



## CASO DE ÉXITO: ALERTA DE INSPECCION POR RIESGO GEOTECNICO DEBIDO A PRECIPITACIONES EN DERECHOS DE VIA EN LA SELVA PERUANA

Autores: Claudio Fernando Cruz, Gustavo Salerno, Cristian José Campos, José Darío Barrientos, Guillermo Federico Murillo, Pablo Rodríguez y Luis Alberto Sánchez

Noviembre 2023



## ESTUDIO DE CASO: MANTENIMIENTO DE DDV DE DUCTOS EN OPERACION



CUZCO - PERÚ



## ESTRATEGIA DE LOS SERVICIOS DE MANTENIMIENTO EN LOS DDV

Se basa en lograr que los **derechos de vía** y las obras de control de erosión existentes, presenten una condición operativa, previo al inicio del periodo más lluvioso del año, mediante tareas de mantenimiento preventivas, predictivas, proactivas, por condición y correctivas:

En **Época Seca**; mantenimiento regular de las estructuras de control de erosión y mantenimientos mayores.

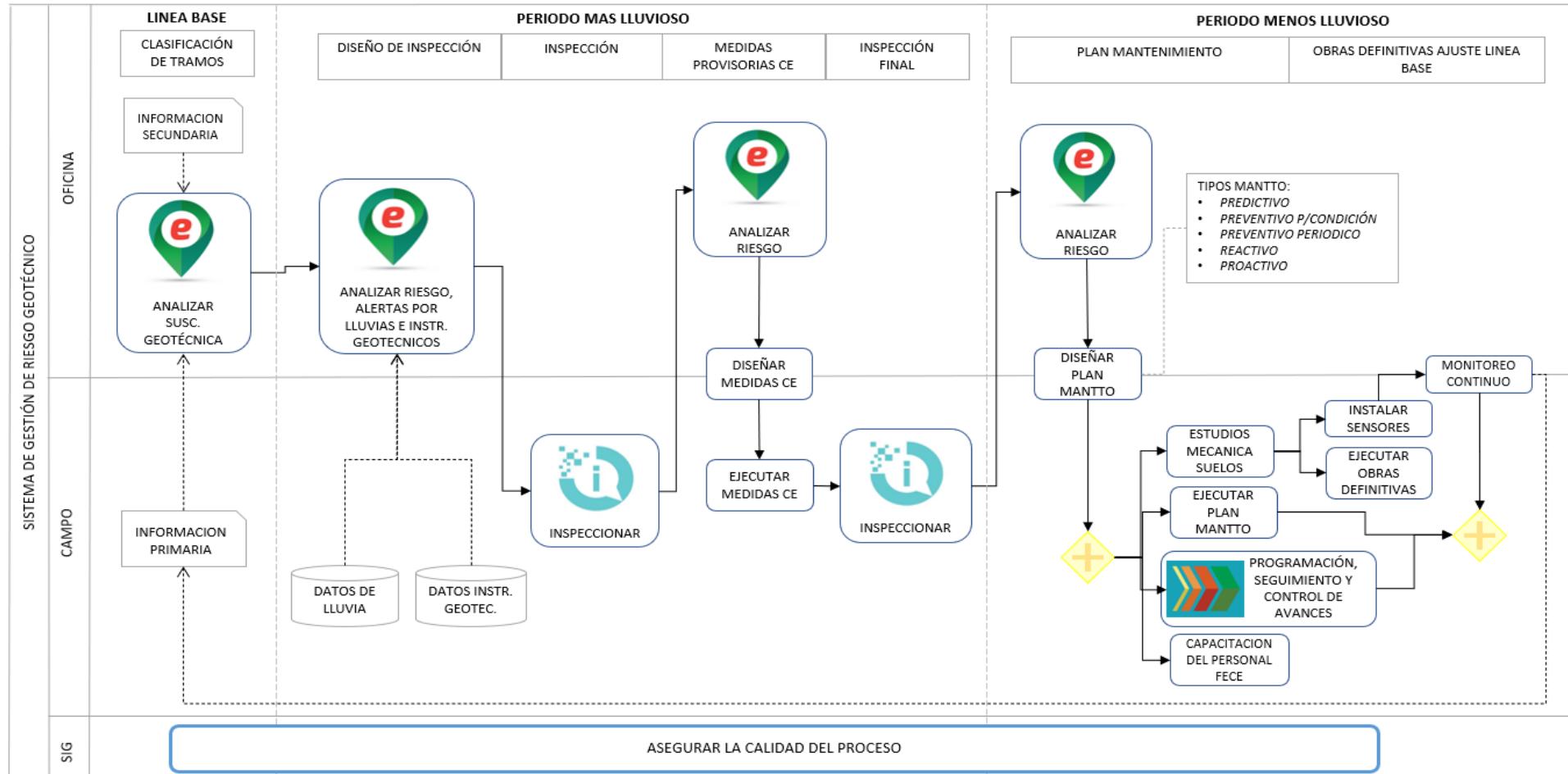
En **Época de lluvia**; inspecciones y trabajos de control de erosión provisionales.





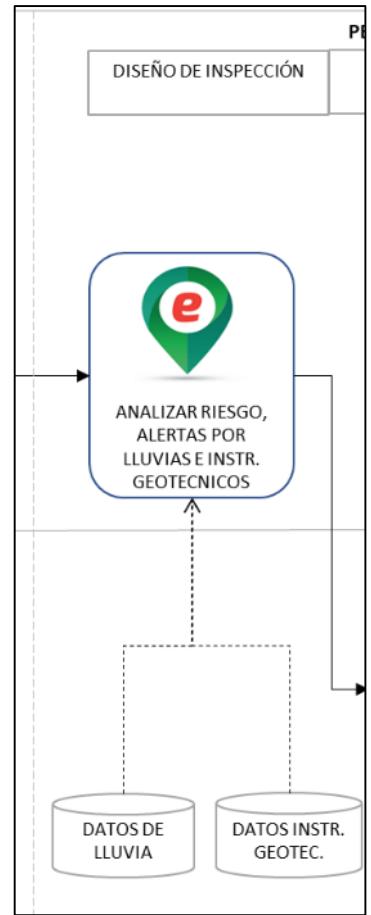
## ALERTAS DE INSPECCIÓN EN DDV ENMARCADAS EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO

Para mejorar la gestión en los servicios de mantenimiento de los DDV y la integridad de los ductos, se desarrolló un SGRG en el cual se implementó un sistema de *alerta temprana de inspección* en base a umbrales de lluvia.





## SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO



PERIODO MAS LLUVIOSO

LLUVIA

ALERTA

INSPECCION



EMISION DE ALERTA  
DE INSPECCION

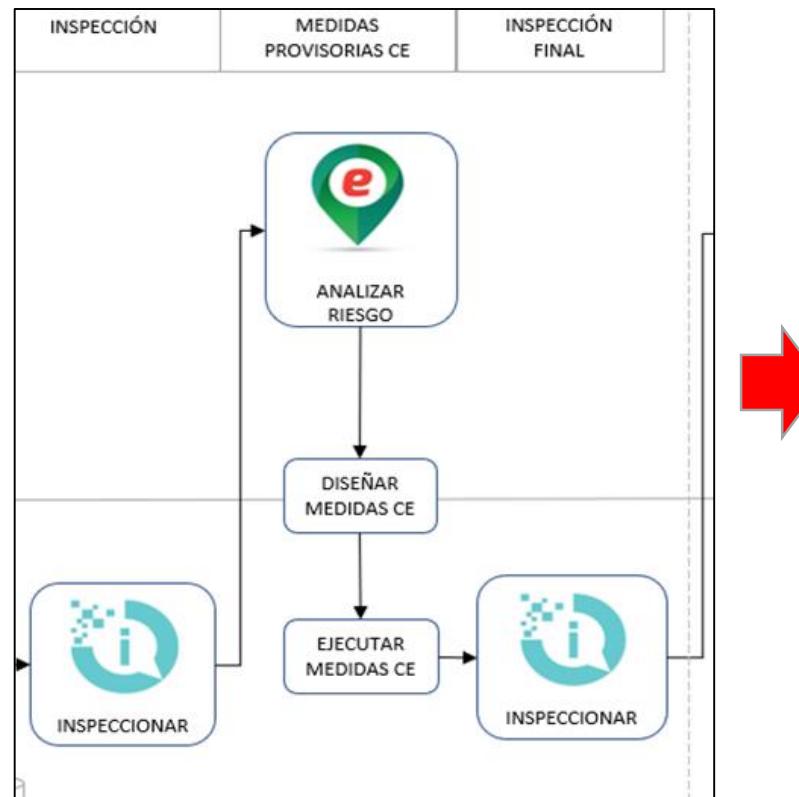
<https://estrata3.cloud.inmac.work/#/pluviometros>



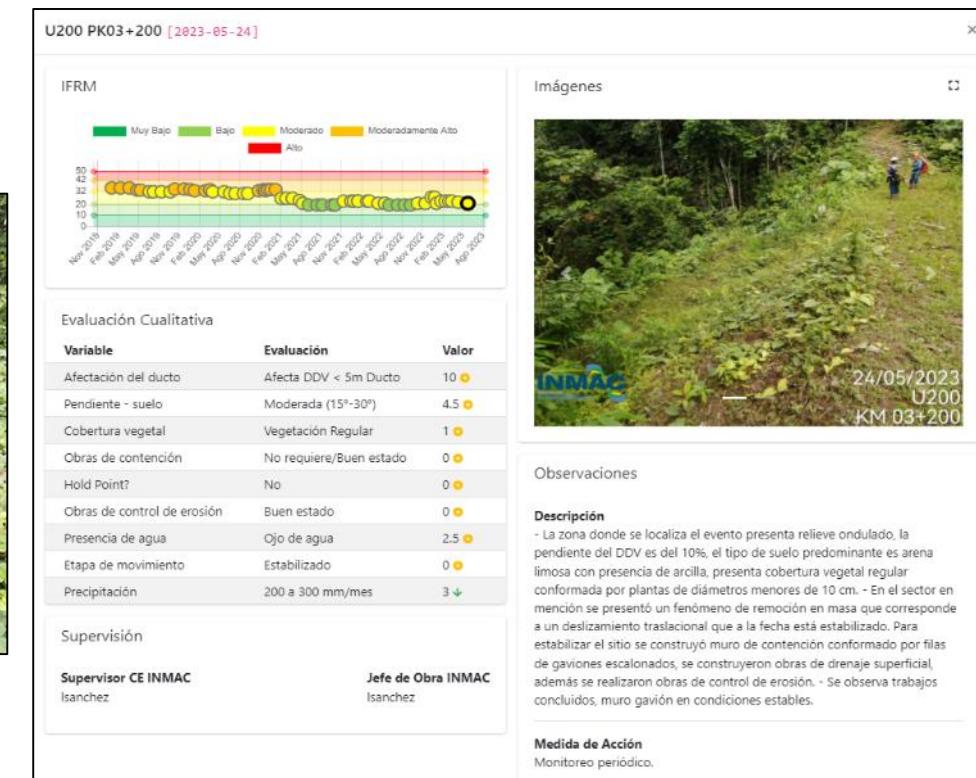


## SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO

### PERIODO MAS LLUVIOSO: INSPECCIÓN



<https://inspecta2.cloud.inmac.work>



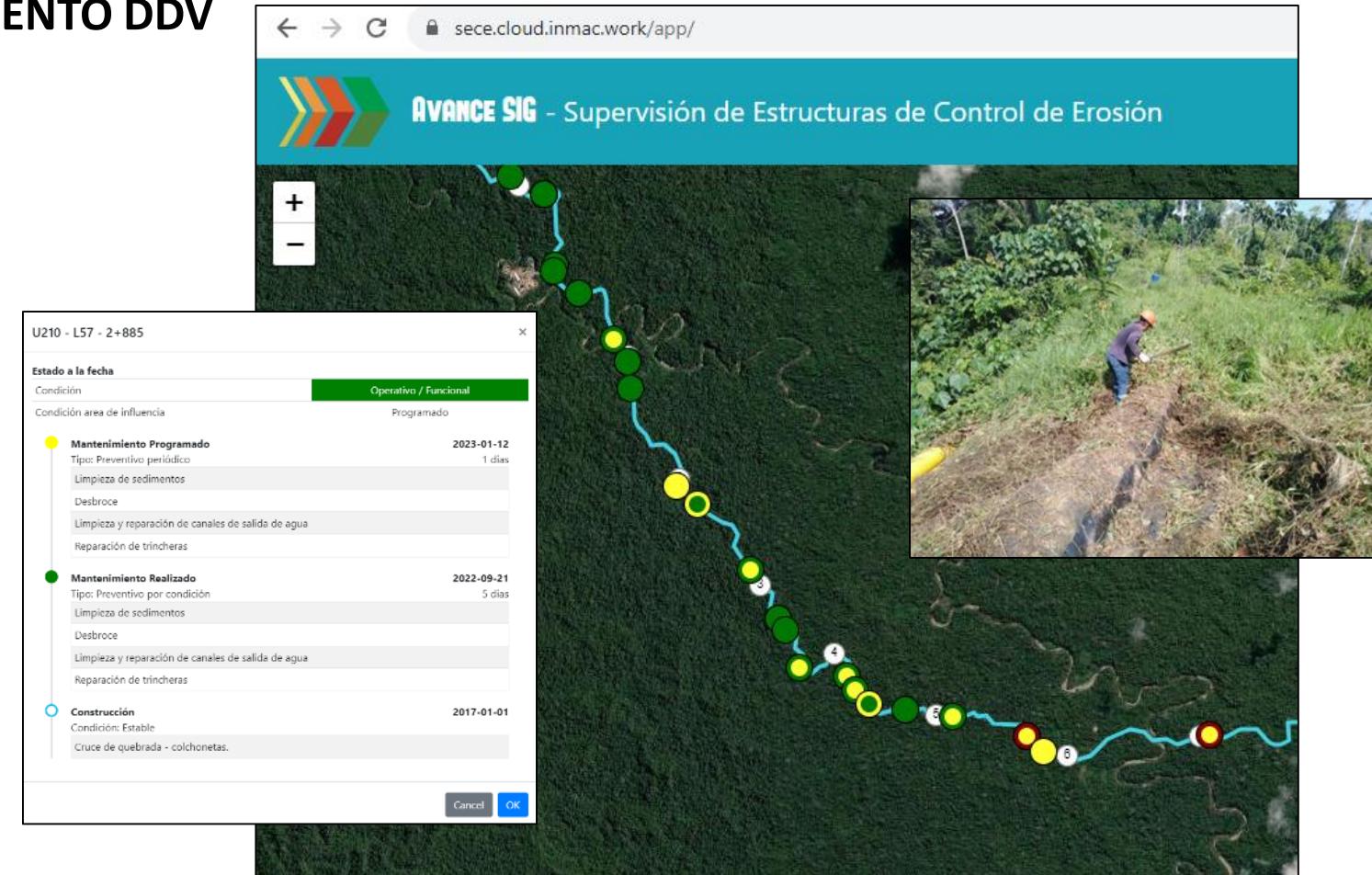
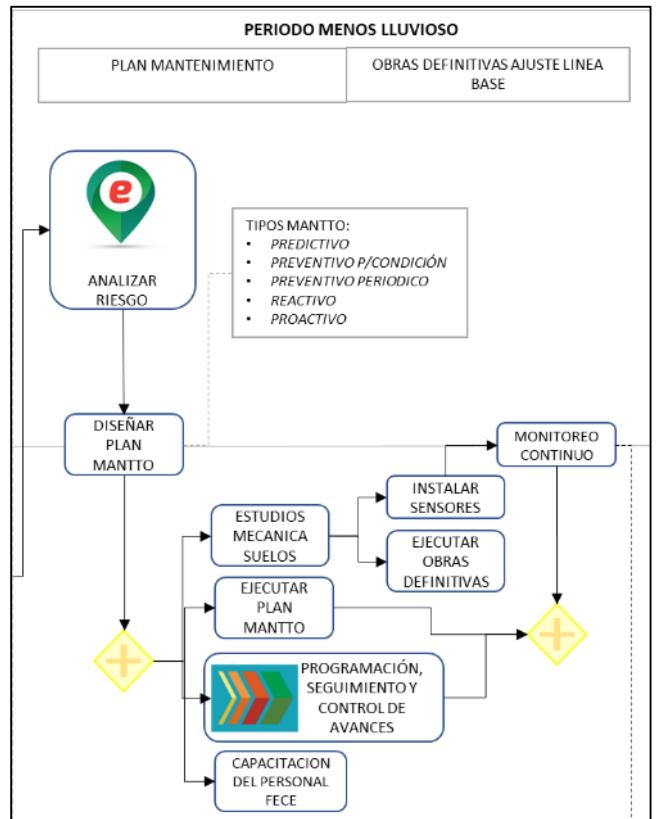
FICHA DE SEGUIMIENTO DE UN SECTOR CON DESLIZAMIENTO ESTABILIZADO. FUENTE: INSPECTA 2.0



# SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO

<https://sece.cloud.inmac.work>

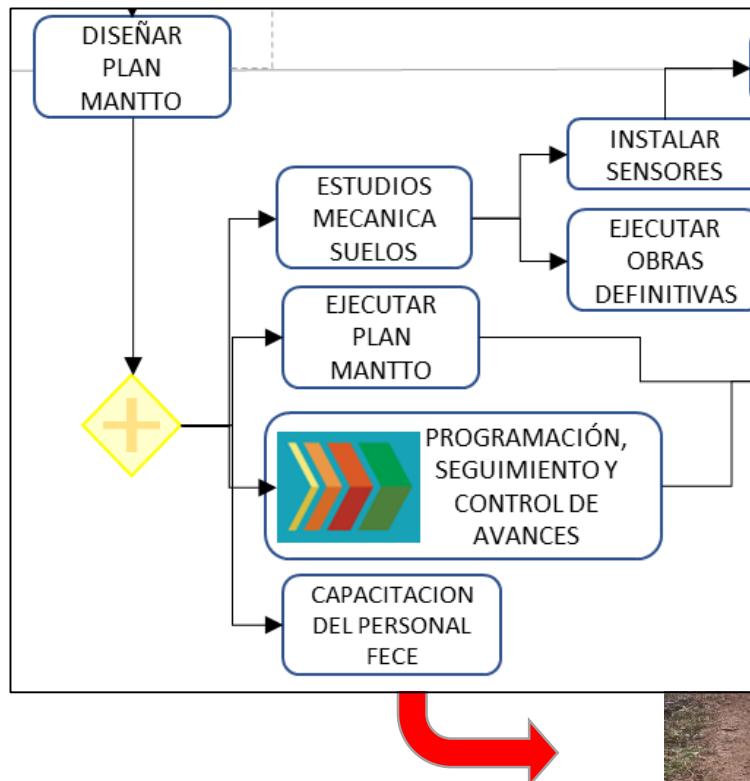
## PERIODO MENOS LLUVIOSO: MANTENIMIENTO DDV





## SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO

### PERIODO MENOS LLUVIOSO: CAPACITACION DEL PERSONAL



PORTAL PARA CAPACITACIÓN DEL PERSONAL EN CONTROL DE EROSIÓN  
“FORMANDO ESPECIALISTAS EN CONTROL DE EROSION”

The screenshot shows the 'Nivel 1 - Módulo Control de Erosión' (Level 1 - Erosion Control Module) portal. The left sidebar includes 'Admin', 'Comenzar' (Start), 'Tareas' (Tasks), 'Libro de calificaciones' (Gradebook), 'Dominio' (Domain), 'Recursos' (Resources), 'Estudiantes' (Students), and 'Profesores' (Professors). The main content area is titled 'Nivel 1 - Módulo Control de Erosión' and shows 'Lecciones' (Lessons). It includes three lessons: '1. Conceptos básicos' (Basic Concepts), '2. Materiales control de erosión' (Erosion Control Materials), and '3. Evaluación' (Evaluation). Each lesson has a description and a progress bar indicating the number of sections completed.



## MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

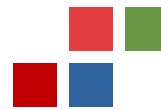
### REGISTRO DE PRECIPITACIONES



- Envío automático de datos.
- Registro constante de precipitaciones en red de pluviómetros ubicados en áreas remotas.



PLUVIOMETRO UBICADO EN CAMPAMENTO REMOTO



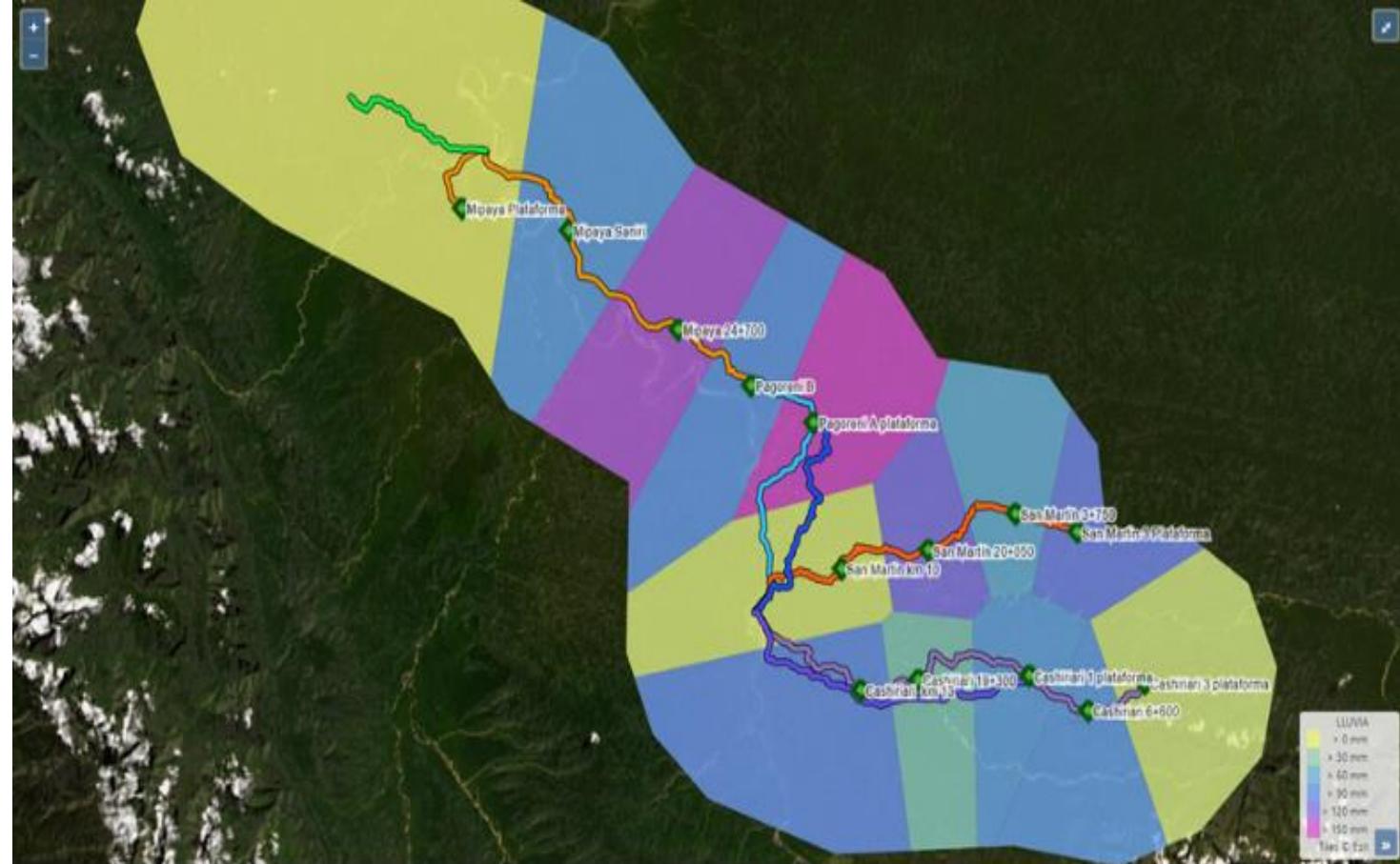
## MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

### SEGMENTACION DE TRAMOS DE DDV

MÉTODO POLÍGONOS DE THIESSEN:  
DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA  
DE CADA PLUVIOMETRO



### SEGMENTOS DE TRAMOS DDV



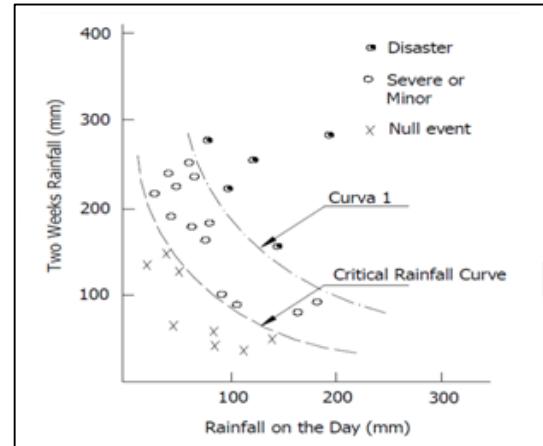
AREAS DE IMPACTO DE LA LLUVIA REGISTRADA EN CADA PLUVIOMETRO DE LA RED Y SEGMENTOS  
GENERADOS EN LOS DdV. FUENTE: ESTRATA 3.0



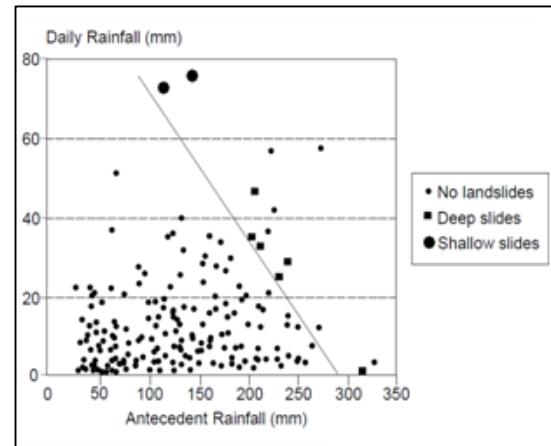
## ANTECEDENTES DEL USO DEL MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

# MODELO LLUVIA / DESLIZAMIENTO

- Umbral crítico de lluvia es el mínimo o máximo nivel crítico de una cantidad necesaria de lluvia, a partir de la cual un proceso ocurre.
  - Procesos de remoción en masa generados por lluvia, debido al incremento en la presión de poros en el talud.

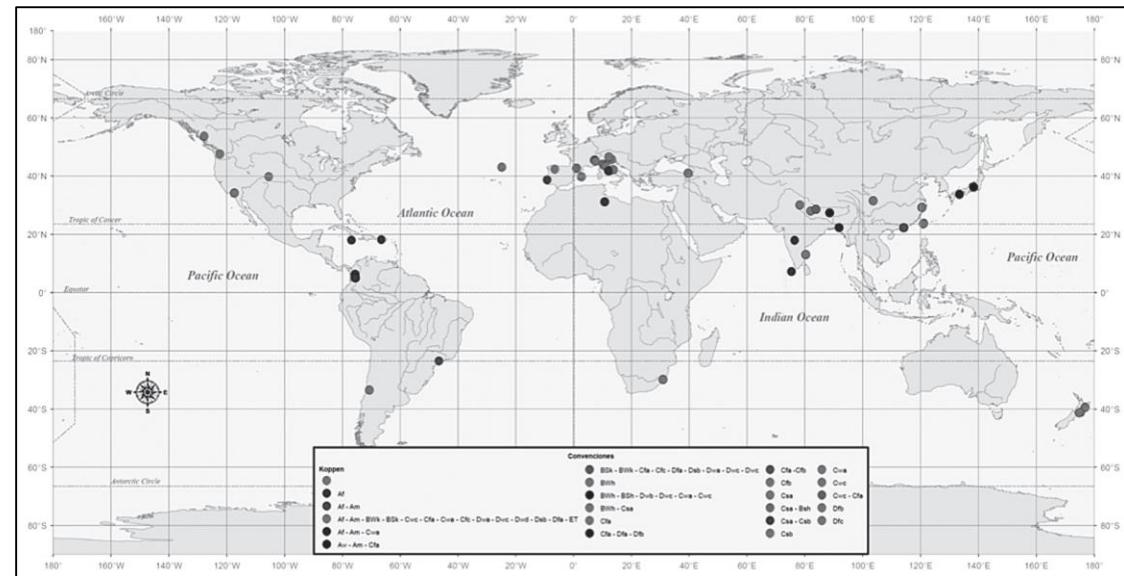


### Curva de lluvia crítica (Aboschi, 1979)

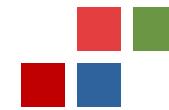


Lluvia antecedente 25 días y lluvia diaria asociada a deslizamientos (Terlien, 1997)

En el mundo se han propuesto múltiples relaciones lluvia-deslizamientos para sistemas de alerta temprana.



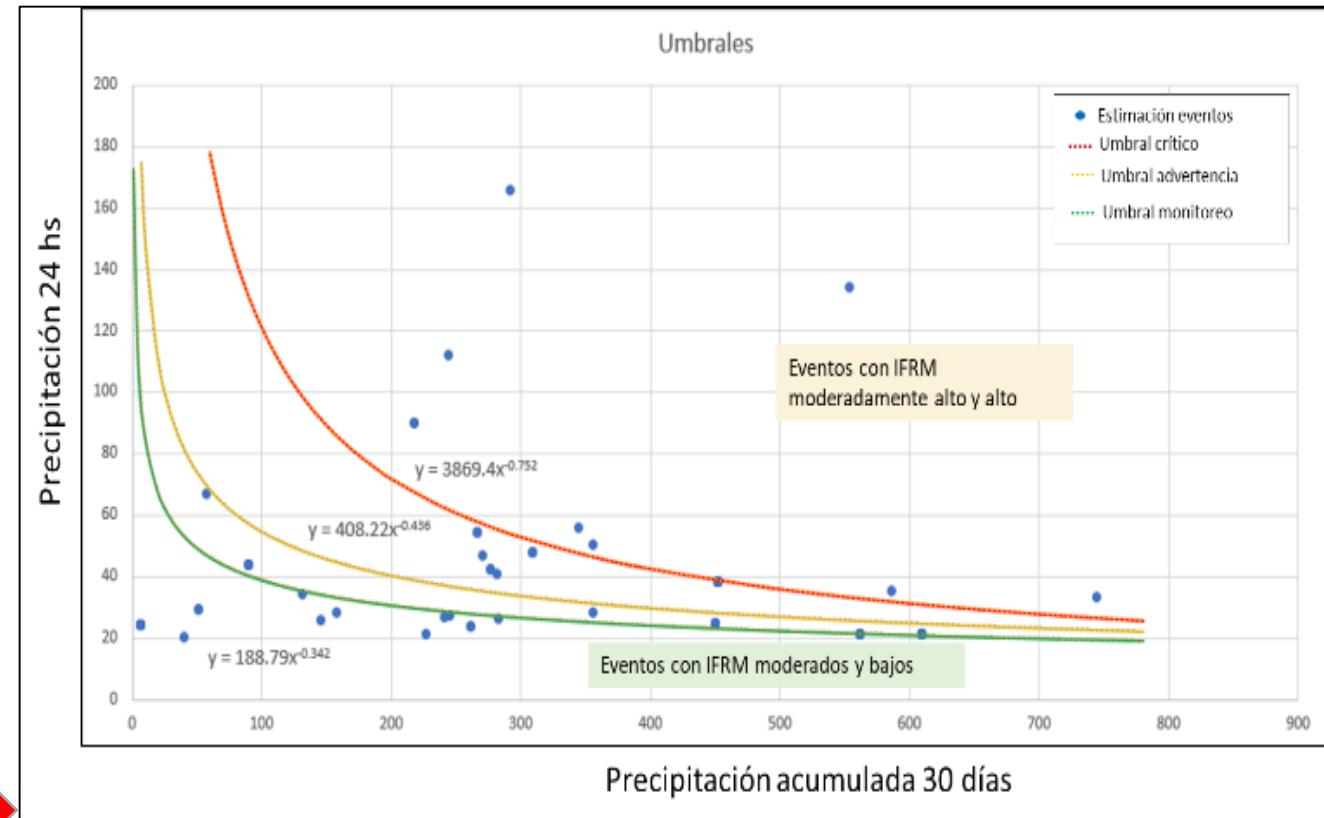
## Ubicación y clasificación de los umbrales de lluvia recopilados de la literatura en función de la escala climática de Köppen.



## MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

### ELABORACION DE MODELO

- IDENTIFICACION Y CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCION EN MASA (AÑOS 2018-2019-2020)
- DATOS DE PRECIPITACION DE EVENTO DETONANTE (24 HS)
- DATOS DE PRECIPITACIONES ACUMULADAS (30 DÍAS PREVIOS AL EVENTO)
- CONSTRUCCION DE CURVAS DE UMBRALES DE LLUVIA



FUNCIONES DE LOS 3 UMBRALES DE LLUVIA DEFINIDOS SEGÚN EL NIVEL DE IFRM



## MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

### RESULTADOS DE ALERTAS DE INSPECCIÓN

- GENERACION AUTOMATICA DE 485 ALERTAS DE INSPECCIÓN
- IDENTIFICACION DE 110 ALERTAS DE NIVEL CRITICO
- IDENTIFICACION DE 82 HALLAZGOS

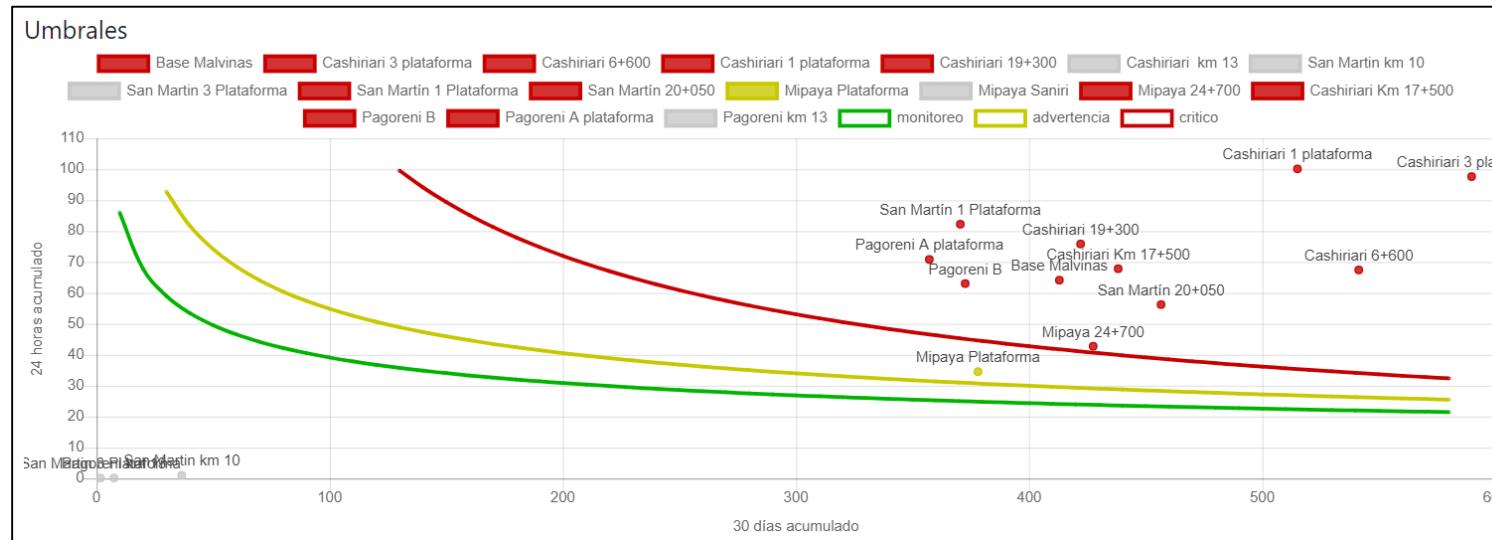


GRAFICO CON IDENTIFICACION DE PLUVIOMETROS DE ACUERDO AL UMBRAL DE LLUVIA (17/02/2022). FUENTE: ESTRATA

[PRUEBA] Alerta de lluvia estrata Inbox x

Thu, Feb 17, 2022, 9:00 PM ★

inmac.idi@gmail.com  
to.joantez.grupoimac, claudio.cruz, jose.berrientos, guillermo.murillo, ardrigo, emerquiza, jbermeo, prodriguez, lanchez, rtorres, lcolque, lrodriguez, lchoque, qcamps, nancy.garcia, nchura.inmac, ppicar

Este es un mensaje de alerta automático. Puede ver el estado actual en: [Estrata](#)

Pluviómetro	Tramos en alerta	Alerta	Ulluvia 24h (mm)	Ulluvia acumulada 30 días (mm)
Base Malvinas	CASHIRARI 0+000-9+000	Critico	66.20	410.38
Base Malvinas	SAN MARTIN MLV-SMI 0+000-9+500	Critico	66.20	410.38
Base Malvinas	PAGORENI 0+000-5+000	Critico	66.20	410.38
Base Malvinas	U600 0+000-7+400	Critico	66.20	410.38
Cashirari 3 plataforma	CASHIRARI 3+800-45+000	Mayor e.80	97.70	589.50
Cashirari 1 plataforma	CASHIRARI 26+500-38+800	Mayor e.80	102.20	512.80
Cashirari 19+300	CASHIRARI 18+500-26+600	Critico	78.00	419.40
San Martin 1 Plataforma	SAN MARTIN MLV-SMI 23+200-29+000	Mayor e.80	84.00	368.30
San Martin 1 Plataforma	SAN MARTIN I SAN MARTIN III 0+000-4+600	Mayor e.80	84.00	368.30
San Martin 20+050	SAN MARTIN MLV-SMI 9+500-23+200	Critico	57.30	455.30
Mipaya Plataforma	MIPAYA 0+000-4+000	Critico	53.10	359.40
Mipaya Plataforma	MIPAYA (TRAMO PLATAFORMA-NVO MUNDO) 0+000-7+000	Critico	53.10	359.40
Mipaya Plataforma	U200 0+000-14+000	Critico	55.10	359.40
Cashirari Km 17+500	CASHIRARI 9+000-18+500	Critico	70.10	425.40
Pagoreni B	PAGORENI 21+000-24+000	Critico	63.40	371.30
Pagoreni B	MIPAYA 21+700-38+500	Critico	63.40	371.30
Pagoreni A plataforma	PAGORENI 15+000-21+000	Critico	72.00	355.70
Pagoreni A plataforma	MIPAYA 36+500-40+000	Critico	72.00	355.70
Pagoreni A plataforma	U600 17+500-22+200	Critico	72.00	356.70

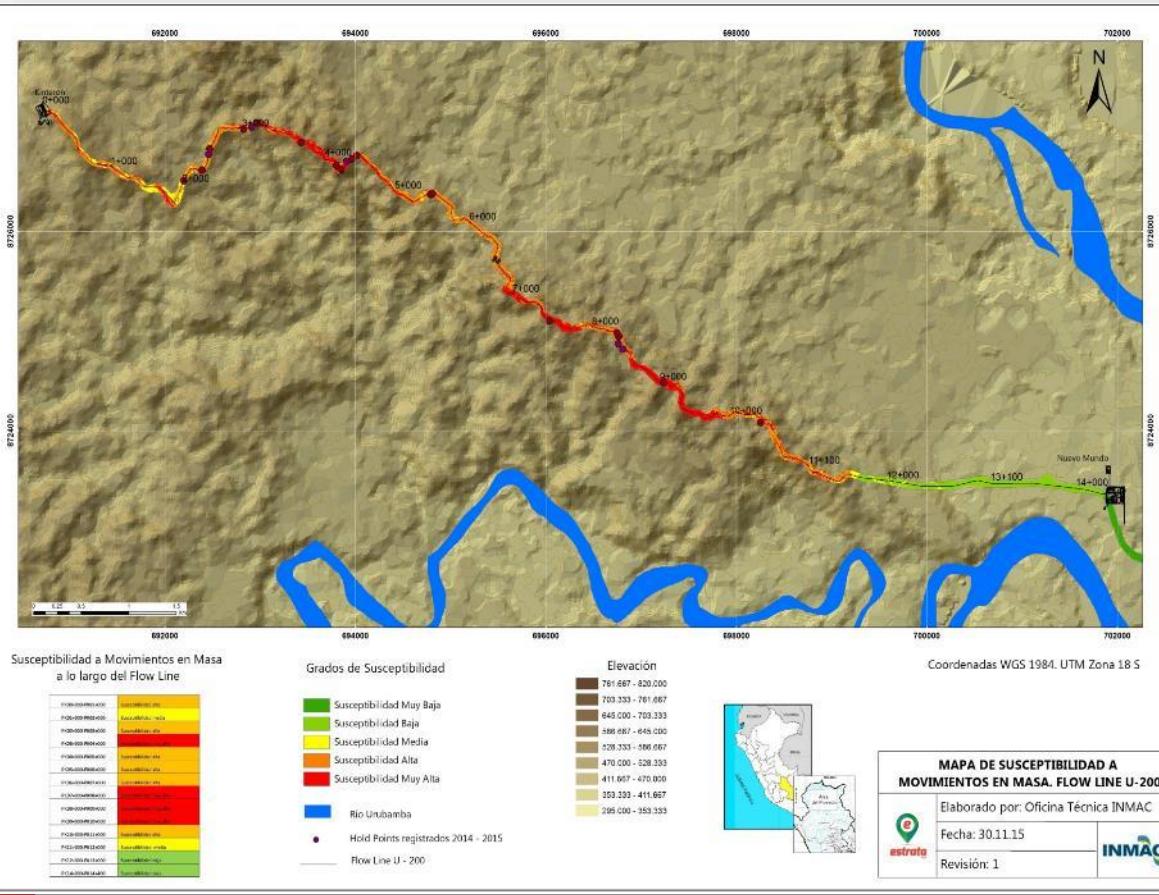
Activar Windows  
Ver la Configuración para

EMISION DE ALERTAS DE INSPECCIÓN DE NIVEL CRÍTICO EN TRAMOS DE DDV

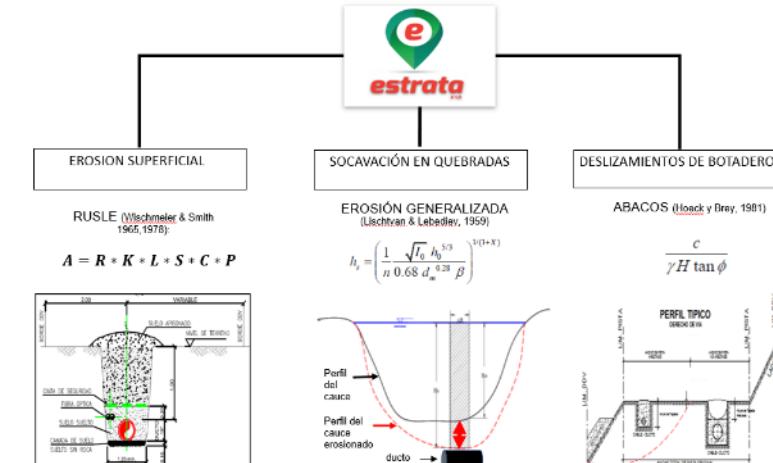
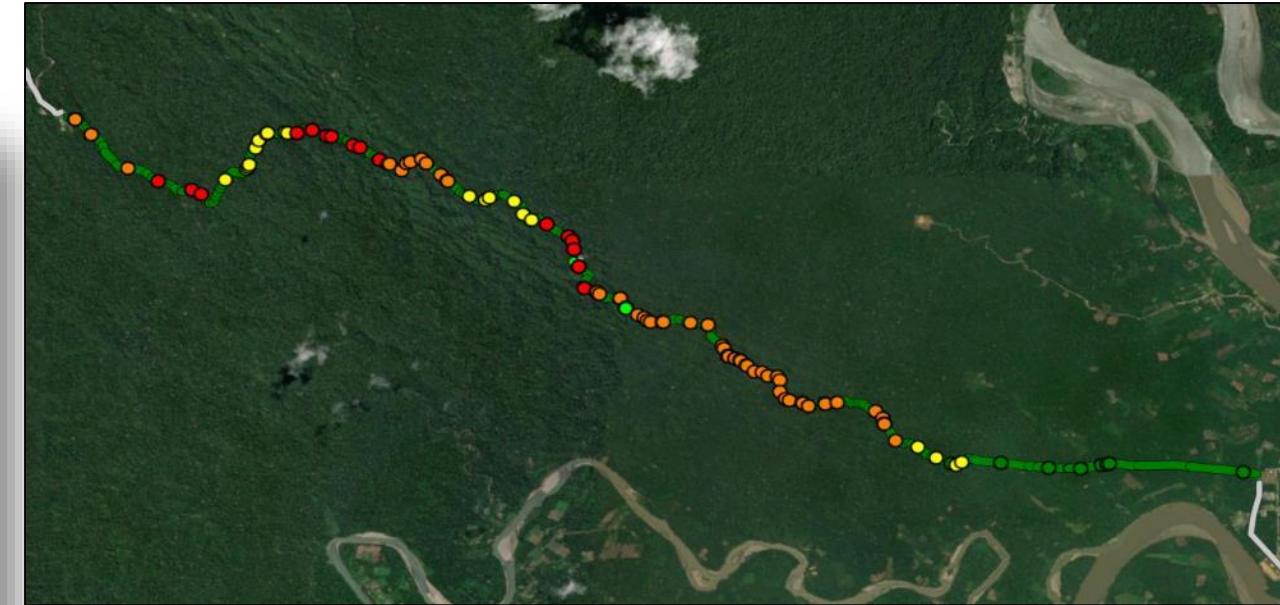


## MODELO DE UMBRALES DE LLUVIA

### HOJA DE RUTA DE INSPECCIONES DE CAMPO EN BASE A LAS ALERTAS EMITIDAS Y AL MAPA DE RIESGOS



6<sup>a</sup> CONFERENCIA INTERNACIONAL GEOTECNIA DE DUCTOS





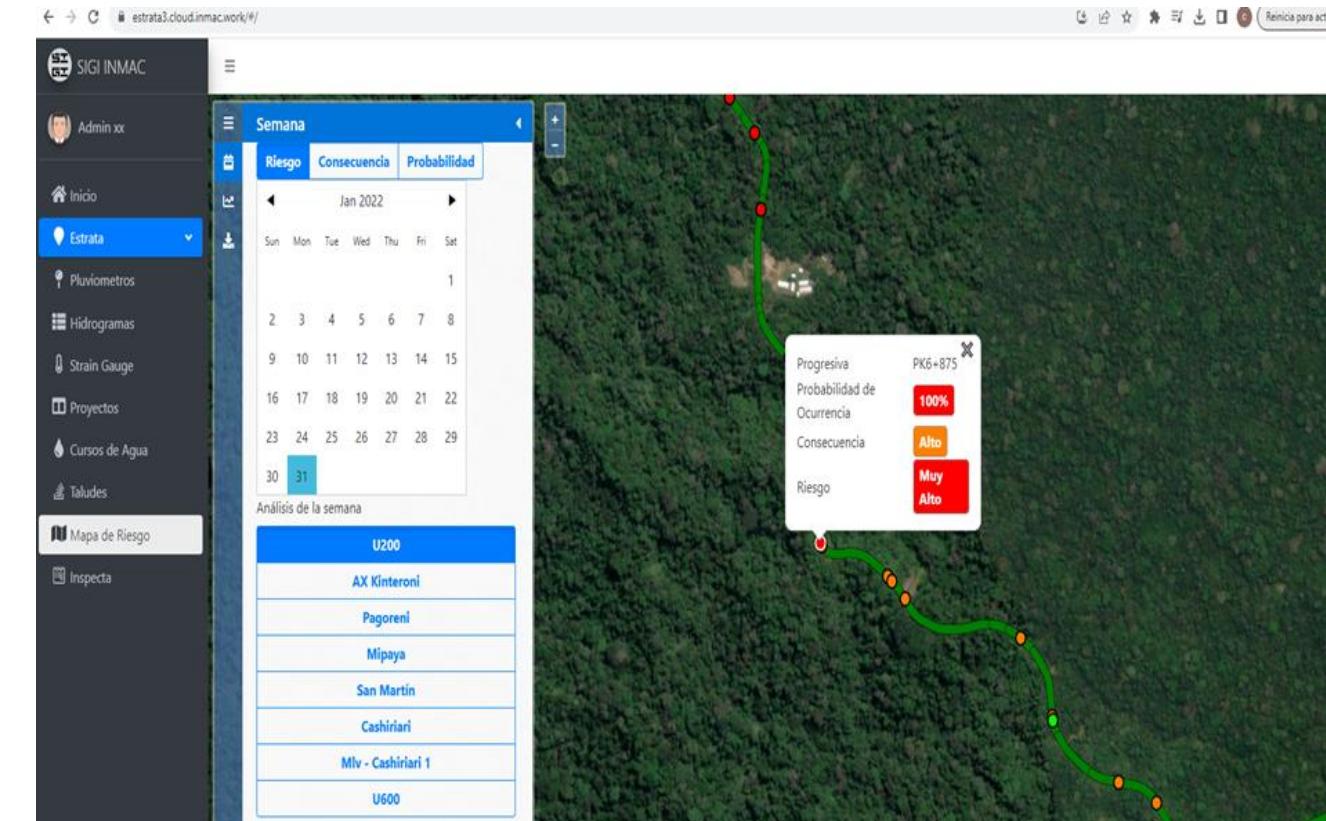
## EJEMPLO DE IMPLEMENTACION DE ALERTA

[PRUEBA] Alerta de lluvia estrata

inmac.idi@gmail.com Sun, Jan 31, 2021, 2:00 AM

Este es un mensaje de **alerta** automático. Puede ver el estado actual en: [Estrata](#)

Pluviometro	Tramos en <b>Alerta</b>	<b>Alerta</b>	Lluvia 24h (mm)	Lluvia acumulada 30 días (mm)
Base Malvinas	U600 0+000-7+400	Advertencia	36.20	395.00
Base Malvinas	PAGORENI 0+000-5+000	Advertencia	36.20	395.00
Base Malvinas	SAN MARTIN MLV-SMI 0+000-9+500	Advertencia	36.20	395.00
Base Malvinas	CASHIRIARI 0+000-9+000	Advertencia	36.20	395.00
Cashirari 1 plataforma	CASHIRIARI 26+500-38+800	Advertencia	34.00	532.90
San Martín 1 Plataforma	SAN MARTIN I SAN MARTIN III 0+000-4+500	Advertencia	32.80	431.50
San Martín 1 Plataforma	SAN MARTIN MLV-SMI 23+200-26+000	Advertencia	32.80	431.50
Mipaya Plataforma	U200 0+000-14+000	Critico	50.00	467.30
Mipaya Plataforma	MIPAYA (TRAMO PLATAFORMA-NVO MUNDO) 0+000-7+000	Critico	50.00	467.30
Mipaya Plataforma	MIPAYA 0+000-4+000	Critico	50.00	467.30
Cashirari Km 17+500	CASHIRIARI 9+000-18+500	Critico	39.20	561.00
Pagoreni A plataforma	U600 17+500-22+200	Critico	43.50	419.40
Pagoreni A plataforma	MIPAYA 36+500-40+000	Critico	43.50	419.40
Pagoreni A plataforma	PAGORENI 15+000-21+000	Critico	43.50	419.40
Pagoreni km 13	U600 7+400-17+500	Critico	50.20	520.18
Pagoreni km 13	PAGORENI 5+000-15+000	Critico	50.20	520.18

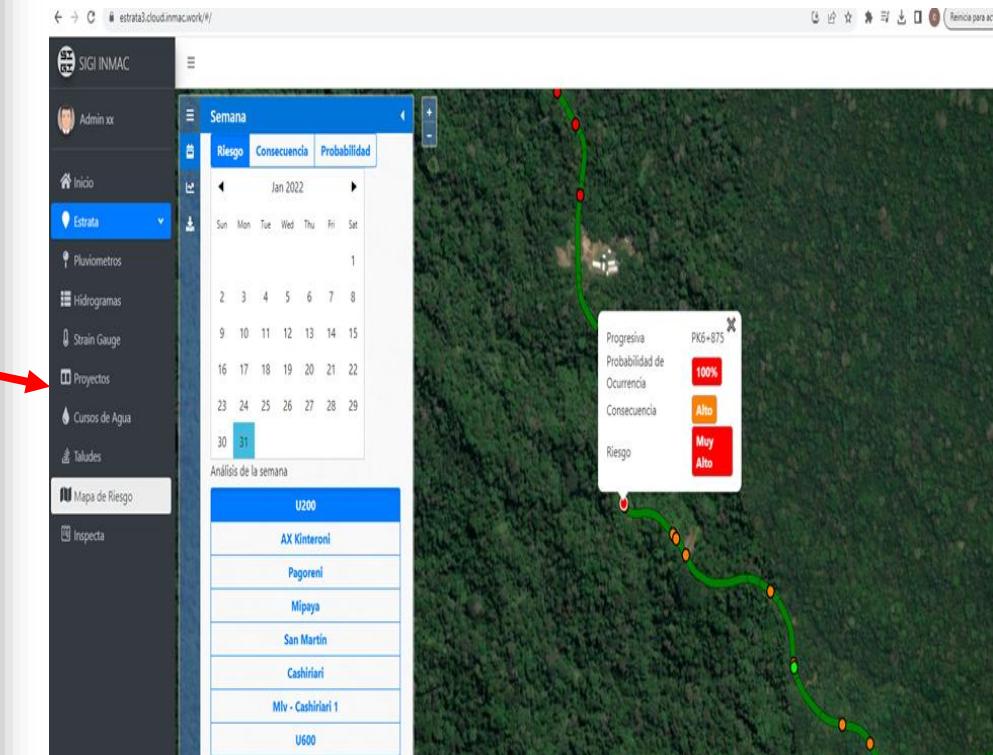
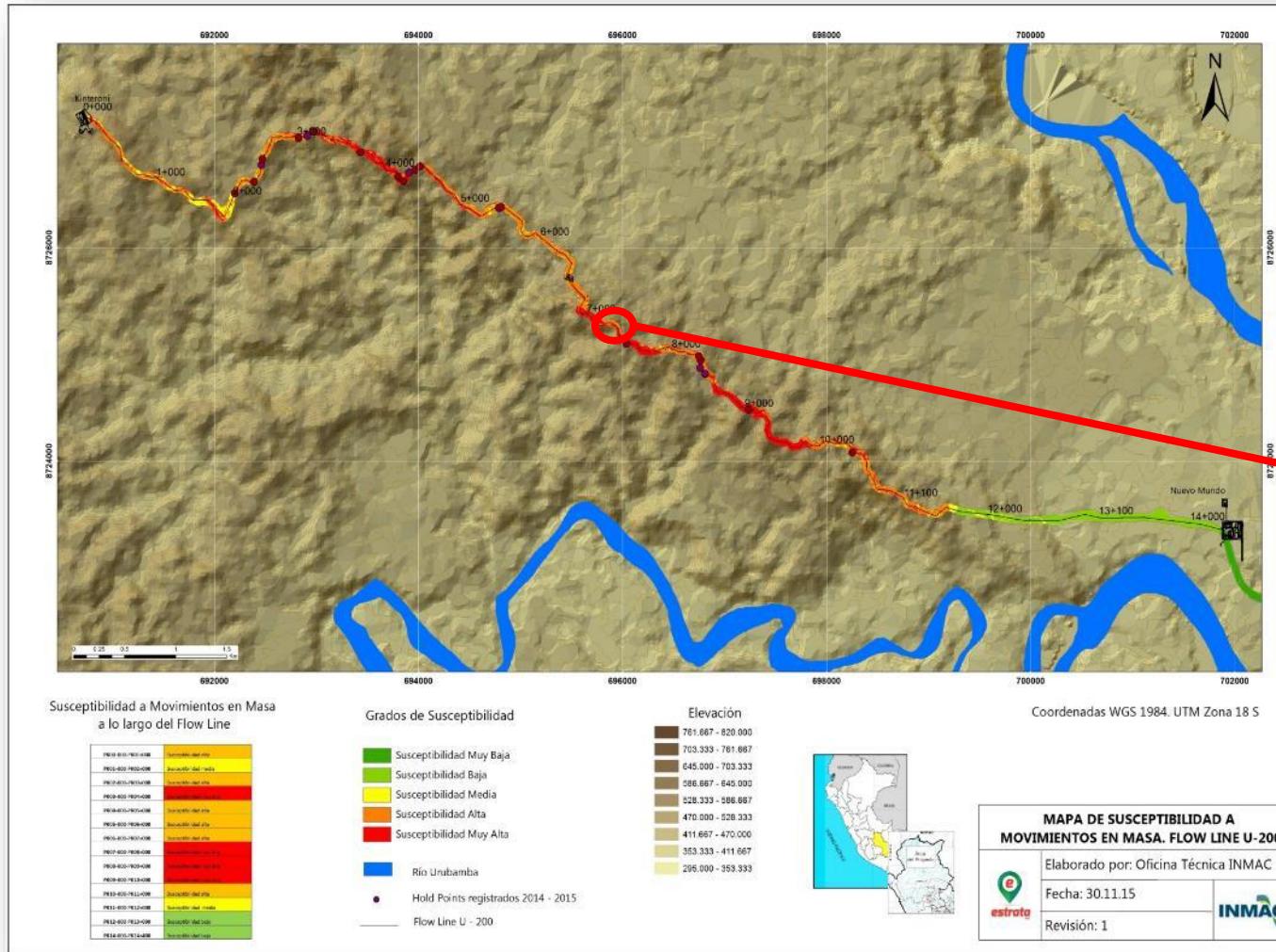


Emisión automática de Alerta Temprana para inspección vía correo electrónico.

Definición de hoja de ruta para la inspección directa mediante la priorización de alertas en el mapa de riesgos.



## EJEMPLO DE IMPLEMENTACION DE ALERTA



## EJEMPLO DE IMPLEMENTACION DE ALERTA

SIGI INMAC

Admin xx

Inicio

Estrata

Pluviómetros

Hidrogramas

Strain Gauge

Proyectos

Cursos de Agua

Taludes

Mapa de Riesgo

Inspecta

Analisis de la semana

U200

- AX Kinteroni
- Pagorení
- Mipaya
- San Martín
- Cashiríari
- Mlv - Cashiríari 1
- U600

Semana

Riesgo Consecuencia Probabilidad

Jan 2022

Sun Mon Tue Wed Thu Fri Sat

1

2 3 4 5 6 7 8

9 10 11 12 13 14 15

16 17 18 19 20 21 22

23 24 25 26 27 28 29

30 31

PK6+875

Progresiva  
Probabilidad de  
Ocurrencia  
Consecuencia  
Riesgo

100%  
Alto  
Muy  
Alto

**U200 PK6+875 [2021-02-05]**

**IFRM**

Muy Bajo Bajo Moderado Moderadamente Alto Alto

**Evaluación Cualitativa**

Variable	Evaluación	Valor
Afectación del ducto	Afecta DDV < 5m Ducto	12.5
Pendiente - suelo	Moderada (15°-30°)	4.5
Cobertura vegetal	Vegetación Nula	2.5
Obras de contención	Mal estado	3
Hold Point?	Si	2.5
Obras de control de erosión	Mal estado	3
Presencia de agua	Escorrentía	2
Etapa de movimiento	Suspendido	1.5
Precipitación	>= 400 mm/mes	5

**Observaciones**

**Descripción**

- En el sector evaluado predomina el relieve ondulado con vegetación nula, se ubica en una zona cóncava del DdV, el tipo de suelo predominante es arena. - Se presentó un fenómeno de remoción en masa que corresponde a un deslizamiento traslacional que a la fecha está suspendido. - No se observan grietas ni fisuras.

**Medida de Acción**

- Monitoreo periódico. - Recubrimiento del área afectada con geomembrana. - Realizar estudios geotécnicos e ingeniería de detalle.

**Supervisión**

**Observaciones de Oficina Técnica**

Realizar monitoreo permanente de la estabilidad del sitio, Por el área de afectación se requiere un estudio de suelos para conocer las características físicas y mecánicas del suelo y definir la obra de contención.

**Supervisor CE INMAC**  
Irodíquez

**Mayor detalle** **Modificar Inspección**

Identificación de hallazgo mediante inspección directa en campo por especialistas.



## CONCLUSIONES

### Monitoreo

- ⑩ Al ser uno de los factores detonantes de procesos erosivos, resulta determinante el **monitoreo permanente y de forma automatizada** de las precipitaciones en los derechos de vía.

### Análisis

- ⑩ La aplicación del modelo de umbrales de lluvia permite contar con una **herramienta de emisión de alertas tempranas de inspección** que se complementa al análisis de **riesgo geotécnico del DdV**.

### Inspección

- ⑩ Las alertas tempranas de inspección generadas **mejoran la eficiencia del servicio de mantenimiento**, por la **priorización de la inspección y el uso de recursos**.

### Integración

- ⑩ La **integración de las herramientas tecnológicas** con el equipo de campo y de oficina técnica del servicio de mantenimiento de DdV, generan una continua interacción que **retroalimenta el sistema de gestión de riesgos geotécnicos**.



# MUCHAS GRACIAS

