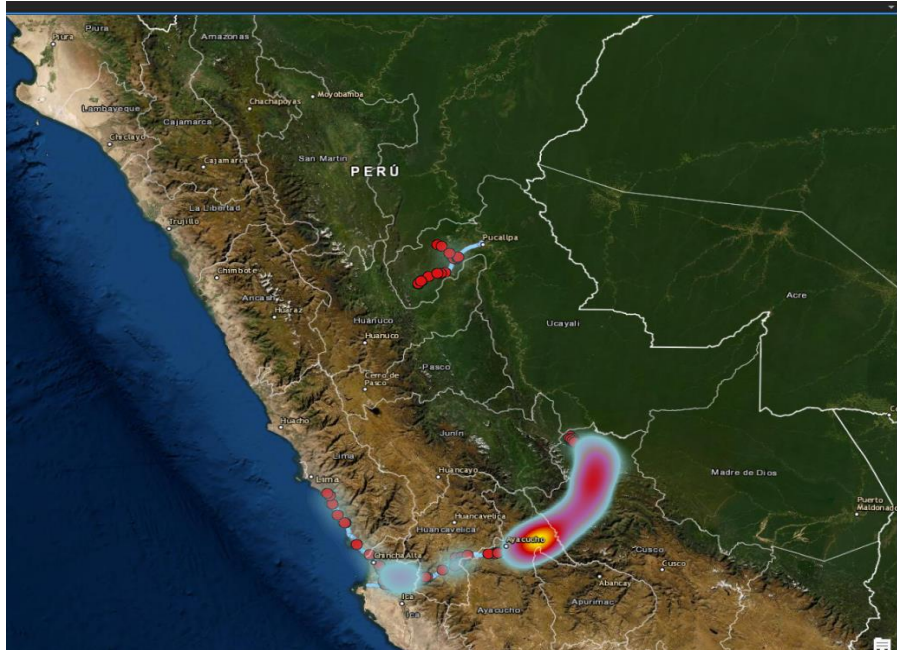




## METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS Y USO DE TECNOLOGÍA INMERSIVA EN TIEMPO REAL EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL Y/O LÍQUIDOS DE GAS NATURAL DESDE LA PERSPECTIVA DEL FISCALIZADOR



**Primer Autor**  
Edilberto Gutierrez Ortiz  
Lima, Perú

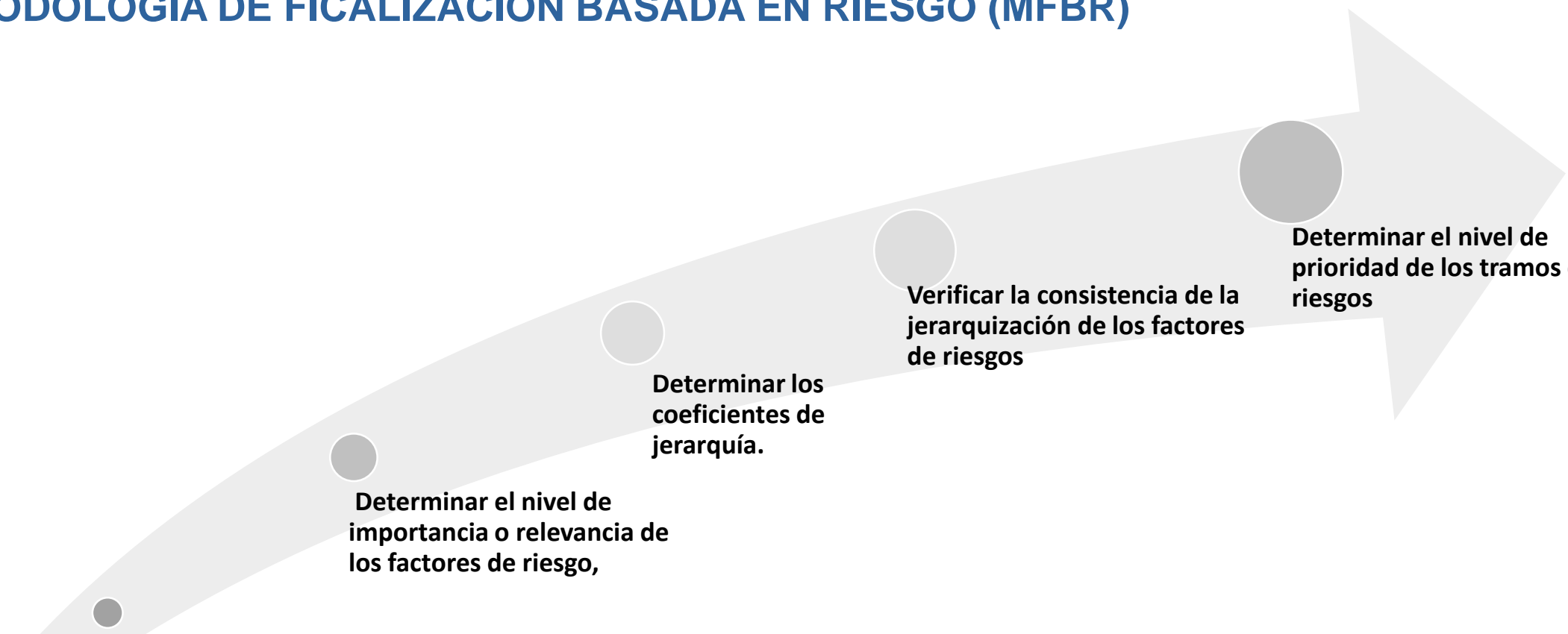
**Segundo Autor**  
Roger Lopez Tuesta  
Lima, Perú

**Tercer Autor**  
Alfredo Pílares Pfuño  
Lima, Perú

**Cuarto Autor**  
José Unzueta Graus  
Lima, Perú



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



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

Determinar el nivel de importancia o relevancia de los factores de riesgo,

Determinar los coeficientes de jerarquía.

Verificar la consistencia de la jerarquización de los factores de riesgos

Determinar el nivel de prioridad de los tramos de riesgos

## METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS

### ENTRADA

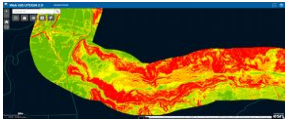
Imágenes satelitales



Información de drones



Data Geoespacial



Información Agentes Fiscalizados



Identificación de factores de riesgos

### PROCESO

Instalaciones de Superficie



Áreas de Alta Consecuencia



Comparación de pares

Proceso de Análisis Jerárquico

Análisis Multicriterio

Importancia Pesos (%)

Descripción de parámetros

Zonas de riesgos geotécnicos



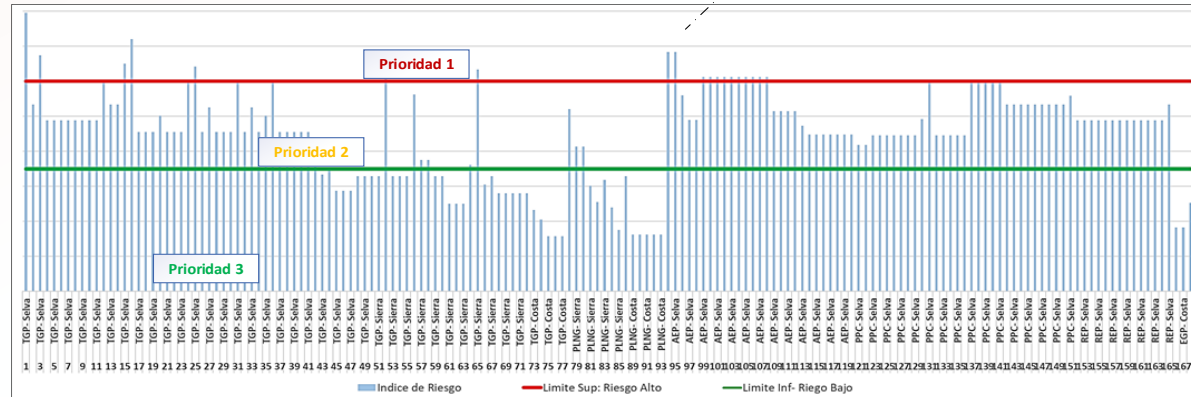
Comunidades o poblaciones aledañas



Herramientas matemáticas y estadísticas soportadas por inteligencia geoespacial

Priorización

Trabajo en equipo



### SALIDA



Plan Anual de Fiscalización

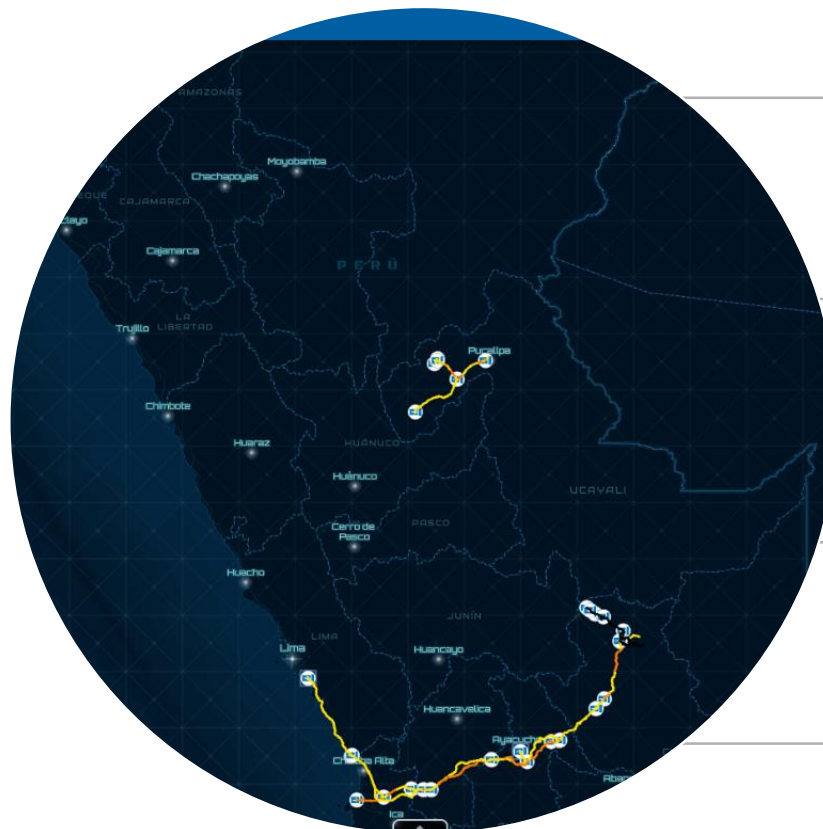
Basado en riesgos







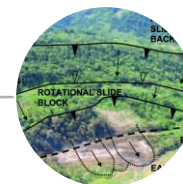
## Identificar los Riesgos



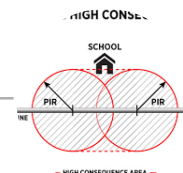
2 549 km de Ductos y 1 677 km de Derecho de Vía con geografía compleja  
(selva, sierra y costa)



**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
	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00
Lluvia	COSTA Chala -> 0 - 500 msnm Yunga Maritima -> 500 - 2300 msnm	SIERRA Puna -> 4001 - 4800 msnm Janca -> 4801 - 6768 msnm	SIERRA -> 2300 - 3500 msnm Quechua Suni -> 3501 - 4000 msnm	SELVA ALTA Yunga Fluvial -> 1001 - 2300 msnm Rupa Rupa -> 401 - 1000 msnm	SELVA BAJA Omagua 80 - 400 msnm
Fuerzas Externas (Movimientos en masa)	N.A.	*Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), NO se encuentra ACTIVA, NO generó alguna afectación al Ducto, SI hay Trabajo de Mitigación Terminado	* Si 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 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.	* Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que SI generó alguna afectación al Ducto y NO hay Trabajo de Mitigación Terminado.	*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.
	* NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), No Existe problemas de Erosión por Surcos o Carcavas	*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.	*NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), SI Existe problemas de Erosión por Surcos y Carcavas. SI presenta afectación/exposición al ducto enterrado.	N.A.
	* Zona con topografía plana a				



## 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
<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

## Determinar los coeficientes de jerarquía

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

FACTORES DE RIESGO	Lluvia	Fuerzas Externas	Pendiente	Estudios	Monitoreo	Vector Resultante
<b>Lluvia</b>	0.32	0.27	0.36	0.30	0.33	<b>0.32</b>
<b>Fuerzas Externas</b>	0.32	0.27	0.18	0.30	0.33	<b>0.28</b>
<b>Pendiente</b>	0.16	0.27	0.18	0.20	0.11	<b>0.18</b>
<b>Estudios</b>	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	<b>0.10</b>
<b>Monitoreo</b>	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	X	Vector Resultante	=	$\lambda_{max}$
Lluvia	1	1	2	3	3		0.32		1.6196
Fuerzas Externas	1	1	1	3	3		0.28		1.4349
Pendiente	1/2	1	1	2	1		0.18		0.9411
Estudios	1/3	1/3	1/2	1	1		0.10		0.5091
Monitoreo	1/3	1/3	1	1	1		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%

$\lambda_{max}$	Criterio de Aceptabilidad				
	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 5.11	5	0.0265	1.115	2.376%	10%
					CUMPLE

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)
<b>Prioridad 1</b>	0.61 a 1.00	01 Supervisión de campo 01 Supervisión de campo o remota. 01 Supervisión de gabinete
<b>Prioridad 2</b>	0.36 a 0.60	01 Supervisión de campo 01 Supervisión de campo, remoto o de gabinete
<b>Prioridad 3</b>	0 a 0.35	01 Supervisión de campo o remoto

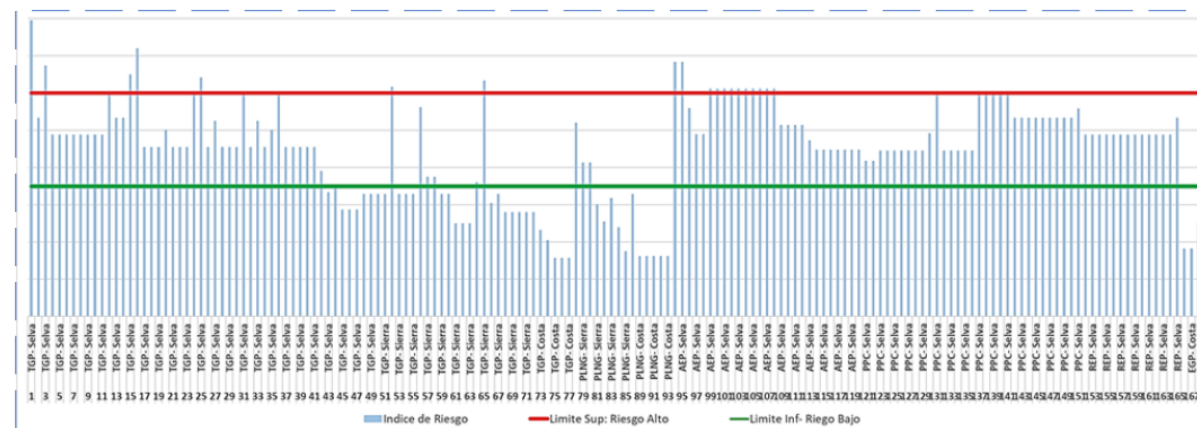
## Resultado de la MFBR

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

Prioridad 1

Prioridad 2

Prioridad 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

Lentes FPV



Punto A



Visualizar la imagen del dron de manera inmersiva

Punto B



### SALIDA

Observaciones o Hechos Constatados







## Comparación de Uso de RPAS

	Fiscalización Tradicional	Fiscalización con RPAS	
		Tecnología Regular	Tecnología Inmersiva
<u>Desplazamiento Humano</u>	↑↑↑↑↑	↓↓↓↓↓	↓↓↓↓↓
<u>Experiencia de Fiscalización</u>	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
<u>Perspectiva de Fiscalización</u>	Terrestre	Aérea	Aérea
<u>Capacidad de Ampliación Óptica</u>	Ninguna	Alta	Alta
<u>Control de Factores Externos</u>	↓↓↓↓↓	↓↓↓	↑↑↑↑↑











Logro	Descripción
Optimización del tiempo de fiscalización.	<p>Mediante la Fiscalización Basada en Riesgos se ha <b>optimizado los tiempos</b> porque permite focalizar los esfuerzos en las zonas en función a su nivel de riesgo (visitas puntuales basados en probabilidad y niveles de riesgo),</p> <p>Del mismo modo, la fiscalización con drones utilizando tecnología inmersiva permite cubrir <b>mayor área fiscalizada en menor tiempo</b> con respecto a una fiscalización regular (a pie).</p> <div> </div>
Mayor área de fiscalizada	Ver figura N°1
Reducción del costo de la fiscalización	Ver figura N°2

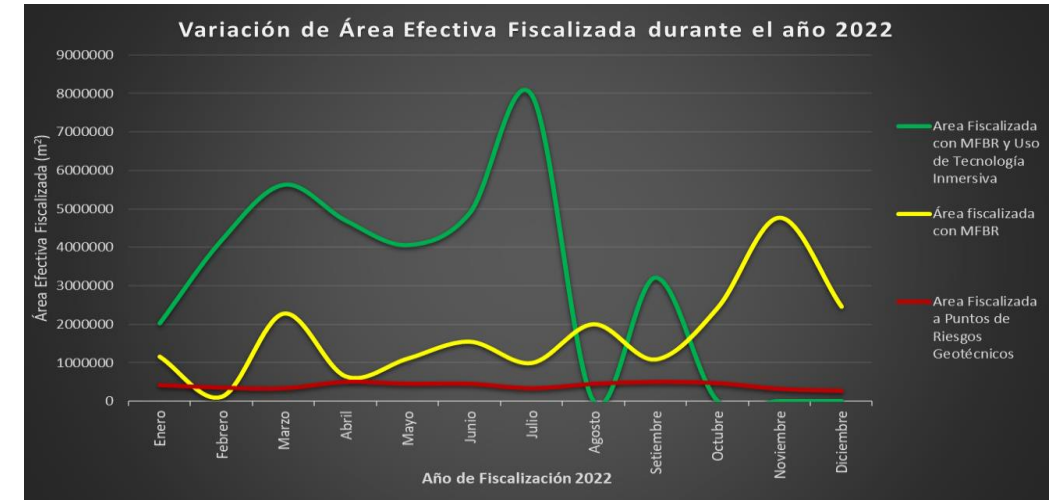


Figura N°1

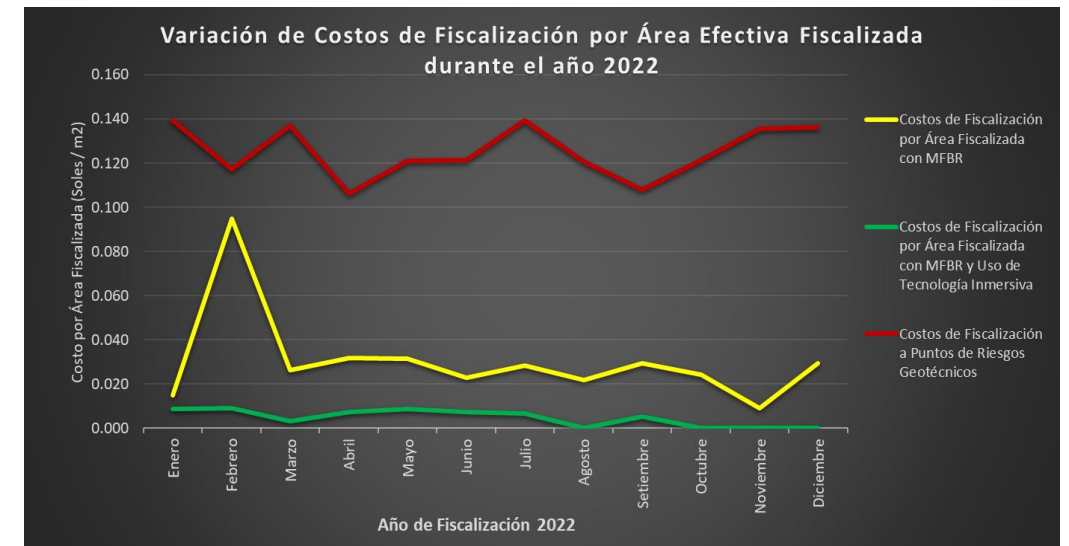


Figura N°2



## 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.

