

**GOBERNACION DE ANTIOQUIA
CONCESION TUNEL ABURRA - ORIENTE S.A.
PROYECTO CONEXIÓN VIAL ABURRA - ORIENTE
RESOLUCION 0456 DEL 12 DE JUNIO DE 2012- ANLA
RESERVA NATURAL DE LA SOCIEDAD CIVIL DE MONTEVIVO
Análisis de Incidencia Ambiental por el Proyecto**

1. PRESENTACION

El presente documento contiene un análisis particularizado de la incidencia que pudiese derivarse hacia la Reserva Natural de la Sociedad Civil de Montevivo, como resultado de la implementación del proyecto. Esto de conformidad con lo señalado en el numeral 21 y en el Parágrafo Primero del Artículo 2 de la Resolución 0456 del 12 de junio de 2012 de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

2. CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA RESERVA

La Reserva Natural de la Sociedad Civil Montevivo, está localizada en el corregimiento de Santa Elena, en jurisdicción del Municipio de Medellín sobre el kilómetro 16 de la vía Medellín-Santa Elena - Rionegro; se extiende por aproximadamente 433.000 m². Fue declarada como tal por la Resolución 0181 del 28 de junio de 2005 del antiguo Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Actualmente se practican actividades turísticas y de recreación.

La Reserva se encuentra dentro de la subcuenca de San Ignacio y cuenta con diez (10) nacimientos de agua. Ubicada sobre la zona de vida Bosque Muy Húmedo Montano, con precipitaciones anuales entre 2000 a 4000 mm, y biotemperatura entre 12- 18 C.

Posee diversidad media de especies florísticas y faunísticas especialmente de aves. De acuerdo a lo establecido en la zonificación del Área de Reserva Forestal Protectora, según el Decreto 2372 de 2010, para la jurisdicción de CORNARE se incluye las zonas de uso sostenible como espacios para adelantar actividades productivas y extractivas compatibles con el objeto de conservación de la Zona Forestal protectora, como es el caso presente de Montevivo.

El 60% de la cobertura corresponde a bosque natural fragmentado, con predominancia de la familia Lauraceae con la especie *Nectandra sp.* Además de poblaciones de *Hieronyma antioquiensis* (Cándelo). Esta cobertura se encuentra actualmente en un rango medio a alto de intervención. La dominancia del yarumo, *Cecropia sp.*, requiere altos regímenes de luz, lo que puede indicar un alto grado de intervención y un estado sucesional medio.

Símbolo	Cobertura	Extensión (Ha)	%
231	Pastos limpios	1,02	0,85
232	Pastos arbolados	1,69	1,41
313	Bosque natural fragmentado	72,19	60,16
315	Plantación forestal	14,87	12,39
323	Vegetación secundaria baja	29,13	24,28

Tabla 1. Coberturas vegetales de la Reserva Montevivo (*Corine Land Cover*, 2007)

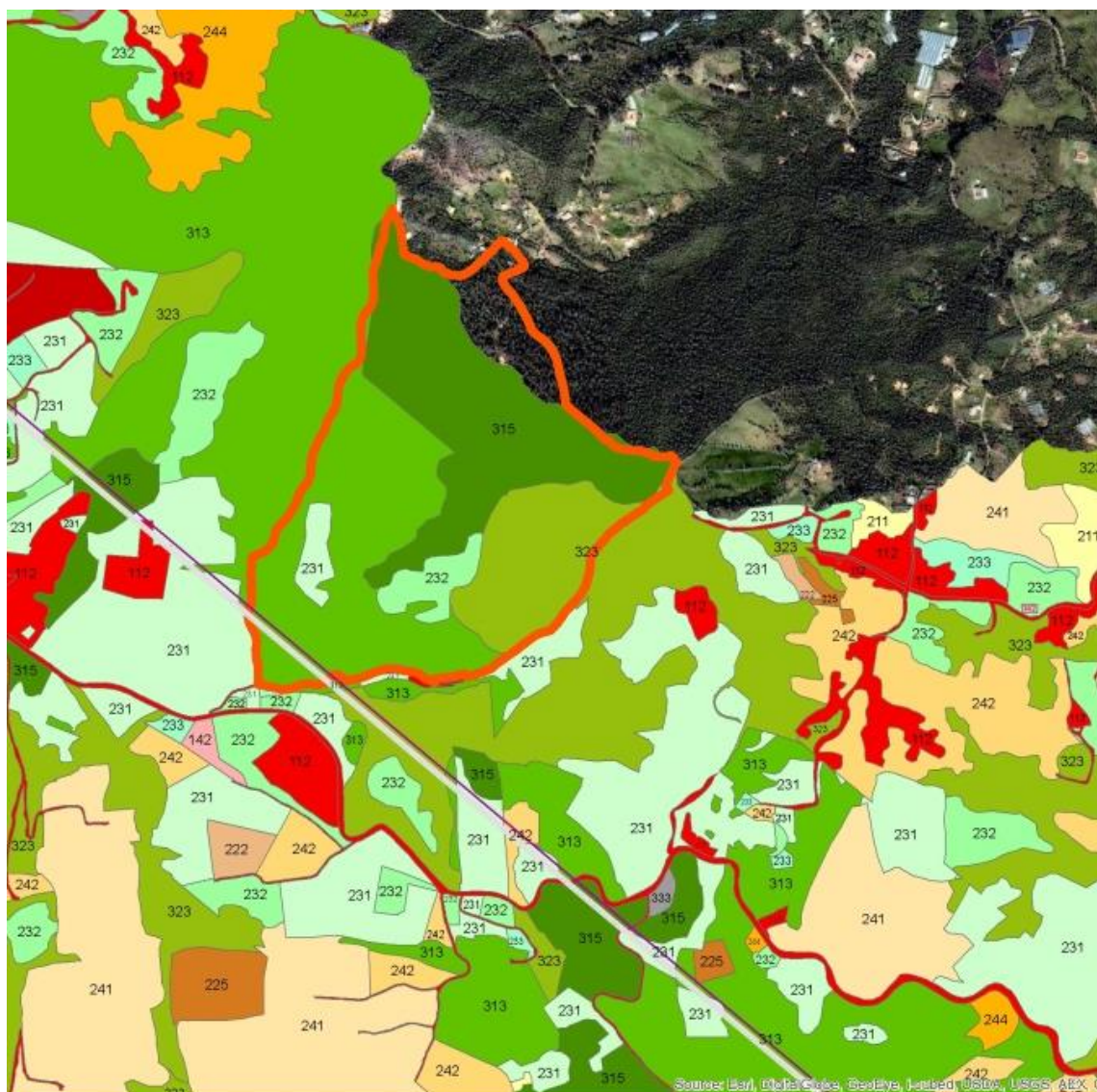


Figura 1. Cobertura vegetal de la Reserva Montevivo

3. ESCENARIOS EN LA RESERVA MONTEVIVO

De acuerdo a lo establecido en los diseños técnicos, la Reserva Montevivo no es interceptada por el proyecto, pues la condición de paso de este en la zona, es mediante la tipología de obra subterránea (túnel Santa Elena), en su extremo suroccidental, entre las progresivas 13+160 y 13+370 aproximadamente (200 m), correspondiendo a una zona de 0,5 Ha. de Bosque natural fragmentado.

Ante la potencial probabilidad de afectación de los puntos de agua identificados en la Reserva, se realizó el siguiente análisis en función de las condiciones constructivas del túnel Santa Elena:

Primer escenario: Análisis tomando en cuenta la excavación de dos tubos, sin considerar la aplicación de revestimientos y tratamientos con **pre-inyecciones** de consolidación, e

impermeabilización de las zonas de falla y/o zonas intensamente fracturadas presentes en el macizo rocoso interceptado por el túnel.

Segundo escenario: Análisis tomando en cuenta la excavación de dos tubos (sección doble de túnel), considerando la presencia de revestimientos y tratamientos con aplicación de **pre-inyecciones** de consolidación e impermeabilización de las zonas de falla y/o zonas intensamente fracturadas presentes en el macizo rocoso interceptado por el túnel. En este escenario se asume que el caudal específico estabilizado al interior de la excavación en los tramos tratados con pre-inyección, será equivalente al previsto para la obra, es decir, igual o inferior a 0,5l/s/100m de túnel; valor que resulta totalmente coherente con las especificaciones técnicas noruegas para túneles tratados con pre-inyecciones, donde es necesario contener los flujos de agua al interior de las excavaciones subterráneas (*Norwegian Tunnelling Society, 2011*).

La probabilidad de afectación de cada punto de agua se obtuvo de acuerdo con la metodología de evaluación DHI (DROWDAWN HAZARD INDEX), para los dos escenarios analizados (ver Figuras No. 2 y 3).

El primer escenario analizado, que toma en consideración la construcción del túnel sin tratamiento de impermeabilización, ha evidenciado que en la mayoría de los puntos de agua identificados no se prevé afectación (clase de DHI de 1). Del análisis también resulta que existen dos **puntos de agua subterránea** y un **curso de agua superficial** con probabilidad de afectación baja, con categoría de riesgo clase 2 (Ver Tabla 2, Tabla 3 y Figura 2).

Cuando los mismos puntos de agua identificados en la Reserva son analizados bajo **el segundo escenario constructivo** que contempla la aplicación de tratamientos de impermeabilización a través de pre-inyecciones, no se prevé afectación en ninguno de ellos, lo que según el método aplicado corresponde a una clase DHI igual a 1 (Ver Tabla 2, Tabla 3 y Figura 3).

Código	Tipo	Probabilidad de afectación (método DHI)		Localización
		Sin pre-inyecciones	Con Pre-inyecciones	
AST 84	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 85	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 86	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 87	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 88	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 89	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 90	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 91	Manantial	Despreciable	Despreciable	Dentro de la Reserva
AST 92	Manantial	Bajo	Despreciable	Límite occidental de la Reserva
AST 123	Manantial	Bajo	Despreciable	Dentro de la reserva

Tabla 2. Puntos de agua subterránea identificados durante los inventarios realizados en la Reserva Civil Montevivo y su probabilidad de afectación bajo dos escenarios constructivos del túnel Santa Elena, sin y con pre-inyecciones de impermeabilización. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013.*

Tal como se explica más adelante, el método prevé un riesgo máximo de afectación clase 3, que implica una probabilidad de media a alta de ocurrencia del fenómeno. Esta clase de probabilidad

no se evidencio en los puntos de agua identificados en la Reserva Civil Montevivo **bajo ninguno de los dos escenarios constructivos antes descritos.**

Código	Tipo	Probabilidad de afectación (método DHI)		Localización
		Sin pre-inyecciones	Con Pre-inyecciones	
SE 11	Punto critico	Bajo	Despreciable	Dentro de la Reserva

Tabla 3. Puntos críticos sobre cursos de agua superficial identificados en la Reserva Civil Montevideo y su probabilidad de afectación bajo dos escenarios constructivos del túnel Santa Elena, sin y con pre-inyecciones de impermeabilización. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013.*

En el denominado Anexo Único del alcance de Hidrogeología del documento ambiental de EIA para modificación de licencia ambiental presentado ante CORNARE, que atiende todos y cada uno de los requerimientos de la referida Resolución 0456 de la ANLA, se incluye la tabla de cálculo del DHI sobre los puntos de agua identificados en la Reserva Civil Montevivo para los dos escenarios considerados.

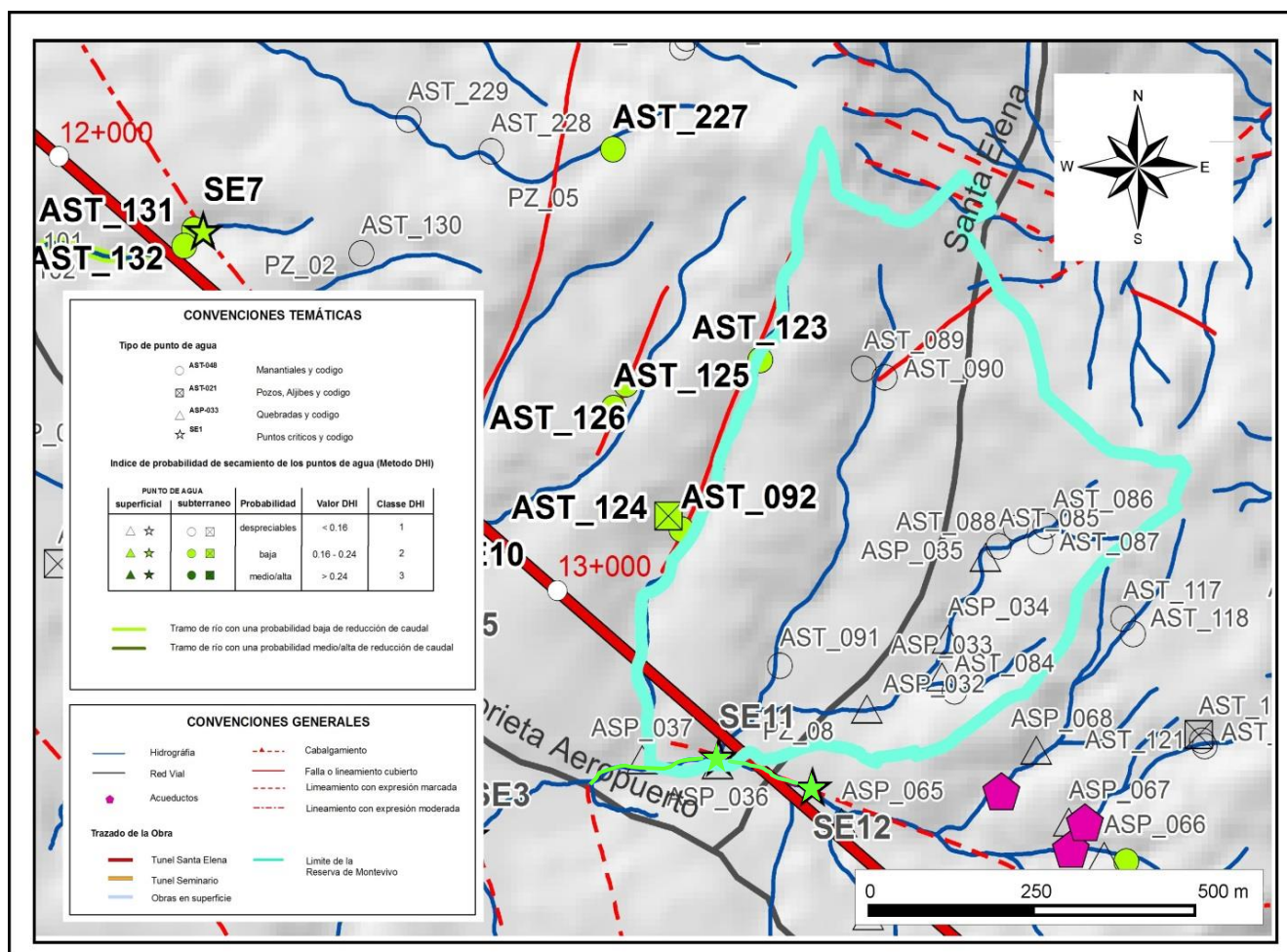


Figura 2. Parte del mapa general de afectación que indica el probable impacto sobre puntos de agua en superficie debido a la construcción del túnel Santa Elena. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013.*

En este caso específico (**Figura 2**) se muestran los puntos de agua localizados en la Reserva Civil Montevivo que han sido identificados durante los inventarios realizados en época de verano e invierno respectivamente (círculos y triángulos). La probabilidad de afectación se ha calculado con el método DHI (Drowdawn Hazard Index), considerando el escenario más desfavorable, es decir, en ausencia de pre-inyecciones de las zonas de falla y/o zonas de intensa fracturación del macizo rocoso interceptado por el túnel. El polígono de color cian representa los límites del predio correspondiente a la Reserva Civil Montevivo, los círculos de color verde localizados en el límite occidental de la reserva indican una probabilidad de afectación clase 2, es decir, baja, mientras que los círculos y triángulos grises sin ningún tipo de relleno indican que no se prevé afectación sobre los puntos de agua identificados o ésta se considera despreciable desde el punto de vista probabilístico (clase DHI igual a 2). No se evidencian puntos de agua con clase de afectación 3, es decir, media a alta.

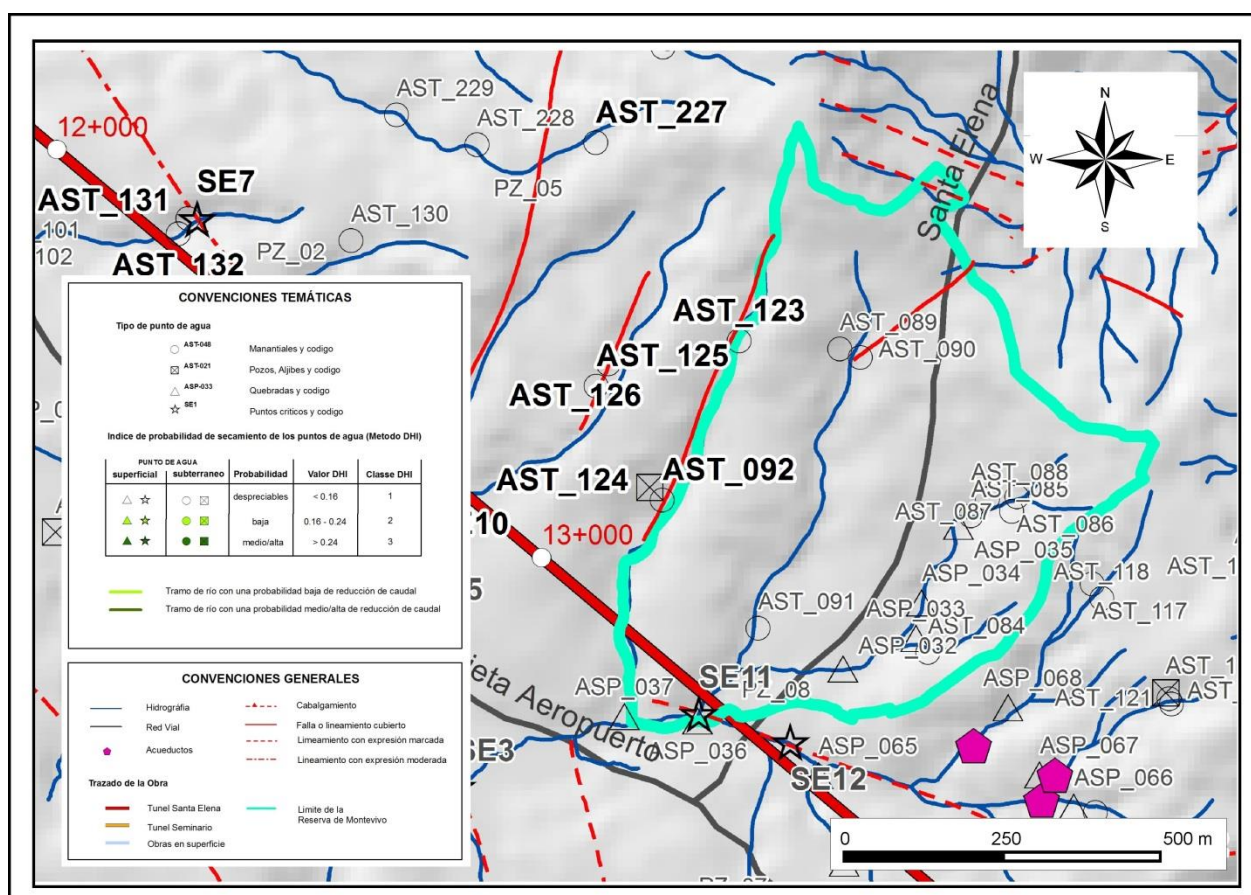


Figura 3. Parte del mapa general de afectación que indica el probable impacto sobre puntos de agua en superficie debido a la construcción del túnel Santa Elena. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013*

En este caso específico (**Figura 3**) se muestran los puntos de agua localizados en la Reserva Civil Montevivo que han sido identificados durante los inventarios realizados en época de verano e invierno respectivamente (círculos y triángulos). La probabilidad de afectación se ha calculado con el método DHI (Drowdown Hazard Index), considerando el escenario que contempla la ejecución de pre-inyecciones en las zonas de falla y/o zonas de intensa fracturación del macizo rocoso interceptado por el túnel. El polígono de color cian representa los límites del predio correspondiente a la Reserva Civil Montevivo. Bajo este escenario, no se prevé afectación sobre

los puntos de agua identificados o ésta se considera despreciable desde el punto de vista probabilístico (clase DHI igual a 1).

3. MUESTREOS DE COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Para la caracterización florística, del área de interceptación del túnel con la reserva (0.5 Ha), se realizó una parcela con un área de 1000 m² (50 m x 20 m), localizada en la cobertura de Bosque Natural Fragmentado. En total se encontraron 430 individuos entre fustales, latizales y brinzales, incluidas epífitas. La siguiente tabla presenta las coordenadas de ubicación de la parcela.

N. Parcela	Sitio	Cobertura	Coordenada X	Coordenada Y
3	Montevivo	Bosque Natural Fragmentado	843769	1178813

Tabla 4. Localización Parcela de muestreo. *Muestreo, 2013.*

La composición florística corresponde a los resultados de la parcela con relación al número de Familias y Especies. Dentro de esta unidad de muestreo se censó un total de 430 individuos agrupados en 27 familias representadas en 48 especies. La densidad arbórea promedio en la cobertura es de 4.300 árboles por hectárea. Las familias Rubiaceae (69), Chlorantaceae (63), Melastomataceae (32) y Caprifoliaceae (32), fueron las más abundantes, mientras que las especies más abundantes fueron *Hedyosmun goudotianum* (60), *Palicourea garciae* (41) y *Viburnum undulatum* (31).

4. VALORACIÓN DEL FENÓMENO DE AFECTACIÓN SOBRE LOS PUNTOS DE AGUA LOCALIZADOS EN LA RESERVA

En la tabla 5 se reportan los caudales relacionados con los puntos de agua subterránea identificados en la Reserva. De los datos allí indicados, se deduce que el caudal con probabilidad de afectación oscila entre 1,00 l/s y 2,67 l/s, caudal medido en época de verano e invierno en los puntos AST-092 y AST-123 respectivamente.

Código	DHI	tipo	Caudal (l/s)	
			verano	invierno
AST 084	1	manantial	0,12	0,08
AST 085	1	manantial	0,48	0,57
AST 086	1	manantial	0,38	1,03
AST 087	1	manantial	0,11	0,89
AST 088	1	manantial	0,11	0,13
AST 089	1	manantial	0,15	1,47
AST 090	1	manantial	0,10	2,08
AST 091	1	manantial	0,01	0,54
AST-092	2	manantial	0,79	2,49
AST-123	2	manantial	0,21	0,18
Total			2,46	9,46

Tabla 5. Caudal medido durante los inventarios realizados en la Reserva Civil Montevivo considerando el escenario constructivo del túnel Santa Elena sin ningún tipo de tratamiento de impermeabilización de las zonas de falla y/o zonas de intensa fracturación a través de pre-inyecciones. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013.*

En la tabla 5 se reportan los caudales del punto crítico localizado sobre el curso de agua superficial que ha resultado con riesgo de afectación baja. El caudal fue medido en una estación de monitoreo cercana al punto SE-11, la cual hace parte de la red de monitoreo del Concesionario (estación 79C).

Cuenca	Punto crítico	DHI	Estación de medida del caudal	Medida del caudal en el curso de agua (l/s)			Zona de falla (PK aproximada)	A		B	
				máx.	med.	min.		min.	máx.	min.	máx.
Santa Elena	SE 11	2	79C	22,6	11	3,2	13+770	0,1	1	0,1	0,3

- A: Caudal previsto en los dos tubos en ausencia de pre-inyecciones, en correspondencia con la zona de falla/fracturadas (l/s)
- B: Caudal previsto en los dos tubos aplicando pre-inyecciones en correspondencia con la zona de falla/fracturadas (l/s)

Tabla 6. Punto crítico sobre curso de agua superficial localizado en la Reserva Civil Montevivo, con probabilidad de afectación baja, equivalente a un índice DHI igual a 2. El escenario de análisis con método DHI considera la construcción de dos tubos sin aplicación de pre-inyecciones. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013.*

En la siguiente tabla se reporta la valoración de la potencial pérdida de caudal, en el curso de agua superficial en el cual se sitúa el punto crítico, en el caso que ocurra el impacto evidenciado.

Cuenca	Punto crítico	DHI	Cuantificación del agua que permanecería en el curso de agua superficial identificado en la tabla 4. Escenario: 2 tubos sin pre-inyecciones (l/s)						Cuantificación del agua que permanecería en el curso de agua superficial identificado en la tabla 4. Escenario: 2 tubos con pre-inyecciones (l/s)					
			max		med		min		max		med		min	
Santa Elena	SE11	2	21,6	95,6%	10	91%	2,2	69%	22,3	98,7%	10,7	97%	2,9	91%

Tabla 7. Valoración del caudal que permanecería en el curso de agua superficial en el caso que ocurra el impacto evidenciado en la tabla No.4. El escenario de análisis con método DHI considera la construcción de dos tubos sin aplicación de pre-inyecciones. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013*

El caudal total de los cursos de agua presentes en la Reserva Civil Montevivo fue calculado con base en mediciones tomadas directamente sobre el terreno durante los inventarios realizados por la firma Geodata en correspondencia con los puntos ASP-036 y AP-037, tanto en verano como en invierno. Estos puntos se ubican en sectores que en su conjunto recogen el caudal drenado por los cursos de agua presentes en la Reserva. Los valores obtenidos durante las dos mediciones realizadas se reportan en la tabla 8.

Cuenca	Puntos de medida	Caudal Verano (l/s)	Caudal Invierno (l/s)
Santa Elena	ASP 036	11,6	17,3
	ASP 037	4,2	5,1
Total		15,8	22,4
Promedio		19,1	

Tabla 8. Valores de caudal mínimo, medio y máximo medido en los puntos de control ASP 036 y ASP 037 localizados sobre cursos de agua presentes en el extremo sur-occidental de la Reserva. *Fuente: Consorcio Geodata, 2013*

De los valores de caudal reportados en las tablas 5, 6 y 7 se deduce que considerando el escenario constructivo más desfavorable, el caudal promedio con probabilidad de afectación correspondiente al **curso de agua** localizado en el extremo suroccidental de la Reserva Civil Montevivo, es equivalente a 1 l/s, es decir, aproximadamente tan solo al 5% del total si se toma en cuenta el valor de caudal promedio relacionado con el agua superficial que drena la reserva, calculado en la tabla 6.

5. BREVE EXPLICACIÓN DEL MÉTODO DHI (DROWDAWN HAZARD INDEX)

La metodología de cálculo utilizada para este análisis llevado a cabo en Montevivo y para el resto del proyecto, es conocida como *Drawdown Hazard Index* (DHI, Dematteis et al., 2001, Torri & Dematteis, 2007¹), fue presentada en el congreso mundial de túneles organizado por AITES ITA 2001, celebrado en Milano-Italia, y provee una definición probabilística acerca de la ocurrencia del fenómeno de afectación de los recursos hídricos debido a la excavación de obras subterráneas.

En la literatura existente, el tema relacionado con la probabilidad de afectación de puntos de agua en superficie debido a la construcción específica de túneles es tratado generalmente mediante enfoques cualitativos y subjetivos o mediante la aplicación de modelos numéricos de flujo aplicados a casos específicos. El método DHI utilizado en el presente estudio complementario para valorar la probabilidad de afectación de las fuentes de aguas superficiales debido a la construcción del túnel Santa Elena, representa el único método, según el conocimiento de los autores, que permite obtener un resultado mediante un proceso estandarizado y verificable.

Por las razones antes expuestas se concluye que el método DHI aplicado en el presente estudio complementario del componente hidrogeológico, constituye el método idóneo para llevar a cabo la valoración de afectación aquí relacionada, dado que fue concebido específicamente para este fin y el mismo ha sido aplicado con éxito en estudios análogos realizados para diferentes túneles, como por ejemplo túnel del Perthuis (España-Francia), túnel Torino-Lyon (Italia-Francia), túnel Villardaine Bourget (Francia) y túnel Terzo Valico (Italia).

La metodología DHI (Drawdown Hazards Index), se basa en un enfoque multifactorial, verificando para cada punto de agua las siguientes variables:

1. Distance from the Tunnel (Distancia desde el túnel)
2. Permeability Channels (Intersección con zonas de falla o zona cárstica)
3. Water-point type (Tipo de punto de agua - circuito de agua)
4. Topographic Effect (Efecto topográfico)
5. Fracture Frequency (Frecuencia de la fracturación)
6. Rock Mass Permeability (Permeabilidad del macizo)
7. Overburden (Espesor de la cobertura)
8. Plastic Zone Radius (amplitud de la zona plástica alrededor del túnel)

¹ Dematteis, A., Kalamaras, G., Eusebio, A. (2001). "A systems approach for evaluating springs drawdown due to Tunnelling", AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, Milano, Italy 10-13 June, II, pp. 257-264.

Torri, R., Dematteis, A. (2007). "Drawdown hazard of springs and wells in Tunneling: predictive model and verification" Proc. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Lisbon 17-21 Sept. 2007, 10 pp.

De este modo, el sistema *acuífero - túnel* es analizado detalladamente por ocho (8) variables, que están relacionadas con el fenómeno de abatimiento del nivel freático y de la afectación de los manantiales y cursos de agua superficial. Entre estas ocho (8) variables, cuatro (4) de ellas se definen como variables fundamentales del sistema, y se refieren a las condiciones hidrogeológicas a cota del túnel en el tramo de proyección del punto de agua en superficie, y las cuatro (4) restantes son considerados como factores claves, y se relacionan con las características geométricas y geológicas que conectan el punto de agua en superficie con el túnel en profundidad.

Con el fin de realizar el cálculo del índice de la probabilidad de afectación de los puntos de agua (DHI), a cada punto de agua se le asigna un valor numérico para cada una de las variables antes descritas, valores que representan las condiciones hidrogeológicas típicas para aquel punto de agua en particular. La asignación del valor numérico de la variable obedece siempre al siguiente criterio: valores bajos para las condiciones de menor probabilidad de afectación y valores altos para aquella de mayor probabilidad.

El valor del índice DHI calculado para cada punto de agua indica la probabilidad de interferencia con la excavación de los túneles y en consecuencia la probabilidad que el punto de agua analizado se vea afectado por la obra subterránea. Los resultados son reportados sobre una base cartográfica de acuerdo al índice DHI, No. de clase, en diversos colores (Véase Figuras 1, 2 y 3).

Las clases posibles que prevé el método son tres:

Clase 1: Corresponde a una probabilidad de afectación despreciable

Clase 2: Corresponde a una probabilidad de afectación baja

Clase 3: Corresponde a una probabilidad de afectación media - alta

El valor de la clase resultante al aplicar la metodología DHI para un punto de agua subterránea, debe interpretarse como la probabilidad de ocurrencia de la afectación o impacto sobre este punto específico debido a la construcción del túnel. La literatura científica y la experiencia de los autores de la presente comunicación indican que, cuando sucede un impacto sobre un manantial es común que el caudal de este se pierda o migre. La cuantificación del caudal original se basa en mediciones directas hechas en campo a través de los inventarios que representan las condiciones de equilibrio antes que la obra sea construida.

6. PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL

La principal causa de la afectación de la cobertura vegetal son las actividades de deforestación y ampliación de la frontera agrícola; actividades que en el sector evaluado (Techo del túnel Santa Elena) no acontece por cuanto el túnel no interviene la cobertura, pues su concepción precisamente obvia los impactos sobre la cobertura vegetal natural, los cambios en el uso del suelo, la pérdida de la biodiversidad y la afectación de la calidad de vida de los pobladores², más aun teniendo en cuenta los resultados antes expuestos con relación al componente hídrico.

² IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS. EFECTOS POR LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE TUNELES. José Luis Hernández Michaca Julieta Pisanty Levy Víctor Manuel Sánchez Granados Marco Antonio Carreón Méndez Mauro Roldán Ortiz. Publicación Técnica No. 146 Sanfandila, Qro, 2000.

La obra propuesta no es incompatible con la zonificación establecida, es decir “zona de uso sostenible como espacios para adelantar actividades productivas y extractivas compatibles”, debido a que no se presentara intervención superficial de las coberturas existentes (aproximadamente de 2150 árboles de bosque natural fragmentado).



Figura 4. Bosque natural Fragmentado. Reserva Montevivo
Fuente: Syga Plyma, 2013.

7. CONCLUSION

Tomando en cuenta el escenario que prevé la construcción de dos tubos con tratamientos de impermeabilización a través de pre-inyecciones de las zonas de falla y/o zonas de intensa fracturación del macizo rocoso interceptado por el túnel, y aplicando el método DHI para la identificación de los puntos de agua con probabilidad de afectación, se concluye que:

Una vez alcanzado el objetivo de impermeabilización de 0,5l/s/100m de túnel, no se prevé impacto sobre el agua subterránea y cursos de agua superficial presentes en la zona de la Reserva Civil Montevivo, como tampoco alteraciones ecosistémicas a nivel de cobertura.

El método DHI prevé un riesgo máximo de afectación clase 3, que implica una probabilidad de media a alta de ocurrencia del fenómeno de afectación de los puntos de agua localizados en superficie. **Esta clase de probabilidad no se evidencio** ni en los puntos de agua subterránea ni en los cursos de agua superficial identificados en la Reserva Civil de Montevivo bajo ninguno de los dos escenarios constructivos analizados, es decir, con y sin pre-inyecciones.

Tomando en cuenta el escenario más desfavorable para el acuífero superficial presente en el área de influencia del túnel Santa Elena, es decir, la construcción de dos tubos sin considerar la aplicación de tratamientos de impermeabilización a través de pre-inyecciones de las zonas de falla y/o zonas de intensa fracturación del macizo rocoso interceptado por el túnel, y aplicando el método DHI para la identificación de los puntos de agua con probabilidad de afectación, resulta lo siguiente:

- De los diez (10) puntos de agua subterránea identificados en la Reserva Civil Montevivo, en ocho (8) de ellos no se prevé afectación (clase de DHI igual a 1), mientras que en los dos (2) restantes se prevé una probabilidad de afectación baja (clase DHI igual a 2).

- El caudal sujeto a riesgo relacionado con los dos puntos de agua subterránea con probabilidad de afectación, oscila entre 1,0 l/s y 2,67 l/s, caudal medido en época de verano e invierno en los puntos AST-092 y AST-123 respectivamente.
- En relación con los cursos de agua superficial, se identificó un punto crítico localizado en el curso de agua que intercepta el límite sur-occidental de la Reserva, al cual ha resultado con una probabilidad de afectación baja (clase DHI igual a 2).
- El caudal sujeto a riesgo en el curso de agua con probabilidad de afectación baja, equivale aproximadamente al 5% del total de agua superficial que drena la reserva.

Durante la fase constructiva se debe prestar especial atención al tratamiento de impermeabilización a través de pre-inyecciones aplicado a las fallas geológicas y/o zonas fracturadas localizadas entre las progresivas aproximadas PK12+750 a PK12+800 y PK13+740 a PK13+800, garantizando que en estos sectores específicos y tramos intermedios el caudal máximo de infiltración no sea mayor a 0,5 l/s/100 m de túnel.

Se recomienda continuar el monitoreo sobre los puntos de agua identificados en la Reserva Civil Montevivo, antes y durante la construcción del túnel Santa Elena, así como durante el primer año de la fase operativa. Los parámetros a monitorear mensualmente son caudal y parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica del agua, temperatura y pH). A los puntos ya identificados y relacionados en las tablas del presente documento, se les debe agregar un punto de monitoreo y localizarlo aguas abajo del punto SE-11 (Ver Figura 2), con el objeto de obtener un cierre hidráulico sobre el agua superficial que drena la Reserva.
