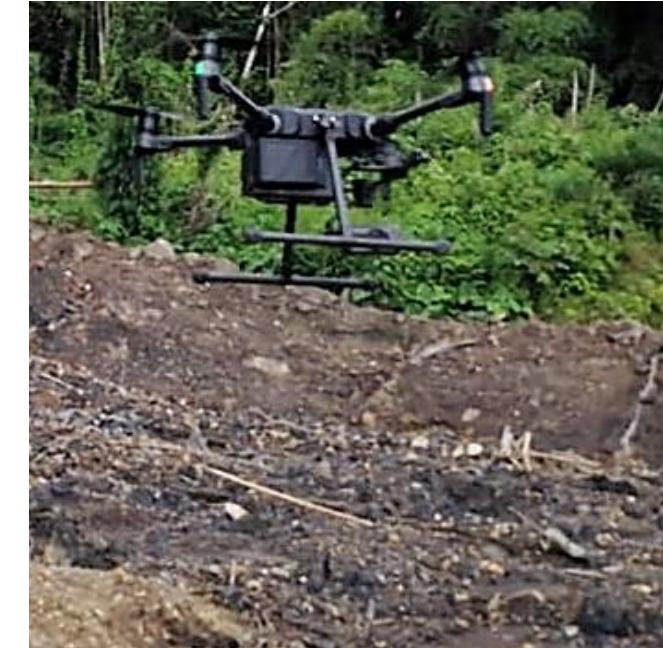




## METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS Y USO DE TECNOLOGÍA INMERSIVA EN TIEMPO REAL EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL Y/O LÍQUIDOS DE GAS NATURAL DESDE LA PERSPECTIVA DEL FISCALIZADOR



Primer Autor  
Edilberto Gutierrez Ortiz  
Lima, Perú

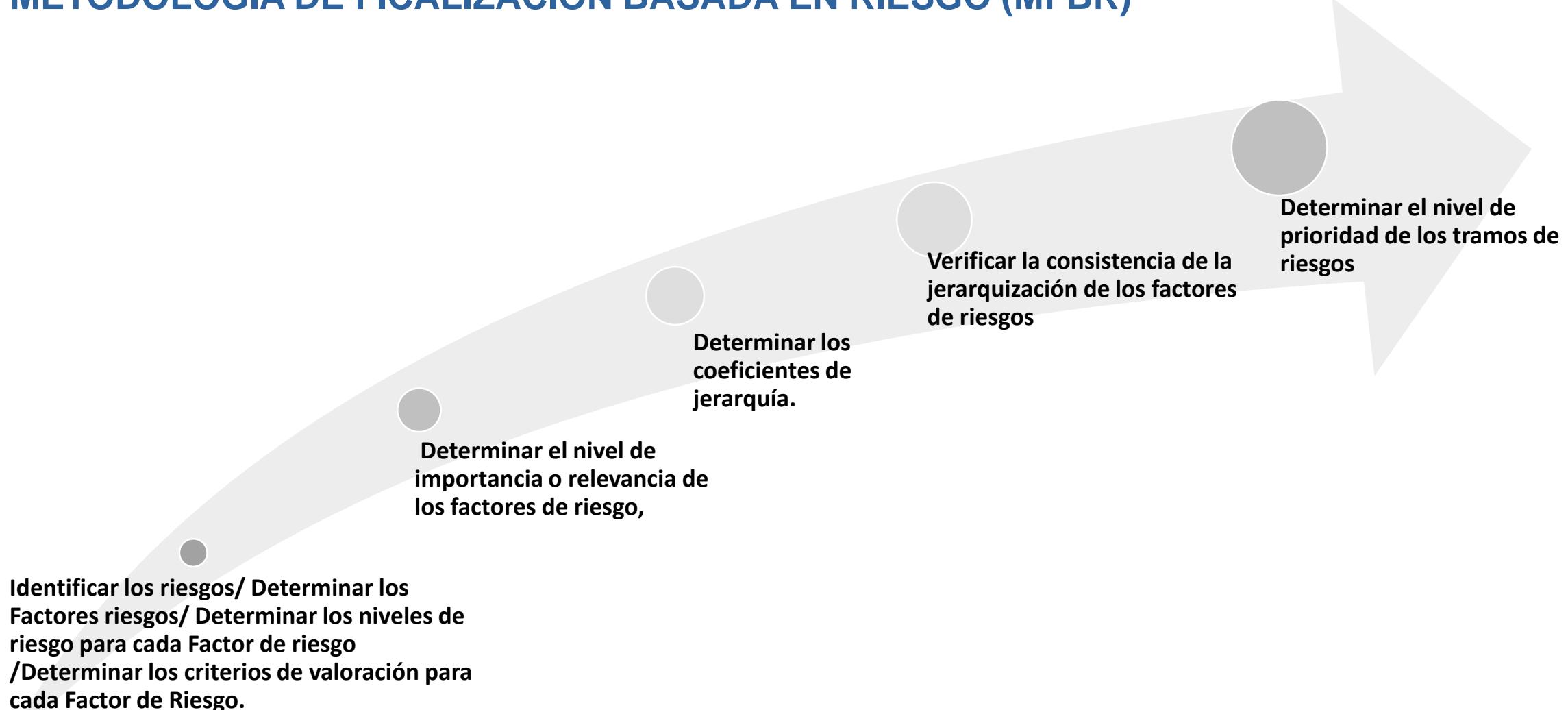
Segundo Autor  
Roger Lopez Tuesta  
Lima, Perú

Tercer Autor  
Alfredo Pilares Pfuño  
Lima, Perú

Cuarto Autor  
José Unzueta Graus  
Lima, Perú



## 1. METODOLOGIA DE FICALIZACIÓN BASADA EN RIESGO (MFBR)



# IPG 2023

INTERNATIONAL PIPELINE GEOTECHNICAL CONFERENCE

23 y 24 de Noviembre. Bogotá D.C. - Colombia

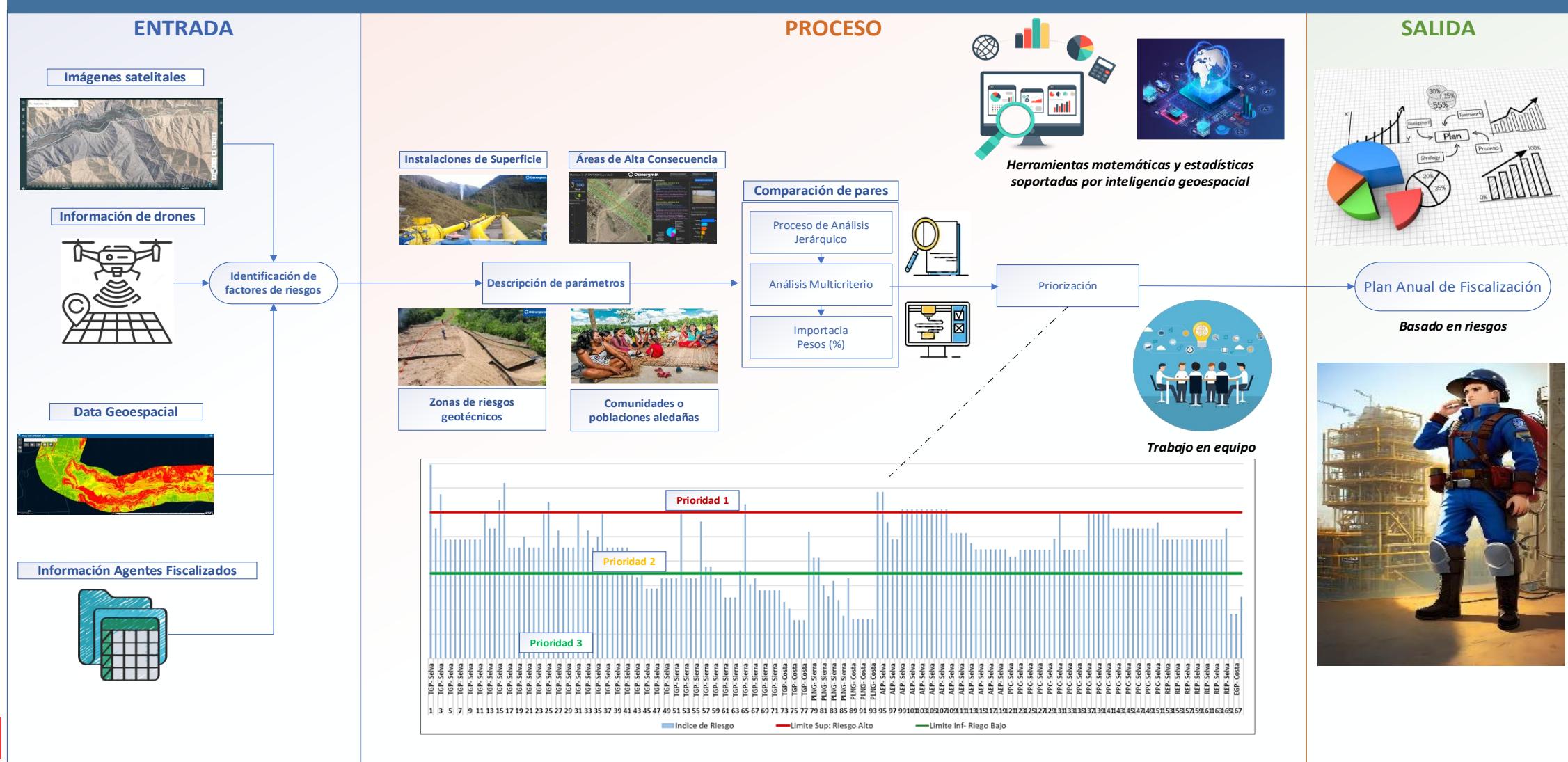
Con el apoyo de



## Organiza:



# METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS



# IPG 2023

INTERNATIONAL PIPELINE GEOTECHNICAL CONFERENCE

23 y 24 de Noviembre. Bogotá D.C. - Colombia

Con el apoyo de:



ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE PETRÓLEO, GAS Y ENERGÍA RENOVABLE DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Organiza:

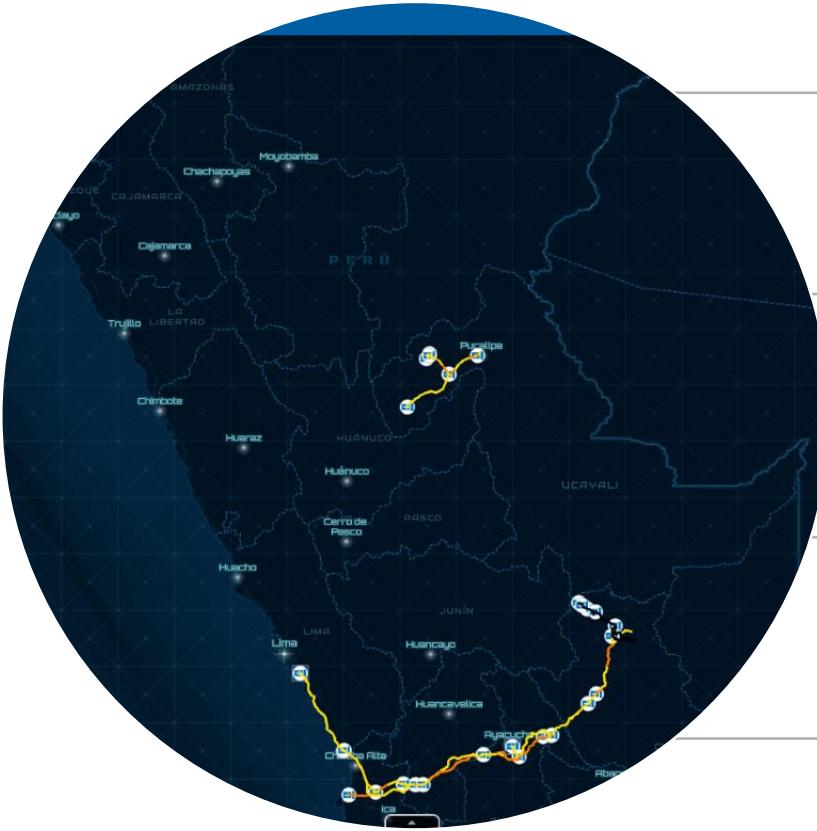


C-IPG  
Comité Técnico IPG

+ ACIEM  
Asociación Colombiana de Ingenieros



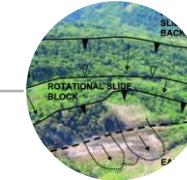
## Identificar los Riesgos



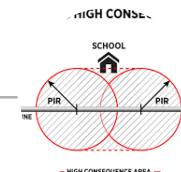
2 549 km de Ductos y 1 677 km de Derecho de Vía con geografía compleja  
(selva, sierra y costa)



231 instalaciones de superficie



755 zonas de riesgos geotécnicos



69 Áreas de Alta Consecuencia



369 comunidades o poblaciones aledañas

Agente Fiscalizado

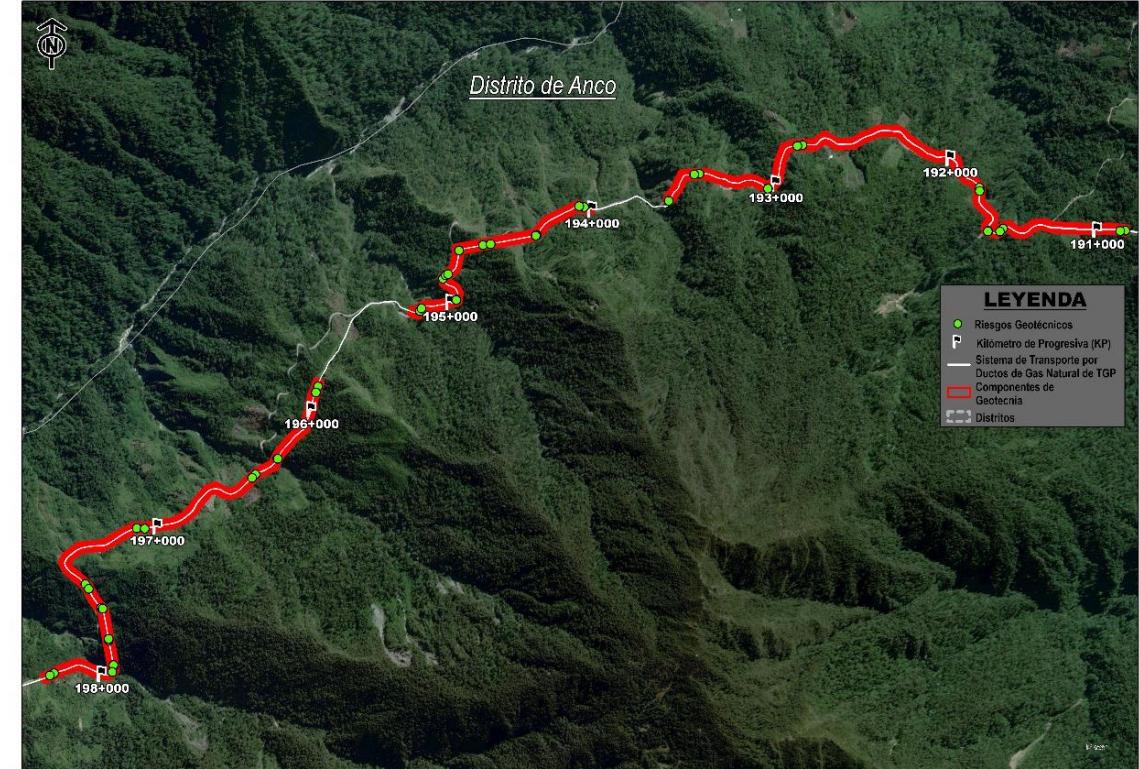
Información pública existente

Registros internos del fiscalizador

755 zonas de riesgo (495 selva, 216 Sierra y 44 costa)



## Identificar los Riesgos Geotécnicos





## Determinar los Factores riesgos/ Determinar los niveles de riesgo para cada Factor de riesgo /Determinar los criterios de valoración para cada Factor de Riesgo.

Factores de Riesgo	NIVEL DE RIESGO				
	Riesgo Muy Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
	0.1	0.25	0.5	0.75	1
Lluvia					
Fuerzas Externas					
Pendiente					
Estudios					
Monitoreo					

Factores de Riesgo	Nivel de riesgo				
	Riesgo Muy Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Lluvia	0.10 COSTA Chala > 0 - 500 msnm Yunga Marítima > 500 - 2300 msnm	0.25 SIERRA Puna > 4001 - 4800 msnm Janca > 4801 - 6768 msnm	0.50 SIERRA > 2300 - 3500 msnm Suni > 3501 - 4000 msnm	0.75 QUECHUA Yunga Fluvial > 1001 - 2300 msnm Rupa Rupa > 401 - 1000 msnm	1.00 SELVA ALTA Yunga Fluvial > 1001 - 2300 msnm Rupa Rupa > 401 - 1000 msnm
Fuerzas Externas (Movimientos en masa)	N.A.	*Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que NO generó alguna afectación al Ducto y SIN TRABAJOS DE MITIGACIÓN Terminado  *Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que SI Genera o podría generar alguna afectación al Ducto y CON TRABAJOS DE MITIGACIÓN terminados.  * Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente SI ACTIVA, que NO Genera o podría generar alguna afectación al Ducto, SI hay Trabajo de Mitigación Terminado  * Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente SI ACTIVA, que SI Genera o podría generar alguna afectación al Ducto, CON TRABAJOS DE MITIGACIÓN actualmente CONCLUIDOS.	*NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), Si Existe problemas de Erosión por Surcos y Carcavas. NO existe afectación/exposición al ducto enterrado.	N.A.	*El DDV cruza una falla geológica  *El DDV NO cruza una falla geológica, SI Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente SI ACTIVA, SI genera o podría generar alguna afectación al Ducto y que NO hay trabajos de mitigación.
		* Zona con topografía plana			



## Determinar el nivel de importancia o relevancia de los factores de riesgo (Método de Jerarquías Analíticas de Tomas Saaty)

Planteamiento de la preferencia	Calificación numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuerte y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

FACTORES DE RIESGO	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo
Lluvia	1	1	2	3	3
Fuerzas Externas	1	1	1	3	3
Pendiente	1/2	1	1	2	1
Estudios	1/3	1/3	1/2	1	1
Monitoreo	1/3	1/3	1	1	1



## Determinar los coeficientes de jerarquía

FACTORES DE RIESGO	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo
Lluvia	1	1	2	3	3
Fuerzas Externas	1	1	1	1	1
Pendiente	1/2	1	1	1	1
Estudios	1/3	1/3	1/2	1	1
Monitoreo	1/3	1/3	1	1	1
	3.17	3.67	5.50	10.00	9.00

FACTORES DE RIESGO	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo	Vector Resultante
Lluvia	0.32	0.27	0.36	0.30	0.33	<b>0.32</b>
Fuerzas Externas	0.32	0.27	0.18	0.30	0.33	<b>0.28</b>
Pendiente	0.16	0.27	0.18	0.20	0.11	<b>0.18</b>
Estudios	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	<b>0.10</b>
Monitoreo	0.11	0.09	0.18	0.10	0.11	<b>0.12</b>
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Promedio



## Verificar la consistencia de la jerarquización de los factores de riesgos

a) Como parte del Método de Jerarquías Analíticas de Tomas Saaty se determina el Ratio de Consistencia (RC), el que es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde:

IC: Índice de Consistencia

IA: Índice de Consistencia Aleatoria

b) Respecto al índice de consistencia, se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

Donde:

n : Número de factores de riesgo comparados.

$\lambda_{max}$  : Es la suma de las componentes del resultado de la multiplicación matricial

c) Respecto al  $\lambda_{max}$  se calcula de la siguiente manera:

Es la sumatoria de los elementos de la matriz resultante del producto entre Matriz de Comparación de Pares (MCP) con la Matriz “Vector Resultante”. **Multiplicación Matricial**

FACTORES DE RIESGO	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo
<b>Lluvia</b>	1	1	2	3	3
<b>Fuerzas Externas</b>	1	1	1	3	3
<b>Pendiente</b>	1/2	1	1	2	1
<b>Estudios</b>	1/3	1/3	1/2	1	1
<b>Monitoreo</b>	1/3	1/3	1	1	1

Vector Resultante	$\lambda_{max}$
0.32	1.6196
0.28	1.4349
0.18	0.9411
0.10	0.5091
0.12	0.6014

$$\lambda_{max} = 5.11$$

n	Índice de Consistencia Aleatoria (IA)
3	0.525
4	0.882
5	1.115
6	1.252
7	1.341
8	1.404
9	1.452
10	1.484

Tamaño de la matriz	Ratio de Consistencia Aceptable
3	5%
4	9%
$5 \leq n \leq 10$	10%

$\lambda_{max}$	Índice de Consistencia (IC)		Criterio de Aceptabilidad			Cumple
	n	IC	Índice de Consistencia Aleatoria (IA)	Ratio de Consistencia (RC)	Ratio de Consistencia Aceptable (RA)	
1,6196						
1,4349						
0,9411						
0,5091						
0,6014						
<b>5,11</b>	<b>5</b>	<b>0,0265</b>	<b>1,115</b>	<b>2,376%</b>	<b>10%</b>	<b>CUMPLE</b>

Se considera aceptable los valores del Ratio de consistencia (RC) cuando sea inferior a Ratio de Consistencia Aceptable (RA), detallado en la tabla siguiente. En caso el RC resulte superior al RA, se deberá volver a revisar la jerarquización

$$RC < RA$$

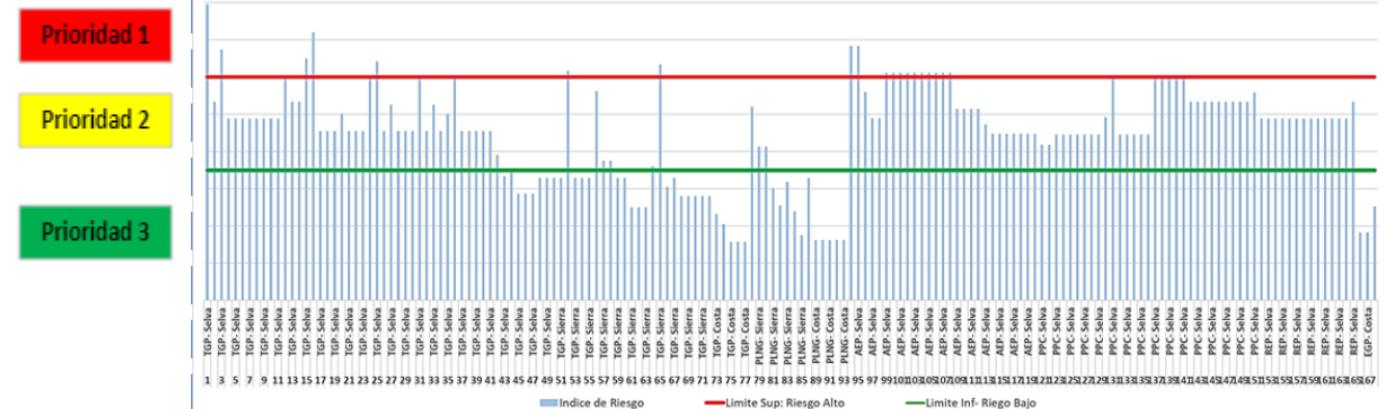


## Determinar el nivel de prioridad de los tramos de riesgos

	Ranking	Frecuencia de Acciones de Supervisión por Año (mínimo)
Prioridad 1	0,61 a 1,00	01 Supervisión de campo 01 Supervisión de campo o remota. 01 Supervisión de gabinete
Prioridad 2	0,36 a 0,60	01 Supervisión de campo 01 Supervisión de campo, remoto o de gabinete
Prioridad 3	0 a 0,35	01 Supervisión de campo o remoto

## Resultado de la MFBR

Tramo De Riesgo	Factores de Riesgo						Prioridad
	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo	Índice	
	31,71%	28,07%	18,47%	9,96%	11,78%	$\Sigma(FR_i)$	
Tramo 1	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	0,390	2
Tramo 2	Muy Alto	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	0,534	2
Tramo 3	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Bajo	0,674	1
..							
Tramo 66	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	0,304	3
Tramo 67	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	0,329	3
Tramo 68	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	0,279	3
Tramo 73	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy Bajo	0,232	3





## 2. USO DE TECNOLOGIA INMERSIVA EN TIEMPO REAL



### Tecnología Inmersiva – Tramos de Riesgo

Tramos ubicados en zonas remotas

Tramos de Long. Excesiva

Tramos con accesos restringidos

Optimizar los tiempos de Supervisión

Control del total del Vuelo





## USO DE TECNOLOGÍA INMERSIVA EN TIEMPO REAL

### ENTRADA

**Plan Anual de Fiscalización**

*Basado en riesgos*



### PROCESO

**Fiscalización con drones con Tecnología Inmersiva en Tiempo Real**

Punto B



Visualizar la imagen del dron de manera inmersiva



### SALIDA

**Observaciones o Hechos Constatados**





## Comparación de Uso de RPAS

	Fiscalización Tradicional	Fiscalización con RPAS	
Desplazamiento Humano	↑↑↑↑↑	↓↓↓↓	↓↓↓↓
Experiencia de Fiscalización	Superficial en tiempo real con observación directa	Superficial en tiempo real mediante el uso de una Tablet o smartphone	Profunda en tiempo real mediante el uso de Lentes FPV
Perspectiva de Fiscalización	Terrestre	Aérea	Aérea
Capacidad de Ampliación Óptica	Ninguna	Alta	Alta
Control de Factores Externos	↓↓↓↓	↓↓	↑↑↑↑↑

# IPG 2023

INTERNATIONAL PIPELINE GEOTECHNICAL CONFERENCE

23 y 24 de Noviembre. Bogotá D.C. - Colombia

Con el apoyo de:



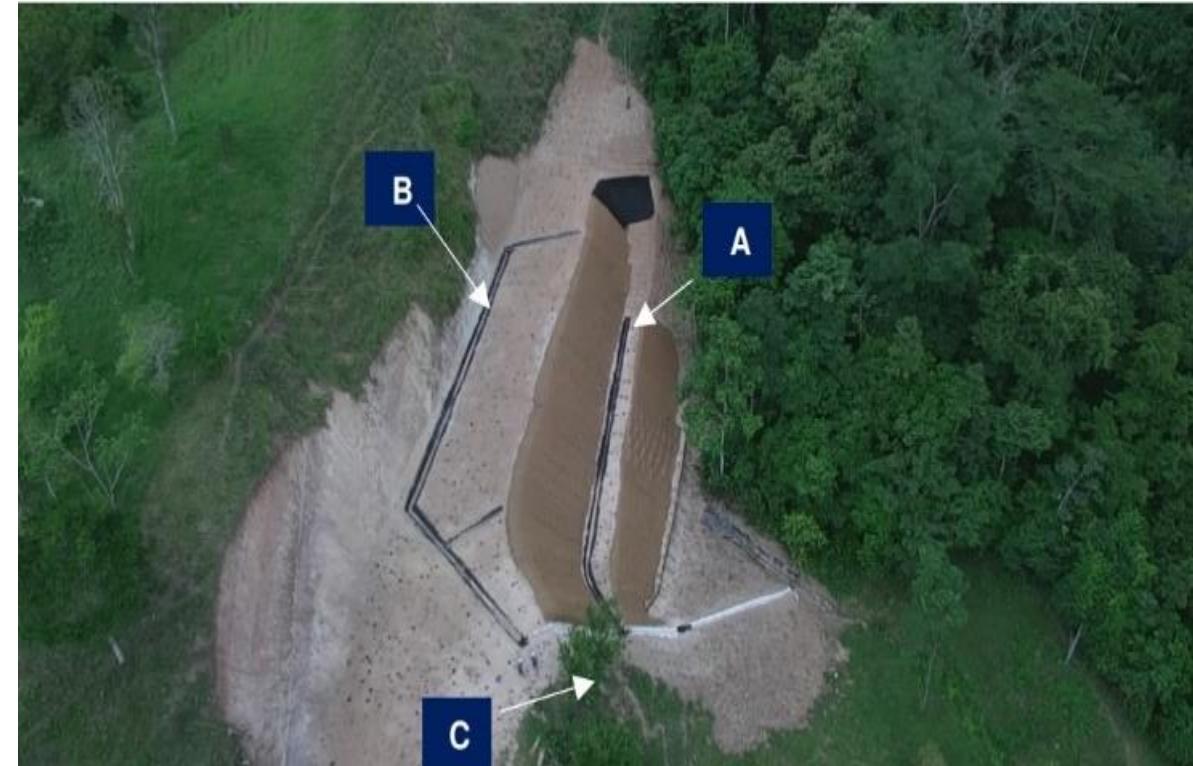
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE  
PETRÓLEO, GAS Y ENERGÍA RENOVABLE  
DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Organiza:

C-IPG  
Comité Técnico IPG



Asociación Colombiana  
de Ingenieros



# IPG 2023

INTERNATIONAL PIPELINE GEOTECHNICAL CONFERENCE

23 y 24 de Noviembre. Bogotá D.C. - Colombia

Con el apoyo de:



ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE  
PETRÓLEO, GAS Y ENERGÍA RENOVABLE  
DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Organiza:



C-IPG  
Comité Técnico IPG

Asociación Colombiana  
de Ingenieros





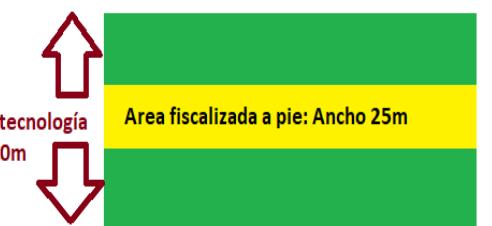
## Logro

## Descripción

Optimización del tiempo de fiscalización.

Mediante la Fiscalización Basada en Riesgos se ha **optimizado los tiempos** porque permite focalizar los esfuerzos en las zonas en función a su nivel de riesgo (visitas puntuales basados en probabilidad y niveles de riesgo),

Del mismo modo, la fiscalización con drones utilizando tecnología inmersiva permite cubrir **mayor área fiscalizada en menor tiempo** con respecto a una fiscalización regular (a pie).



Mayor área de fiscalizada

Ver figura N°1

Reducción del costo de la fiscalización

Ver figura N°2

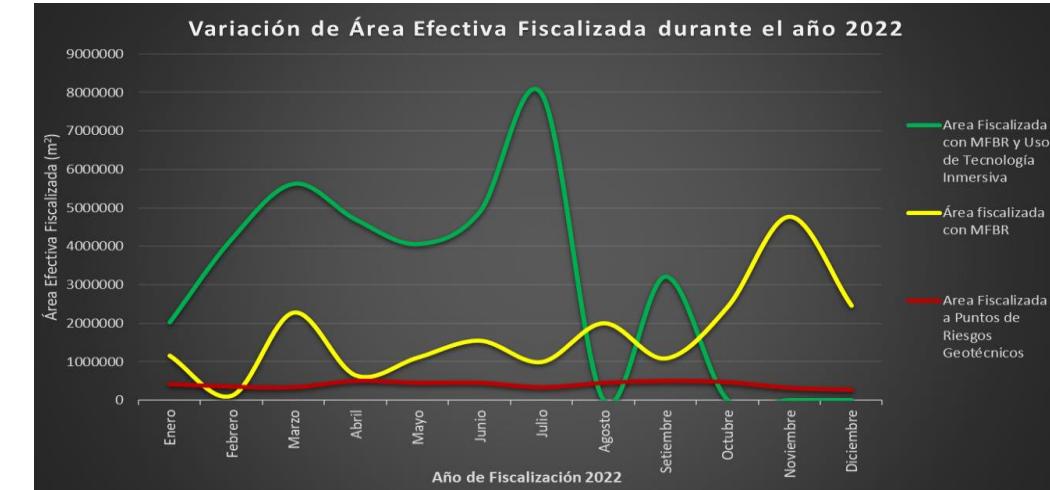


Figura N°1

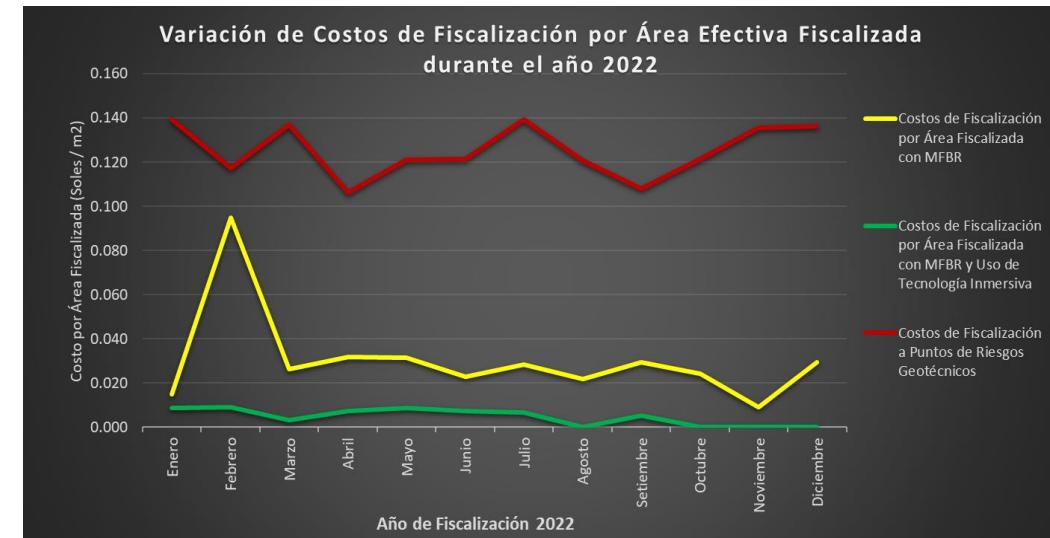


Figura N°2



## 3. CONCLUSIONES

La MFBR permitió al fiscalizador identificar y priorizar sus acciones de fiscalización en tramos donde existe riesgos geotécnicos que podrían afectar la integridad de los ductos enterrados, producto de ello, se identificó secciones del DDV que no tuvieron la atención oportuna, por parte del operador, en tomar las medidas de reparación y/o mitigación correspondiente.

Asimismo, se debe precisar que el uso del RPAS con Tecnología Inmersiva ofrece mayores beneficios respecto a los RPAS con Tecnología Regular (tradicional), por que permite al usuario evitar factores distractores externos proporcionando mayor atención y concentración durante el vuelo, además de abarcar un mayor área de fiscalización (recorrido); de esta forma en la práctica ha permitido identificar problemas geotécnicos que afectaron o que pudieron afectar a los ductos enterrados de transporte de Gas Natural.