tener en cuenta los componentes sociales de los habitantes como el grado de marginación y la información a la que tienen acceso, como resultado de este análisis se planteó una tabla de ponderación para focalizar los probables deslizamientos, esta tabla solo proporciona una idea del grado de riesgo en que se encuentran las personas en el momento en que comienza a llover, pues permite de forma cuantitativa valorar las posibilidades de una emergencia basándose en propiedades cualitativas que cualquier persona podría llenar, cabe aclarar que se pretende seguir mejorando y tomar en cuenta más parámetros que aseguren la certeza de cada evento.

También es necesario mencionar que para un adecuado uso se podrían impartir capacitaciones referente a cómo usarla así como una campaña de concientización para evitar asentamientos en zonas donde podrían ser vulnerables, como ya se mencionó mientras más informados sean los habitantes mejor responderán ante eventos naturales, mejor preparados estarán ante cualquier evento y menor será el costo económico y de vidas para la nación.

También se planteó como objetivo secundario de este trabajo, que pueda servir como apoyo y parte para la construcción de políticas públicas acorde con los acontecimientos recientes y de acuerdo a la población objetivo, una población informada y capacitada siempre dará mejores resultados para la nación, si tenemos en cuenta que la gestión de riesgos debe ir evolucionando junto con los cambios en los desastres naturales, cambios en la sociedad esto dará como resultado una mejora las políticas públicas que existen, una mejora a las actuales políticas de planeación de zonas para asentamientos urbanos y un menor costo económico para la nación, debe existir una cultura de prevención y no solo de mitigación del daño.

## 6. BIBLIOGRAFIA:

- “Análisis y Causas de las inundaciones de la zona Diamante- Tormenta Manuel- Septiembre 2013”, Secretaria de desarrollo urbano y obras públicas, Entrega de recepción, H Ayuntamiento de Acapulco 2012- 2015.
- Identificación de deslizamientos de laderas aplicando técnicas de detección de cambios a imágenes Landsat en la zona Costera del Estado de Guerrero México, R.N Ramos- Bernal, R.Vazquez- Jimenez R. Romero- Calcerrada, C.J Novillo, P. Arrogante- Funes, S. Sanchez Tapia.
- Struggling with Natural Disasters, Underground Facilities Protecting the City from Flood Damage
- Fundamentos de Geotecnia ICE-1603, Esteban Sáenz, 20 Enero 2010, Estabilidad de Taludes
- Analisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Un aporte para la construcción de políticas públicas, Ana Campos G, Niels Holm- Nielsen, Carolina Diaz G., Diana M Rubiano V., Carlos R. Costa P., Fernando Ramírez C. y Eric Dickson.
- Geostacionary meteorological satellites Himawari-8/9, Japan Meteorological Agency
- El clima en la Inestabilidad de Laderas, La época de lluvias, CENAPRED México, Ma. Teresa Vázquez Conde
- Honda, T., T. Miyoshi, G.-Y. Lien, S. Nishizawa, R. Yoshida, SA Adachi, K. Terasaki, K. Okamoto, H. Tomita y K. Bessho, "Asimilación de los rayos infrarrojos Himawari-8 por satélite en todo el cielo: un caso de Typhoon Soudelor (2015)" , *Revisión Meteorológica Mensual* , doi: [10.1175 / MWR-D-16-0357.1](https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0357.1)
- Honda, T., S. Kotsuki, G.-Y. Lien, Y. Maejima, K. Okamoto y T. Miyoshi, "Asimilación de Himawari-8 Radiancias en todos los cielos cada 10 minutos: impacto en la precipitación y predicción de riesgo de inundación", *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* , doi: [10.1002 / 2017JD027096](https://doi.org/10.1002/2017JD027096)
- Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas, CENAPRED, Instituto de Ingeniería marzo de 2007.
- Análisis de la Amenaza de Riesgo por Deslizamiento de Laderas en la Ciudad de Chilpancingo, Gro., ZÚÑIGA Gutierrez Martín1 , CUEVAS Sandoval Alfredo2 , SÁNCHEZ Calvo Mateo3 , BARRAGÁN Trinidad Raziél4 .

Sitios de internet consultados:

- slideshare.net, Carolina Cruz, consistencia y compacidad
- Japan Meteorological Agency JMA
- eadic.com, obtención del umbral de escorrentía po/51

## 7. ANEXOS.

Tabla. Estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm)						
USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares aprovechamiento forestal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	<3	Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
		Buena	*	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
		Muy espesa	*	65	43	33

1. N: DENOTA CULTIVO SEGÚN LAS CURVAS DE NIVEL.  
R: DENOTA CULTIVO SEGÚN LA LÍNEA DE MÁXIMA PENDIENTE.  
2. \*: DENOTA QUE ESA PARTE DE CUENCA DEBE CONSIDERARSE INEXISTENTE A EFECTOS DE CÁLCULO DE CAUDALES DE AVENIDA.  
3. LAS ZONAS ABALANCADAS SE INCLUIRÁN ENTRE LAS DE PENDIENTE MENOR DEL 3%.

**Tabla 17.2** Valores seleccionados de porosidad, rendimiento específico y retención específica\*

Material	Porosidad	Porosidad eficaz	Retención específica
Suelo	55	40	15
Arcilla	50	2	48
Arena	25	22	3
Grava	20	19	1
Caliza	20	18	2
Arenisca (semiconsolidada)	11	6	5
Granito	0,1	0,09	0,01
Basalto (fresco)	11	8	3

\*Los valores se dan en porcentaje por volumen.  
Fuente: U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, 1987.

## Lista de estaciones meteorológicas del SMN

ESTADO	NOMBRE	Latitud N	Longitud W	Altitud (m)	Instalación en sitio
AGUASCALIENTES	CALVILLO	21°50'58"	102°42'44"	1618	15-nov-04
AGUASCALIENTES	PRESA 50 ANIV.	22°11'21.5"	102°27'53.9"	2063.397	05-dic-12
AGUASCALIENTES	SIERRA FRIA	22°16'11.2"	102°36'31.6"	2976.307	08-dic-12
BAJA CALIFORNIA	BAHÍA DE LOS ANGELES	28°53'47"	113°33'37"	10	06-abr-00
BAJA CALIFORNIA	CATAVIÑA	29°43'38"	114°43'09"	514	10-nov-04
BAJA CALIFORNIA	CONSTITUCION DE 1857	32°02'31.8"	115°55'18.2"	1576.313	14-dic-12
BAJA CALIFORNIA	LA RUMOROSA	32°16'20"	116°12'20"	1262	06-nov-04
BAJA CALIFORNIA	MEXICALI	32°40'00"	115°27'28"	14	26-mar-00
BAJA CALIFORNIA	PLAYAS ROSARITO	32°22'39.8"	117°04'17.2"	36.9 m	19-may-15
BAJA CALIFORNIA	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA)	32°26'50"	116°54'30"	156	07-may-99
BAJA CALIFORNIA	PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA (ENSENADA)	31°53'29"	116°36'12"	32	02-jul-99
BAJA CALIFORNIA	SAN QUINTÍN	30°31'54"	115°50'15"	32	01-abr-00
BAJA CALIFORNIA	TECATE	32°34'06.8"	116°39'41.7"	583.7	20-may-15
BAJA CALIFORNIA SUR	BAHIA DE LORETO	26°00'35.1"	111°21'14.1"	25.184	13-dic-12
BAJA CALIFORNIA SUR	CABO PULMO	23°26'42.9"	109°25'28.4"	25.978	19-dic-12
BAJA CALIFORNIA SUR	CABO SAN LUCAS	22°52'52"	109°55'35"	224	26-abr-00

BAJA CALIFORNIA SUR	GUSTAVO DÍAZ ORDAZ	27°38'36.6"	113°27'28.1"	83.5 m	18-may-15
BAJA CALIFORNIA SUR	SAN JUANICO	26°15'27.1"	112°28'42.9"	36	28-dic-07
BAJA CALIFORNIA SUR	SIERRA LA LAGUNA	23°33'19.9"	109°59'55.3"	1949.077	24-dic-12
BAJA CALIFORNIA SUR	TODOS SANTOS	23°26'47.6"	110°12'56.1"	48	29-abr-15
CAMPECHE	CALAKMUL I	18°21'54.4"	089°53'33"	28	16-dic-02
CAMPECHE	CALAKMUL II	18°05'38.6"	089°27'43.2"	256.241	30-nov-12
CAMPECHE	DZILBACHEN	19°27'44.9"	089°43'26.3"	169.8 m	13-may-15
CAMPECHE	ESCARCEGA	18°36'30"	090°45'14"	60	17-nov-04
CAMPECHE	ISLA DEL CARMEN	18°39'29.9"	091°45'55.1"	11.7	11-may-15
CAMPECHE	LOS PETENES	19°56'36.4"	090°22'26.6"	3.323	29-nov-12
CAMPECHE	MONCLOVA	18°03'25"	090°49'15"	100	27-dic-07
CAMPECHE	YOHALTUM	19°00'49.7"	090°18'39.95"	80	26-dic-07
CHIAPAS	CAÑÓN DEL SUMIDERO	16°49'41.6"	093°05'42.6"	1253.923	05-nov-12
CHIAPAS	EL TRIUNFO	15°39'23.8"	092°48'29.3"	1974	31-dic-12
CHIAPAS	ESCUINTLA	15°17'51"	092°40'34"	42	29-dic-03
CHIAPAS	LA ENCRUCIJADA	15°04'06.26"	092°45'19.34"	1	24-dic-12
CHIAPAS	LAGUNAS DE MONTEBELLO	16°06'52.5"	091°43'48.2"	1492	04-dic-12
CHIAPAS	MONTES AZULES	16°48'43.8"	091°31'29.6"	625	11-dic-12
CHIAPAS	PALENQUE	17°31'33"	091°59'25"	52	17-dic-02
CHIAPAS	VOLCAN TACANA	15°05'27.9"	092°08'50.3"	1492	19-dic-12
CHIHUAHUA	BASASEACHI	28°11'57"	108°12'32"	1973	07-may-99
CHIHUAHUA	CD. CUAUHTEMOC	28°23'48.83"	106°50'21.79"	2102	27-dic-07
CHIHUAHUA	CHINATÚ	26°13'46"	106°46'14"	1982	04-jun-99
CHIHUAHUA	CHINIPAS	27°23'34"	108°32'11"	431	24-may-99
CHIHUAHUA	CIUDAD DELICIAS	28°10'12"	105°30'00"	1188	26-dic-03

CHIHUAHUA	CUMBRES DE MAJALCA	28°48'1 1.9"	106°29'0 9.6"	2088. 841	06-dic-12
CHIHUAHUA	EL VERGEL	26°28'2 4"	106°23'2 5"	2800	28-dic-07
CHIHUAHUA	GUACHOCHI	26°48'5 2"	107°04'2 6"	2397 m	30-abr-15
CHIHUAHUA	JANOS	30°50'2 0.3"	108°25'3 8.10"	1398. 776	30-nov-12
CHIHUAHUA	JIMENEZ	27°06'3 9"	104°54'2 3"	1360	18-nov-04
CHIHUAHUA	MAGUARICHI	27°51'3 0"	107°59'4 0"	1663	10-jun-99
CHIHUAHUA	OJINAGA	29°32'0 3.88"	104°28'0 7.32"	790	27-dic-07
CHIHUAHUA	URIQUE	27°12'5 6"	107°55'0 1"	577	15-abr-99
CHIHUAHUA	VILLA AHUMADA	30°36'5 6.32"	106°30'1 8.64"	1931	26-dic-07
COAHUILA	CUATRO CIÉNEGAS	27°00'0 8.8"	102°04'2 1.8"	556	26-dic-07
COAHUILA	MORELOS-MUZQUIZ	28°00'4 7"	101°42'4 1"	492	27-dic-07
COAHUILA	NUEVA ROSITA	27°55'1 2"	101°19'4 8"	366	22-dic-03
COAHUILA	OCAMPO	28°49'3 1.7"	102°31'3 0.4"	1662. 671	27-nov-12
COAHUILA	SANTA CECILIA	28°23'5 8"	101°12'4 7"	595	25-nov-04
COAHUILA	VENUSTIANO CARRANZA	27°31'1 0"	100°57'0 0"	264	27-dic-07
COLIMA	SIERRA DE MANANTLAN I	19°27'4 8.6"	103°55'0 2.7"	2490. 869	29-nov-12
CIUDAD DE MÉXICO	ECOGUARDAS	19°16'1 5.09"	099°11'5 6.94"	2536	17-dic-07
CIUDAD DE MÉXICO	ENCB II	19°29'5 5.21"	099°08'4 3.63"	2240	19-dic-07
CIUDAD DE MÉXICO	ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS	19°27'1 3"	099°10'1 6"	2262	15-abr-99
CIUDAD DE MÉXICO	TEZONTLE	19°23'0 7"	099°05'5 9"	2358	24-feb-00
DURANGO	AGUSTIN MELGAR	25°15'4 8"	104°03'5 8"	1226	15-dic-02
DURANGO	LA FLOR	26°32'5 9.9"	103°59'5 9"	1164	26-dic-07
DURANGO	LA MICHILIA, DGO	23°23'1 5.9"	104°14'4 9.2"	2464. 492	28-nov-12
DURANGO	LAS VEGAS	24°11'0 9"	105°27'5 8"	2398	13-dic-02
DURANGO	MAPIMI, DGO	26°41'1 1.87"	103°44'5 0.71"	1157	09-nov-12
DURANGO	SAN JUAN DE GUADALUPE	24°38'1 5"	102°46'5 8"	1526	28-dic-07
DURANGO	VILLA OCAMPO	26°26'2 6.4"	105°30'0 8,8"	1657	27-dic-07



GUANAJUATO	PRESA ALLENDE	20°50'54"	100°49'29"	1915	13-mar-00
GUANAJUATO	SIERRA GORDA II	21°19'15.3"	099°49'53.2"	2216.07	07-nov-12
GUERRERO	ATOYAC	17°12'34.5"	100°26'24.4"	120	27-dic-07
GUERRERO	CD. ALTAMIRANO	18°21'02"	100°39'30"	251	14-dic-02
GUERRERO	EL VELADERO	16°53'03.5"	099°54'26.8"	302.91	09-nov-12
GUERRERO	IGUALA	18°21'37"	099°31'27"	780	22-oct-04
GUERRERO	LAS VIGAS	16°45'30.8"	099°14'01.5"	42 m.	29-abr-15
GUERRERO	PETACALCO	17°59'04"	102°07'23"	53	12-dic-02
GUERRERO	TLAPA DE COMONFORT	17°32'58.6"	098°33'47.3"	1060	28-dic-07
GUERRERO	ZIHUATANEJO	17°38'42.2"	101°33'17.6"	5	28-dic-07
HIDALGO	EL CHICO	20°11'08.10"	098°42'58.6"	3004.551	29-oct-12
HIDALGO	HUICHAPAN	20°23'19"	099°39'50"	2080	30-dic-03
HIDALGO	ITESA-APAN	19°43'42.9"	098°27'58.5"	2486	11-may-15
HIDALGO	LOS MARMOLES	20°52'24.60"	099°13'13.44"	2577	02-nov-12
HIDALGO	ZACUALTIPAN	20°39'54.2"	098°40'19.5"	2056	15-dic-07
HIDALGO	ZIMAPAN	20°44'24.8"	099°23'26.9"	1788	14-dic-07
HIDALGO	HUEJUTLA	21°09'17"	098°22'07"	115	26-mar-00
JALISCO	CHAMELA-CUIXMALA	19°29'54.7"	105°02'41.3"	84.169	02-dic-12
JALISCO	CHAPALA	20°17'25"	103°12'06"	1493	10-abr-99
JALISCO	JOCOTEPEC	20°16'59"	103°24'59"	1506	13-ago-99
JALISCO	LA PRIMAVERA	20°40'34.6"	103°38'38.7"	1468.152	04-dic-12
JALISCO	NEVADO DE COLIMA	19°35'31.8"	103°35'26.7"	3461.139	01-dic-12
JALISCO	RÍO TOMATLAN	19°59'55"	105°08'01"	141	30-abr-00
JALISCO	SIERRA DE MANANTLAN II	19°33'15.7"	104°08'53.1"	2882.051	20-dic-12
JALISCO	TIZAPAN	20°10'10"	103°02'38"	1503	14-ago-99
JALISCO	TLAJOMULCO	20°26'32.9"	103°25'09.5"	1566 m	08-may-15
MEXICO	ALTZOMONI	19°07'07.7"	098°39'18.8"	4007.275	31-oct-12

MEXICO	ATLACOMULCO	19°47'5 7.42"	099°52'3 8.46"	2570	01-mar-00
MEXICO	CERRO CATEDRAL	19°32'3 1"	099°31'0 9"	3754	01-abr-99
MEXICO	NEVADO DE TOLUCA	19°07'0 0"	099°46'0 0"	4139	09-mar-00
MEXICO	PARQUE IXTA-POPO	19°05'4 4.4"	098°38'3 5.6"	3682	18-dic-07
MEXICO	PRESA MADÍN	19°31'2 8"	099°16'0 5"	2364	14-abr-15
MEXICO	VALLE DE BRAVO	19°22'3 2.10"	100°05'0 5.3"	2476. 998	06-nov-12
MICHOACÁN	ANGAMACUTIRO	20°07'3 1"	101°43'2 1"	1730	02-may-00
MICHOACÁN	APATZINGAN	19°04'5 8"	102°22'1 8"	282	09-dic-02
MICHOACÁN	MARIPOSA MONARCA I	19°40'1 5.2"	100°16'3 9.9"	3255. 171	31-oct-12
MICHOACÁN	MARIPOSA MONARCA II	19°32'2 0.7"	100°17'2 4.2"	2970. 254	31-oct-12
MICHOACÁN	PRESA ZICUIRAN	18°55'1 8.3"	101°55'5 0.2"	265.3 57	30-nov-12
MICHOACÁN	URUAPAN	19°22'5 1.41"	102°01'4 4.89"	1606	26-dic-03
MORELOS	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA	18°52'5 6"	099°09'2 5"	1355	20-abr-99
MORELOS	LAGUNAS DE ZEMPOALA	19°03'1 2.4"	099°18'4 6.0"	2820. 367	26-oct-12
MORELOS	SIERRA DE HUAUTLA	18°32'2 9.6"	098°56'1 0.9"	1330. 733	09-nov-12
MORELOS	TEPOZTLAN	18°57'0 3"	099°04'4 4"	1384	21-oct-04
MORELOS	TRES MARIAS	19°03'0 2"	099°14'5 5"	2839	28-dic-10
NAYARIT	ACAPONETA	22°27'5 9"	105°23'0 7"	29	21-dic-03
NAYARIT	IXTLAN DEL RIO	21°02'2 0"	104°17'5 3"	1163	24-dic-03
NAYARIT	MARISMAS NACIONALES	22°13'1 5.9"	105°19'5 0.0"	1	08-dic-12
NUEVO LEÓN	CUMBRES DE MTY I	25°33'3 5.35"	100°23'2 3.65"	1455	07-nov-12
NUEVO LEÓN	CUMBRES DE MTY - EL DIENTE	25°34'3 7.5"	100°18'3 0.6"	734.4	25-feb-16
NUEVO LEÓN	PRESA EL CUCHILLO	25°43'5 9"	099°19'1 5"	134	11-abr-00
OAXACA	BENITO JUAREZ	17°09'5 1.4"	096°44'2 4.2"	1950. 872	06-nov-12
OAXACA	LAGUNA CHACAHUA	15°58'0 0.9"	097°41'1 8.8"	6.648	12-nov-12
OAXACA	MATIAS ROMERO	16°52'5 8"	095°02'1 1"	186	15-dic-02
OAXACA	MIAHUATLAN	16°20'3 9"	096°34'4 7"	1588	29-dic-10

OAXACA	NOCHISTLAN	17°26'12"	097°14'57"	2040	15-nov-04
OAXACA	PINOTEPA NACIONAL	16°20'59"	098°03'09"	195	16-dic-02
OAXACA	PUERTO ESCONDIDO	15°53'28.6"	097°04'28.3"	91	05-may-15
PUEBLA	HUAUCHINANGO	20°10'41.25"	098°03'59.44"	2193	21-dic-07
PUEBLA	LA MALINCHE II	19°08'27.6"	098°01'56.1"	2748.902	02-nov-12
PUEBLA	TEHUACAN	18°18'50.8"	097°37'01.6"	1736.455	02-nov-12
PUEBLA	TEZUITLÁN	19°53'16.8"	097°23'26.4"	1578	21-dic-07
PUEBLA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TECAMACHALCO	18°51'59"	097°43'18"	2047	02-jun-99
PUEBLA	IZUCAR DE MATAMOROS	18°37'00"	098°27'07"	1353	18-mar-00
QUERETARO	PRESA JALPAN	21°12'23.7"	099°28'19.7"	773.357	16-ene-13
QUERETARO	SIERRA GORDA I	21°29'56.8"	099°10'09.10"	1111.221	05-nov-12
QUERÉTARO	HUIMILPAN	20°23'25"	100°17'01"	2280	29-feb-00
QUINTANA ROO	ARRECIFES XCALAK	18°16'48.2"	087°50'07.6"	2.92	17-dic-12
QUINTANA ROO	CANCÚN	21°01'46.67"	086°51'07.52"	1	27-abr-00
QUINTANA ROO	COZUMEL	20°28'37"	086°54'25"	5	12-dic-02
QUINTANA ROO	JOSÉ MARIA MORELOS	19°45'08.11"	088°42'13.79"	56	28-dic-07
QUINTANA ROO	KANTUNILKIN	21°06'7.3"	087°29'9.9"	32.4 m	15-may-15
QUINTANA ROO	LA UNION	17°53'49"	088°52'43"	11	22-dic-10
QUINTANA ROO	NICOLÁS BRAVO	18°27'19"	088°55'26"	104	27-dic-07
QUINTANA ROO	SIAN KA'AN II	19°43'23.1	087°48'45.6"	30.1 m	16-may-15
SAN LUIS POTOSI	CIUDAD FERNÁNDEZ	21°56'10.8"	100°01'18.2"	1009	20-dic-07
SAN LUIS POTOSI	CIUDAD VALLES	21°58'47"	099°01'51"	58	17-nov-04
SAN LUIS POTOSI	GOGORRON	21°48'40.1"	100°56'24.8"	1809.58	13-nov-12
SAN LUIS POTOSI	MATEHUALA	23°38'51"	100°39'27"	1627	10-dic-02
SINALOA	EL FUERTE	26°24'41"	108°37'03"	82	27-dic-07
SINALOA	OBISPO	24°15'04"	107°11'17"	4	18-nov-04
SINALOA	SAN JUAN	25°29'08"	107°50'36"	112	26-dic-07

SONORA	ALAMOS	27°01'18"	108°56'16"	409	31-may-99
SONORA	CABORCA	30°46'29,9"	112°26'07.3"	188	26-dic-07
SONORA	EL PINACATE	31°40'48.0"	113°18'17.2"	99.561	10-dic-12
SONORA	HERMOSILLO - BAHIA DE KINO	29°00'48"	111°08'13"	150	29-dic-03
SONORA	NOGALES	31°17'52,8"	110°54'50.2"	1269	27-dic-07
SONORA	SAN LUIS RÍO COLORADO	32°25'26.4"	114°47'52.2"	39 m	25-dic-07
SONORA	SONOYTA	31°51'55.6"	112°50'49.9"	369	28-dic-07
SONORA	YECORA	28°22'00"	108°55'00"	1531	10-dic-02
TABASCO	CAÑÓN USUMACINTA	17°17'23.7"	091°13'44.6"	123	27-nov-12
TABASCO	PANTANOS DE CENTLA	18°24'22.6"	092°38'47.2"	2.325	28-nov-12
TABASCO	PARAISO	18°25'24"	093°09'20"	4	26-dic-03
TAMAULIPAS	BARRA DEL TORDO	23°03'06.99"	097°46'19.99"	5	16-dic-11
TAMAULIPAS	CIUDAD MANTE	22°44'40"	098°58'59"	85	21-dic-03
TAMAULIPAS	JAUMAVE	23°24'27"	099°22'31"	750	28-dic-07
TAMAULIPAS	MATAMOROS	25°53'09"	097°31'07"	4	05-abr-00
TAMAULIPAS	SAN FERNANDO	24°50'34"	098°09'27"	45	08-dic-02
TAMAULIPAS	VILLAGRAN	24°28'14"	099°29'19"	390	28-dic-07
TLAXCALA	HUAMANTLA	19°23'10"	097°57'59"	2222	17-mar-00
TLAXCALA	LA MALINCHE I	19°17'51.0"	098°02'39.8"	2931.664	31-oct-12
VERACRUZ	ACAYUCAN	17°58'36.9"	094°54'03.57"	106	20-dic-07
VERACRUZ	ALVARADO	18°42'54"	095°37'57"	113	29-mar-00
VERACRUZ	CD. ALEMAN	18°11'23"	096°05'53"	40	28-mar-00
VERACRUZ	CITLALTEPEC	21°20'04"	097°52'43"	211	22-feb-06
VERACRUZ	CÓRDOBA	18°53'24.22"	096°55'23.17"	852	21-dic-07
VERACRUZ	COSCOMATEPEC	19°03'57.7"	097°02'27.53"	1495	21-ago-13
VERACRUZ	LA CANGREJERA	18°06'21"	094°19'53"	34	03-abr-00
VERACRUZ	LOMA GRANDE	18°55'31"	097°14'13"	2722	09-oct-13

VERACRUZ	LOS TUXTLAS I	18°35'0 3.1"	095°04'2 5.2"	117.2 45	05-nov-12
VERACRUZ	LOS TUXTLAS II	18°22'3 0.1"	094°55'5 1.99"	915.1 44	06-nov-12
VERACRUZ	PEROTE	19°32'4 2.6"	097°16'0 6.2"	2410	13-jul-12
VERACRUZ	PRESA TUXPANGO	18°50'4 4.4"	097°02'2 2.0"	965.2 94	05-nov-12
YUCATÁN	CELESTÚN	20°51'2 9"	090°22'5 9"	10	13-abr-00
YUCATÁN	DZILAM	21°23'2 6"	088°54'1 5"	2	28-dic-07
YUCATÁN	OXKUTZCAB	20°17'2 8"	089°23'4 0.9"	28	28-dic-07
YUCATÁN	RÍO LAGARTOS	21°34'1 6"	088°09'3 7"	5	19-abr-00
YUCATÁN	TANTAQUIN	20°01'4 9"	089°02'5 0"	30	14-dic-02
YUCATÁN	TIZIMIN	21°09'4 1.88"	087°59'2 0.28	19	19-dic-11
ZACATECAS	LA FLORIDA	22°41'1 0"	103°36'0 9"	1870	25-dic-07
ZACATECAS	ZACATECAS	22°44'4 8"	102°30'2 2"	2270	18-abr-00