

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Tucumán
Escuela de Posgrado

Especialización en Ingeniería Ambiental

**ANÁLISIS DE RIESGO AMBIENTAL DE LA
CUENCA DEL RÍO MUERTO. DEPARTAMENTO
DE YERBA BUENA. PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REPÚBLICA ARGENTINA**

Ing. Sergio Esteban Singh Romero

Trabajo Final Integrador para optar al Grado Académico Superior
de Especialista en Ingeniería Ambiental

Director: Dr. Rubén I. Fernández

San Miguel de Tucumán

Año 2020

RESUMEN

El Río Muerto constituye una cuenca elongada con rumbo aproximadamente meridional, desarrollada en los departamentos de Yerba Buena y Tafí Viejo. Se sitúa en el centro de la provincia, aproximadamente 11 km al oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, y forma parte de la cuenca endorreica del Salí-Dulce. La zona de estudios se sitúa, desde el punto de vista geomorfológico, en la región pedemontana, con un elevado riesgo, tanto de inundaciones como de remoción en masa.

El Río Muerto posee una cuenca imbrífera de aproximadamente 43 km², que se origina en la vertiente oriental de la Sierra de San Javier y se extiende en dirección NW-SE (rumbo casi meridional). El curso tiene características de torrente, es decir con material clástico abundante, del tamaño de bloque al de grava, y la dinámica de crecidas repentinas y rápidas con un gran movimiento de su carga de fondo, y un apreciable aporte de sedimentos (Fernández 2013). También es de destacar que la cuenca de aporte del cauce principal tiene una marcada elongación, es decir es muy estrecha en cuanto a su desarrollo lateral y una relativa gran extensión lineal del cauce principal que termina (canalizado aguas abajo) perdiéndose en el denominado “Canal Yerba Buena” (Martensen,2010). Este canal, a su vez, desemboca en el Canal Sur, el cual confluye, finalmente en el Río Salí.

Los antiguos desbordes de Río Muerto sumados a los actuales desbordes del Canal Yerba Buena sobre zonas suburbanas y los de Canal Sur configuran el actual escenario de riesgo hídrico existente. Estos desbordes han costado vidas humanas y pérdidas sobre bienes y áreas productivas. Por otra parte, la conjunción de altas velocidades y un importante volumen de transporte sólido han llevado al colapso total varias obras públicas en gran parte de su recorrido (Fernández, 2015).

El presente trabajo propone una metodología de diagnóstico ambiental, a través del Análisis de Riesgos, donde se analizarán y valorizarán de manera cualitativa y en base a información provista, los riesgos ambientales existentes en la actualidad en la cuenca del Río Muerto, departamento Yerba Buena, provincia de Tucumán.

El enfoque metodológico apropiado permitirá valorar los riesgos ambientales y la fragilidad producida por acciones antrópicas como la extracción de áridos y los avances de las urbanizaciones en la cuenca media e inferior del Río Muerto. Dichos riesgos son el resultado de una morfogénesis antrópica de la red hídrica a lo largo de los años, producida básicamente por la extracción de áridos, y de la alteración del cauce y su vegetación riparia en algunos sectores,

en el entorno inmediato al área urbanizada. Se busca entonces poner en evidencia la fragilidad del paisaje, tanto rural como urbano.

PALABRAS CLAVES: Análisis de Riesgo Ambiental – Riesgos naturales – Índice de Riesgo Natural – Metodología “Qué pasa si..?”

INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue realizado a partir de datos e información recopilada sobre el Análisis de Riesgo Ambiental (A.R.A.) ya realizado para la Cuenca del Río Muerto.

No obstante, los dos métodos utilizados para el análisis del presente trabajo aún no han sido empleados en trabajos anteriores para la realización del A.R.A. en la cuenca en cuestión.

Para analizar los riesgos ambientales se utilizó, por un lado, el método de Aguirre Murúa (2005) modificado por Fernández (2007) y Fernández (2015) y López (2015) con el cual sólo se estimaron riesgos naturales y, por el otro, se empleó la metodología “Qué pasa si..?” a través de la cual se hicieron preguntas sobre los riesgos o consecuencias de ciertas causas naturales o antrópicas, y las propuestas que eliminan las causas por un lado, y que reducen sus consecuencias por otro.

Luego de realizar el A.R.A. a partir del índice de Riesgo Natural se llegó a la conclusión de que el mayor riesgo originado por causas naturales (precipitaciones, erosión, inestabilidad del terreno, incendios forestales, etc.) tiene lugar en el tramo que se encuentra aguas abajo del puente carretero de la R.P. Nº338 y los diques artificiales de acceso al Country Las Yungas. Por su parte, los sectores de menor riesgo natural son aquellos de la cuenca alta del río, zona alejada de las urbanizaciones y escasamente antropizada.

Por su parte, del análisis realizado por la metodología “Qué pasa si...?” se desprende la necesidad de ejecutar ciertas obras civiles de defensa en la margen izquierda, así como del mantenimiento y limpieza del tramo canalizado (Canal Yerba Buena) y de los diques derivadores existentes. Asimismo, se deduce la importancia de reducir el vertido de residuos sólidos urbanos.

Todos los aspectos mencionados tienen estrecha relación con el riesgo de inundaciones en la cuenca baja, debido a lo cual se establecieron ciertas propuestas de gestión para la cuenca de cara al futuro. Entre las mismas se destacan la creación de un Comité de Cuenca, la reforestación en las zonas de ribera, la restauración del ecosistema y vegetación riparia, y el mantenimiento periódico y programado de las obras de canalización y atenuación de crecidas.

Índice

1. INTRODUCCIÓN Y FISIOGRAFÍA.....	1
2. GEOLOGÍA.....	3
3. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA.....	5
4. MARCO CONCEPTUAL.....	6
4.1 Riesgo y Análisis de Riesgo Ambiental (ARA).....	6
4.2 Tipos de riesgos ambientales.....	6
4.2.1 Clasificación de los riesgos naturales.....	8
4.2.2 Clasificación de los riesgos tecnológicos.....	9
4.3 Peligro, incertidumbre y variabilidad.....	9
4.4 Métodos para el análisis y evaluación de riesgos ambientales.....	10
4.4.1 Metodología “Qué pasa si...?”	11
4.4.2 Índice de riesgo natural, tecnológico y global.....	11
4.4.2.1 Metodología operativa.....	12
4.4.2.2 Valoración de los riesgos tecnológicos.....	13
4.4.2.3 Valoración de los riesgos naturales.....	14
4.4.2.4 Riesgo global.....	15
4.4.2.5 Fuentes de información y recomendaciones para la aplicación de la metodología.....	16
5. FUNDAMENTACIÓN Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	19
5.1 Antecedentes.....	21
6. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS.....	28
6.1 Objetivos generales.....	28
6.2 Objetivos específicos.....	28
7. ANÁLISIS DE RIESGO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO MUERTO.....	28
7.1 Análisis por la metodología “Qué pasa si...?”	29
7.2 Análisis por índice de riesgo.....	31
8. CONCLUSIONES.....	32
9. PROPUESTAS DE GESTION AMBIENTAL PARA LA CUENCA.....	33

10. BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXO I.....	39

1. INTRODUCCIÓN Y FISIOGRAFÍA

El Río Muerto, forma una elongada cuenca de rumbo casi meridional que se desarrolla sobre la ladera oriental de la sierra de San Javier. Nace con el nombre de Arroyo Las Cañas y toma el de Muerto, cuando se encuentra con el Arroyo Las Conchas. Geográficamente se desarrolla entre los 26° 77' y 26° 78' de latitud sur y 65° 55' y 65° 57' de longitud oeste de Greenwich (Ortiz, 1978, Fernández, 2013b) (Figuras N°1 y N°2).

Fitogeográficamente el área estudiada pertenece a la Provincia de las Yungas, con sectores correspondientes al Chaco serrano en el Sector norte de la cuenca. En el pasado, distintos usos antrópicos han tenido fuerte influencia sobre la vegetación, ya que, en la mayor parte de la sierra de San Javier, el pastoreo se desarrolló en el interior del bosque sin eliminar la cobertura arbórea, pero influyendo en la estructura y dinámica de la vegetación. En las nacientes de la cuenca estudiada (mayoría de zonas boscosas) se realizó explotación forestal selectiva, principalmente de especies maderable más valiosas como cedro (*Cedrela lilloi*), nogal (*Juglans australis*) y lapacho (*Tabebuia impetiginosa*), (Grau et al., 2010).

El Río Muerto y todos sus afluentes descargan en el canal Yerba Buena. Este a su vez es uno de los afluentes del Canal Sur, que finalmente descarga en el Río Salí.

El Canal Sur, hasta el punto de empalme con el Canal Yerba Buena, cambia su condición hidráulica (de canal de cintura o periférico) para transformarse en un canal urbano, con una fuerte presión de infraestructura (Fernández, 2013b).

Las vías de acceso a la cuenca del Río Muerto son: Desde el Este, la Avenida Aconquija, que luego pasa a ser Ruta Provincial No 338 y por caminos privados –entre ellos el de la Finca Horco Molle (Parque Sierra de San Javier-Área protegida) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT).

La pendiente media del cauce principal del río es de aproximadamente el 15%. En la cuenca alta, es decir en el sector de vertientes, la pendiente adquiere valores del orden del 40%, que descienden bruscamente aguas abajo, en la zona pedemontana, hasta el 4% que existe en la zona donde el cauce se encuentra canalizado. La naturaleza torrencial del río hace que, en la zona del pie de monte, el material clástico sea depositado de manera irregular y desordenada, colmatando progresivamente los lechos y dando lugar a ensanchamientos laterales cuyos excedentes son objeto de la explotación minera (Fernández, 2013).



Figura Nº2: Cuenca del Río Muerto. Extraída de Google Earth 2019.

2. GEOLOGÍA

La Sierra de San Javier pertenece a la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Septentrionales (Toselli y Rossi de Toselli, 1998). Es un bloque montañoso cuyo núcleo está constituido por un basamento metamórfico de edad precámbrica superior – cámbrica inferior. Esa unidad rocosa denominada Formación San Javier (Toselli et al., 1975), está representada por pizarras de grano fino, grises, verdosas y azuladas, inyectadas por lentes y venas de cuarzo y bancos micáceos. También se encuentran filitas, metagrauvas y cuarcitas, observándose en algunos lugares una marcada estratificación rítmica de niveles psamíticos y pelíticos. Por su litología presenta una moderada permeabilidad secundaria (debido a la marcada deformación fracturación y diaclasamiento) y por su pendiente un elevado escurrimiento superficial (García et al., 2014) (Cuadro Nº1).

El Mesozoico (Cretácico Superior) representado en la zona por la Formación El Cadillal (Bossi, 1969), se asienta en discordancia angular sobre la unidad anterior y se reconoce en la Quebrada de las Conchas, paralela a las vías del Funicular, casi a mitad de su recorrido (Fig.3). Se trata de areniscas rojas y rosadas, y grano mediano a grueso. Incluyen lentes y delgados bancos de conglomerados rojizos con rodados de rocas graníticas, filitas y cuarcitas de hasta 15 cm de diámetro. Anteriormente Ortiz (1978) las había denominado Formación Río Loro, pero fueron reasignadas a la Formación El Cadillal, por Sesma et al. (2010). Predomina cemento ferruginoso y en menor medida argilo-calcáreo (Ortiz, 1978; Fernández, 2013b). Son

sedimentos compactos de baja permeabilidad, pero su distribución estructural con buzamientos de más de 50° al este, facilita la circulación del agua por los planos de estratificación y de diaclasamiento (Tineo et al. 1998, Fernández, 2013b). (Cuadro N°1).

Los sedimentos del Neógeno (Plioceno), están representados por la Formación Río Salí (Ruiz Huidobro, 1960, Ortiz, 1978); se encuentran principalmente en las Lomas de Imbaud (margen izquierda del Río Muerto) y en pequeños retazos sobre el faldeo oriental de la sierra de San Javier (Cuadro N°1). Ortiz (1978), y Fernández (2013b) describen en el núcleo de las Lomas de Imbaud, un paquete de 70 m de espesor constituido por bancos limo arenosos de color pardo rojizos, con intercalaciones de areniscas grises y cenizas volcánicas. Son sedimentitas con baja permeabilidad debido al predominio de sedimentos pelíticos y portadoras de sales solubles (Tineo et al. 1998).

El Cuaternario (Pleistoceno superior), representado por la Formación Tucumán, fue definido por Bonaparte y Bobovnikov (1974) al este de la cuenca estudiada. Son sedimentos finos integrados por loess de color ligeramente rojizo a pardo amarillento, con intercalaciones de arenas gruesas, gravas, arcillas y niveles cineríticos. La cobertura cuaternaria presenta una distribución muy importante en el área de estudio y su mayor desarrollo se presenta hacia la zona pedemontana. Caracteriza a estos depósitos el alto grado de erosión que los afecta, originando cárcavamientos de diferente intensidad (Fernández, 2013b, 2015) (Cuadro N°1).

Los depósitos Cuaternarios del Holoceno, tienen gran variación de espesor y litología, provienen de la destrucción de rocas metamórficas de la sierra; y con material grueso predominante, elevada permeabilidad, e intercalados con limos loésicos.

Se distinguen de abajo hacia arriba: a) Bloques, gravas y arenas gruesas depositados por abanicos aluviales, terrazas fluviales y paleocauces (Cuadro N°1).

b) Gravas, arenas y limos fluviales (corresponden a los rellenos de cauces actuales). Los materiales arenosos del Cuaternario son muy permeables cerca de la sierra y disminuyen su granulometría y permeabilidad hacia la llanura. (Tineo et al. 1998).

Era	Periodo	Época	Unidad		Litología
CENOZOICO	Cuaternario (1,8 m.a. al presente)	Holoceno	No definido		Limos loésicos Gravas, arenas y limos fluviales
			No definido		Bloques, gravas y arenas gruesas
		Pleistoceno superior	Formación Tucumán		Limos rojos superiores con cineritas, areniscas y limolitas
	Neógeno (65 a 1,8 m.a.)	Mioceno medio-superior	Grupo Choromoro Subgrupo Carahuasi	Formación Río Salí	Techo: limolitas pardo rojizas y verdes con tobas blancas y areniscas Medio: limolitas rojas y verdes laminadas con yeso concrecional Base: limolitas y arcillitas margosas amarillentas y verdes estratificadas
MESOZOICO	Cretácico (145 a 65 m.a.)	Inferior	Formación El Cadillal		Areniscas conglomerádicas y tobas, de color rojo ladrillo y pardo rojizas
PALEOZOICO PROTEROZOICO	Cámbrico Precámbrico (+ de 510 m.a.)	Inferior superior	Formación San Javier		Pizarras grises, verdosas y azuladas, venas de cuarzo y bancos micáceos, filitas, cuarcitas y metagrauvas

Cuadro N°1: Estratigrafía de la cuenca del Río Muerto. *Extraído de Sesma et al. (2010).*

3. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA

Se distinguen para la cuenca dos geoformas principales: a) Terrazas fluviales: que corresponden con antiguos episodios de erosión-sedimentación. El Río Muerto con una dinámica muy significativa, ha desarrollado con el tiempo dos niveles de terrazas fluviales; siendo las de la margen derecha las mejor desarrolladas. Las que se encuentran al pie de la sierra son progresivamente modificadas, dada la existencia de ríos temporarios de gran torrencialidad (Arroyos Las Conchas y Frontino) en los meses húmedos. En este sector, a consecuencia de materiales muy friables, son importantes las incisiones causadas por esos cauces, encontrándose terrazas con potencias que varían entre 4 y 10 metros (Sesma et al., 2010, Fernández, 2013b y 2015). b) Cauces fluviales actuales: Presentan una orientación predominante oeste-este. Son de régimen temporario, torrenciales en épocas estivales, y su diseño de drenaje es subparalelo a subdendrítico en este sector de la ladera. Se caracterizan por su alta capacidad erosiva durante intensas precipitaciones, porque aumentan su carga sólida y su velocidad, lo que genera una avulsión (desborde) del cauce de inundación de las zonas colindantes en el pedemonte (Sesma et al., 2010, Fernández, 2013b, 2015).

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 Riesgo y Análisis de Riesgo Ambiental (ARA)

En la literatura científica, la palabra riesgo se emplea para hacer referencia a la medición de la posibilidad de un resultado o a una medida o magnitud de ese resultado, o a ambas cosas.

Con el transcurso del tiempo, la definición de riesgo fue mutando o evolucionando. A continuación, se enuncian algunas definiciones:

- *“Riesgo es la probabilidad de que ocurra cierto resultado, multiplicado por las consecuencias, o el nivel de impacto de dicho resultado si ocurriera” (Keller y Blodget, 2007).*
- *“Riesgo es la probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas” (USEPA, 2001).*
- El riesgo es de carácter multidimensional e incluye al menos dos aspectos: i) la posibilidad de un evento no deseable; ii) la incertidumbre sobre la ocurrencia, ocasión y magnitud de ese evento (Olcina Cantos, 2008).

A modo de síntesis se puede afirmar que el Análisis de Riesgo Ambiental (A.R.A.) es una evaluación de la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso, y de la magnitud de su impacto, si ocurriera. En los últimos tiempos el A.R.A ha representado una valiosa herramienta para la toma de decisiones en torno a cuestiones ambientales por parte de organismos e instituciones. Para ello, los responsables intervinientes en el A.R.A deben enfrentarse a la incertidumbre y a la información acotada. Así, las decisiones finales que se toman afectan sustancialmente a muchas personas, en beneficio o en perjuicio de estas (Orellana, 2018)

4.2 Tipos de riesgos ambientales

En el ámbito del Análisis de Riesgo Ambiental se definen 3 (tres) tipos de riesgos que deben evaluarse y considerarse según sea el caso:

Riesgos naturales (R.N.): Son aquellos fenómenos extremos del medio físico que resultan perjudiciales para el hombre, bien por constituir un peligro para su integridad física, bien por los perjuicios económicos capaces de generar. Estos riesgos pueden, en algunos casos, ser acelerados o intensificados por la interacción entre los usos del territorio y el propio sistema natural (González Amuchástegui, 2002).

Riesgos tecnológicos (R.T.): Se definen como “derivados del funcionamiento del aparato productivo, especialmente los que se refieren a la utilización de sustancias peligrosas y sistemas técnicos capaces de causar, mediante accidentes, daños a la población o al medio” (Consejería de Obras Públicas y Transporte, 1999).

Riesgos sanitarios (R.S.): Estos son el resultado de la vinculación entre los dos anteriores y su relación con respecto a la salud y calidad de vida de las personas. Para el caso del presente trabajo no se analizaron estos riesgos al no presentarse situaciones que puedan enmarcarse en los riesgos sanitarios (López y Fernández, 2015).

Históricamente, los riesgos naturales, ya sea originados por la naturaleza misma o por acciones antrópicas, fueron responsables de las grandes catástrofes que ocasionaron importantes pérdidas humanas y económicas. Con el correr de los años, se incluyeron los riesgos tecnológicos, igualmente destructivos que aquellos de índole natural (Aguirre Murúa, 2005). Luego, en algunos casos de análisis surgió la necesidad de incluir otros riesgos, a los que López (2015) y Fernández (2015) denominaron riesgos sanitarios.

El riesgo natural se puede sintetizar de la siguiente manera:

$$RIESGO NATURAL = PELIGROSIDAD \times VULNERABILIDAD$$

La peligrosidad se refiere a la probabilidad de que tenga lugar, y con consecuencias negativas, un fenómeno natural de cierta extensión, intensidad y duración. Se relaciona con la ocurrencia real y constatable del evento perjudicial en los últimos años.

La vulnerabilidad hace referencia al impacto que tiene el evento sobre la población, e incluye desde el uso del territorio hasta los efectos sobre estructuras civiles y construcciones. La valoración de la vulnerabilidad está sujeta a la respuesta que pueda tener la sociedad ante el riesgo, y será función del tamaño de la población, del número y tipo de elementos del medio natural o infraestructuras que podrían verse afectadas en caso de producirse el evento o fenómeno (Aguirre Murúa, 2005).

Por su parte, las consecuencias son los daños generados por los riesgos naturales y pueden ser directas o indirectas. Las primeras serían personas, bienes, agricultura y ganadería, patrimonio cultural, infraestructura, etc.; las segundas se refieren a interrupción de obras o sistemas de producción, perjuicios al turismo, etc.

Con el objeto de otorgar más realismo a la estimación del riesgo, en los últimos tiempos se ha incorporado la capacidad de respuesta de la población ante el evento o fenómeno adverso. De esta manera, a veces esta capacidad se valoriza numéricamente y se resta al producto peligrosidad x vulnerabilidad:

$$RIESGO NATURAL = (PELIGROSIDAD \times VULNERABILIDAD) - CAPACIDAD DE RESPUESTA$$

4.2.1 Clasificación de los riesgos naturales (Keller y Blodget, 2007):

- Meteorológicos/climáticos: Se distinguen entre:
 - i) Aquellos exclusivamente relacionados con condiciones climáticas, tales como temporales de viento, olas de frío o calor, tornados y huracanes, granizo, nevadas extraordinarias, tempestades eléctricas, etc.
 - ii) Aquellos donde intervienen otros factores ya sea naturales o antrópicos, tales como aludes (geología o meteorología), inundaciones (meteorología, hidrología), deslizamientos de laderas vinculados a lluvias (geología, meteorología), incendios forestales, sequías, etc.
 - iii) Riesgos de origen no atmosférico como ser las erupciones volcánicas o la gran contaminación atmosférica (no natural). Estas representan un caso límite entre los riesgos naturales y tecnológicos.
- Geofísicos: Terremotos, volcanes, subsidencias, movimiento de tierras, caída de rocas, aludes, problemas costeros, etc.

- Biológicos: Plagas, pestes, epidemias, pandemias, etc.

- Antropogénicos

- Mixtos

4.2.2 Clasificación de los riesgos tecnológicos (Aguirre Murúa, 2005):

Los riesgos tecnológicos pueden ser riesgos industriales graves o bien riesgos por sustancias químicas

- Riesgos industriales graves: Pueden clasificarse según su origen en errores humanos, fallas eléctricas, fallas mecánicas, riesgos químicos, riesgos radioactivos, transporte, etc.; o según la naturaleza de las causas en factores ambientales, diseño, fabricación, ensamble, operación, actos mal intencionados, etc.

- Riesgos por sustancias químicas: Ciertas sustancias pueden ocasionar efectos negativos sobre la salud humana, tales como náuseas, pérdida de apetito, vértigo, dolor de cabeza, muerte inmediata, daños genéticos, nacimientos con anomalías, cáncer, etc.

4.3 Peligro, incertidumbre y variabilidad (Orellana, 2018)

En el ámbito del A.R.A. el concepto de peligro se define como todo evento, situación, agente o elemento que posee el potencial de ocasionar consecuencias no deseadas o efectos adversos. Según North (1995) el A.R. comprende las siguientes fases:

- i) Identificación, donde se detectan e incorporan los potenciales eventos, elementos, agentes o situaciones adversos.

- ii) Evaluación, implica un proceso a través del cual se estima, de manera objetiva, la probabilidad de ocurrencia de los elementos adversos.

- iii) Manejo o gestión, consistente en la implementación de medidas tendientes a morigerar el riesgo hasta niveles aceptables.
- iv) Comunicación, es decir informar sobre el A.R.A y sus resultados a quienes deban tomar decisiones, y también al público en general.

Por su parte, son de interés los conceptos de incertidumbre y variabilidad. La primera es la falta de conocimiento o certeza que se tiene de los factores que inciden en el riesgo; la segunda surge a raíz de la heterogeneidad que poseen los elementos involucrados al riesgo (personas, momentos, lugares). De lo antedicho se desprende que la incertidumbre puede conducir a estimaciones imprecisas o poco confiables del riesgo, mientras que la variabilidad incide sobre el grado de generalidad que puede otorgarse a una estimación del riesgo de modo que, por ejemplo, es posible identificar los subgrupos que representan los mayores riesgos. La incertidumbre permite justificar la necesidad de políticas de recolección de datos o líneas de investigación para incrementar la precisión y realizar afirmaciones más categóricas. Resumiendo, la variabilidad es posible de medir, pero casi nunca se puede reducir, mientras que la incertidumbre es difícil de medir, pero posible de reducir a partir de un mayor conocimiento del sistema y de mayores datos (Aguirre Murúa, 2005).

El estudio de los riesgos debe perseguir, por un lado, dar respuesta técnica a la sociedad actual que demanda información sobre los riesgos a los que se ve sometida y, por otra parte, contribuir con un fundamento científico técnico a su protección (a través de medidas correctoras, de prevención, planes de emergencia, etc.) frente a las amenazas potenciales derivadas del uso de un ámbito concreto (Aguirre Murúa, 2005).

4.4 Métodos para el análisis y evaluación de riesgos ambientales

El Análisis del Riesgo hace referencia al estudio de un contexto o medio complejo, diverso y heterogéneo, de sus elementos componentes y de las relaciones existentes entre estos. Todo ello requiere del conocimiento de los principios y de dichos elementos (Orellana, 2018).

El propósito del A.R.A es identificar los posibles resultados de decisiones. De esta manera en el A.R.A no se contempla la cuantificación del riesgo, es decir, los cálculos que arrojan valores numéricos para valorizar un riesgo dado. Esta cuantificación se realiza en los estudios de *evaluación* de riesgos ambientales (E.R.A.). Los principales objetivos de la evaluación o

cuantificación de riesgos son, por un lado, la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable y el tamaño de los posibles resultados y, por el otro, la evaluación de los cursos de acción alternativos (Orellana, 2018).

Entre los métodos más comúnmente empleados para el A.R.A se destacan:

- a) Análisis Preliminar de Riesgos (A.P.R.)
- b) Listas de Verificación (Check-List)
- c) Qué pasa si...? (What if...)
- d) HAZOP (Hazard Operation)
- e) Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMFE o FMEA)

Para poder valorizar, es decir, cuantificar los riesgos se han establecido en todo el mundo el cálculo de índices entre los que se destacan:

- 1) Índice Dow
- 2) Índice Mond
- 3) Árbol de fallas/eventos (árbol lógico)
- 4) Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (A.M.F.E.C.)
- 5) Índices de riesgo natural, tecnológico y global (ambiental)
- 6) Índices biológicos (Q.B.R.)
- 7) Índices hidrogeomorfológicos (I.H.G.)

En el siguiente apartado se describen los dos métodos utilizados en el presente trabajo para el A.R.A. de la cuenca del Río Muerto.

4.4.1 Metodología “Qué pasa si...?”

A través de esta metodología, el análisis se elabora mediante un equipo de profesionales, quienes plantean una lluvia de ideas basadas en sus conocimientos previos. En función de aquella, formulan las preguntas acerca de los riesgos ambientales. (SST ASESORES - <http://www.sstasesores.pe>).

4.4.2 Índice de riesgo natural, tecnológico y global

Se trata de la metodología de la C.E.E. de Aguirre Murúa (2005), modificado por Fernández (2007) y Fernández y López (2015), y representa una herramienta sistemática que permite cuantificar los riesgos más significativos en la zona de estudio. Tal como se analizó más arriba, el concepto de riesgo implica un abanico de definiciones de acuerdo con cada autor, no

obstante, todos estos confluyen en que aquél se define como un suceso potencial que posee el carácter de extremo e imprevisible, por un lado, y que implica sustanciales consecuencias ambientales, sociales y económicas, por el otro.

Con esta metodología se valoran solo los riesgos considerados más significativos teniendo en cuenta el perjuicio económico del daño, así como la pérdida de vidas humanas.

El objetivo de la presente metodología es obtener el llamado *índice de riesgo*, a través de una expresión sencilla, el cual representa o valora un riesgo determinado de manera cuantitativa.

De este modo, es posible obtener un indicador que sirva de guía o referencia en aquellas fases previas a la toma de decisiones de diversa índole, por ejemplo, para comenzar a definir el proceso de ordenamiento territorial de un área determinada, o para analizar la factibilidad de emplazamiento de una determinada actividad en cierta zona.

Se considera, por un lado, los *riesgos potenciales* derivados de la presencia o no de ciertos elementos o circunstancias desencadenantes de daños a personas o bienes. Por otro lado, se contempla una *corrección del riesgo potencial a la realidad*, a través de los *factores de peligrosidad (N_1)* y *vulnerabilidad (N_2)*. Los riesgos potenciales se calculan a partir del análisis de las diferentes fuentes analizadas.

Los conceptos de peligrosidad y vulnerabilidad ya fueron expresados más arriba, no obstante, se repasan a continuación:

- La vulnerabilidad se cuantifica en función del tamaño de la población, y del número y tipo de elementos del medio natural o de infraestructuras que pudieran afectarse en el caso que tenga lugar un evento extremo.
- La peligrosidad es una medida de la probabilidad y se relaciona con la ocurrencia real y constatable del evento perjudicial o catastrófico en los últimos años. Cuando no se tiene constancia de la ocurrencia de cierto evento de riesgo, el coeficiente N_1 se adopta igual a la unidad.

Los riesgos se consideran independientemente, según se trate de riesgos naturales o de riesgos tecnológicos. La definición de estos ya se comentó más arriba. Por su parte, no se considera el comportamiento y características de la población que habita o se relaciona con el medio donde se analizan los riesgos, aspecto difícil de valorar y que puede significar un atenuante o agravante del riesgo, según la situación (Aguirre Murúa, 2005).

4.4.2.1 Metodología operativa

El cálculo se hace de manera independiente, según se trate de riesgos naturales o de riesgos tecnológicos, para cada unidad homogénea de territorio.

En ambos tipos de riesgo existe un incremento del valor numérico que lo representa (definido por los coeficientes N_1 y N_2) siempre que se tenga constancia de la ocurrencia de un suceso catastrófico en los últimos años, dentro de la unidad territorial considerada.

Para poder estimar el valor de N_1 y N_2 se debe considerar la bibliografía disponible e información de prensa, el contacto con técnicos, especialistas, o incluso con los habitantes de la zona considerada que tengan conocimiento acabado acerca de los fenómenos catastróficos del pasado (Aguirre Murúa, 2005).

Una hipótesis del método es el hecho de que cada unidad considerada se toma como homogénea, lo cual significa que el riesgo calculado afecta por igual a toda su superficie. No obstante, en algunos casos en los cuales se presentan riesgos especialmente relevantes, es posible subdividir alguna unidad, en áreas menores que requieran especial protección o restricción (Fernández y López, 2015).

4.4.2.2 Valoración de los riesgos tecnológicos (Cuadro N°2)

El cálculo del riesgo tecnológico “i” se realiza aplicando la siguiente expresión:

$$I.R.T._i = \sum_{i=1}^n [(P_i \times V_i) + (N_{i,1} \times N_{i,2})]$$

Donde:

n es el número de riesgos tecnológicos considerados en el análisis.

P_i es el peso (importancia) asignado dentro del análisis, al riesgo tecnológico “i” considerado.

V_i es el valor asignado según cuál sea la situación en la que tiene lugar el riesgo tecnológico “i” considerado.

$N_{i,1}$ es el factor de peligrosidad del riesgo tecnológico “i” considerado.

$N_{i,2}$ es el factor de vulnerabilidad del riesgo tecnológico “i” considerado.

La expresión anterior debe aplicarse para cada uno de los riesgos tecnológicos considerados en el área de estudio. Una vez realizado esto, el índice de riesgo tecnológico total, I.R.T., se calcula como la suma de los “n” índices de riesgo parciales.

Los cálculos anteriores se sintetizan en el Cuadro N°1, el cual es un cuadro tipo, realizado por los autores de la metodología, y que refleja los riesgos tecnológicos más comunes que se consideran. Para cada análisis particular, no necesariamente se presentarán todos, sino sólo

algunos o incluso otros riesgos no contemplados por los autores y que, a juicio de quien lo aplica, sea necesario considerar. De la misma manera, las opciones consideradas para las columnas “VALOR” y “FRECUENCIA” no necesariamente deben ser las reflejadas en el cuadro 1, y también estarán sujetas al análisis particular y a la experiencia de quien aplique el método. Una vez calculado el I.R.T. a partir de los “n” I. R. T._i, se emplea la tabla 1 (y cuadro 2) para incluir el riesgo obtenido cuantitativamente, dentro de una de las categorías mostradas en la tabla, según el valor calculado. (Aguirre Murúa, 2005, Fernández y López, 2015).

CLASES DE RIESGO TECNOLÓGICO

Valoración	Clase de riesgo
0-20	Bajo
21-41	Medio
42-62	Medio-Alto
63-83	Alto
> 83	Extremo

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº2: Categorización del riesgo tecnológico. Extraído de Aguirre Murúa, 2005.

4.4.2.3 Valoración de los riesgos naturales (Cuadro N° 3)

De la misma manera que para el caso del I. R. T. _i, el cálculo del riesgo natural “i” se realiza a través de la siguiente expresión:

$$I.R.N._i = \sum_{i=1}^n [(P_i \times V_i) + (N_{i,1} \times N_{i,2})]$$

Donde:

n es el número de riesgos naturales considerados en el análisis.

P_i es el peso (importancia) asignado dentro del análisis, al riesgo natural “i” considerado.

V_i es el valor asignado según cuál sea la situación en la que tiene lugar el riesgo natural “i” considerado.

N_{i,1} es el factor de peligrosidad del riesgo natural “i” considerado.

N_{i,2} es el factor de vulnerabilidad del riesgo natural “i” considerado.

El procedimiento para el cálculo del I.R.N a partir de los “n” I.R.N._i es el mismo que para el caso del I.R.T., pero empleando el cuadro 3 y la tabla 2. De la misma manera, dicho cuadro será adaptado para cada A.R.A que se realice.

CLASES DE RIESGO NATURAL

Valoración	Clase de riesgo
0-15	Bajo
16-31	Medio
32-47	Medio-Alto
48-63	Alto
> 63	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°3: Categorización del riesgo natural. *Extraído de Aguirre Murúa, 2005*

4.4.2.4 Riesgo global (Cuadro N° 4)

Una vez obtenida la categoría o clase de riesgo tecnológico y natural para la unidad territorial estudiada, se emplea la tabla 3 de doble entrada, con la cual se obtiene la clase o categoría de riesgo global, según la zona dentro de la cuadrícula en donde se encuentra la celda del análisis realizado. Así, el riesgo podrá ser “bajo”, “moderado”, “significativo”, “elevado” o “muy elevado”. (Aguirre Murúa, 2005, Fernández y López, 2015).

CLASES DE RIESGO GLOBAL

		Clases de Riesgos Naturales				
		Bajo	Medio	Medio-Alto	Alto	Muy Alto
Clases de Riesgos Tecnológicos	Bajo					
	Medio					
	Medio-Alto					
	Alto					
	Extremo					

Fuente: Elaboración propia.

Escala de Riesgo Global

	Riesgo Bajo
	Riesgo Moderado
	Riesgo Significativo
	Riesgo Elevado
	Riesgo Muy Elevado

Cuadro N°4: Categorización del riesgo “global”. *Extraído de Aguirre Murúa, 2005.*

4.4.2.5. Fuentes de información y recomendaciones para la aplicación de la metodología

Mediante esta metodología es posible conocer la aptitud del medio o área analizada para contemplar los usos previstos para la misma, partiendo del hecho de que las mejores condiciones se corresponden con los menores riesgos potenciales (Fernández, 2015).

De este modo es posible, argumentar sobre la no ocupación de una zona dados los valores del riesgo y luego en un futuro próximo es posible agregar nuevos parámetros al análisis elaborado, pudiendo incluso modificar la escala de valoración de riesgos (Orellana, 2018).

Esta metodología representa una estimación generalizada y sintetizada del riesgo, pudiendo requerir de otros análisis complementarios con mayor rigor técnico o científico. La información utilizada dependerá de la escala de trabajo en la cual se enmarque el análisis y de la finalidad de los documentos empleados (divulgación, académica, de ordenamiento territorial, investigación científica, etc.) (Fernández y López, 2015).

La mayoría de las fuentes empleadas para el análisis realizado en el presente trabajo fueron provistas por el tutor (Fernández, 2013, 2015) y otros trabajos inéditos de su autoría.

Además, se consultaron los trabajos específicos del área como los de: Ortiz (1978), Sesma y Guido (2008), Sesma et al. (2010) y Martensen (2010).

Las Tablas I y II (matrices) que se presentan a continuación son las que originalmente se usan en el método de Aguirre Murúa (2005) y que fueron modificadas y estandarizadas por Fernández y López (2015).

CALCULO DEL INDICE DE RIESGOS TECNOLOGICOS								
TIPO DE RIESGOS		RIESGO POTENCIAL			FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD		DANOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD	
ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS TECNOLOGICOS	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR N ₁	MAGNITUD	VALOR N ₂
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5
	Transporte de mercancías peligrosas por carretera:	3	Autovía - autopista	3	0-10 años 2 veces o más	1,3	Muy importantes	1,3
			Carretera Nacional	4	0-20 años 3 veces o menos	1,25	Importantes	1,25
			Carretera Autonómica	3	Sin datos	1	Leves o Muy escasos	1
			Conexión a industria-polígono, etc.	2				
			Otras	1				
	Transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril	2	> 500.000 t anuales	3	0-10 años > 2 veces	1,3	Muy importantes	1,3
			100.000 a 500.000 t anuales	4	0-10 años 1 vez	1,25	Importantes	1,25
			< 100.000 t anuales	2	Sin datos	1	Leves o Muy escasos	1
	Industrias, gasolineras y almacenamiento de sustancias peligrosas	3	4 o más	3	0-10 años > 3 veces	1,3	Muy importantes	1,3
			2-3	3	0-10 años 2 veces	1,25	Importantes	1,25
			1	2	Menos o sin datos	1	Leves o Muy escasos	1
	Pasillos aéreos-aeropuertos	1	Pasillo aéreo y aeropuerto	3	1 accidente en 10 años	1,3	Muy importantes	1,3
Pasillo aéreo o aeropuerto			3	1 accidente en 20 años	1,25	Importantes	1,25	
				Sin datos	1	Leves o Muy escasos	1	
Puertos comerciales (tránsito y almacenamiento de sustancias peligrosas)	2	Puerto marítimo	3	1 accidente en 10 años	1,3	Muy importantes	1,3	
		Puerto fluvial	3	1 accidente en 20 años	1,25	Importantes	1,25	
				Sin datos	1	Leves o Muy escasos	1	
Explotaciones mineras	2	3 o más	3	< 2 accidentes en 10 años	1,3	Muy importantes	1,3	
		1-2	3	> 2 accidentes en 15 años	1,25	Importantes	1,25	
				Sin datos	1	Leves o Muy escasos	1	
Instalaciones militares y campos de tiro y maniobra	2	Activo	3	Si ha ocurrido	1,3	Significativo	1,3	
		No activo	3	No ha ocurrido	1,25	Leve o escaso	1	
				Sin datos	1			
Oleoductos-gasoductos	1		3	Si ha ocurrido	1,3	Significativo	1,3	
				No ha ocurrido	1,25	Leve o escaso	1	
				Sin datos	1			
Contaminación por fertilizantes, pesticidas y plaguicidas	1	Comprobada	3	Si ha ocurrido	1,3	Significativo	1,3	
		Sospecha	3	No ha ocurrido	1,25	Leve o escaso	1	
				Sin datos	1			
Tendidos eléctricos y subestaciones	1	Más de 1 línea o subestación	3	Si ha ocurrido	1,3	Significativo	1,3	
		1 línea o subestación	3	No ha ocurrido	1,25	Leve o escaso	1	
				Sin datos	1			
Contaminación atmosférica (ruidos, vibraciones, partículas, olores)	2	Ruidos, partículas y olores	4	Si ha ocurrido	1,3	Significativo	1,3	
		Ruidos, partículas u olores	3	No ha ocurrido	1,25	Leve o escaso	1	
				Sin datos	1			

Tabla I: Riesgos tecnológicos. Extraído de Aguirre Murúa, 2005.

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL

TIPO DE RIESGOS		RIESGO POTENCIAL			FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD		DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD	
ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5
	Inestabilidad del terreno: Desprendimientos-deslizamientos- subsistencia-avalancha	3	Materiales sueltos y alterados en pendiente	5	1 o más veces cada 5 años	1,5	Muy importantes	1,5
			Materiales fracturados en pendiente	4	1 vez cada 10 años	1,25	Importantes	1,25
			Materiales poco fracturados o alterados	3	Sin datos	1	Leves o muy escasos	1
			Materiales rígidos	0				
	Fallas activas - Movimientos sísmicos - Tsunamis	1	Zona de inestabilidad alta	5	1 vez en los últimos 100 años	1,5	Muy importantes	1,5
			Zona de inestabilidad media	4	1 vez en los últimos 500 años	1,25	Importantes	1,25
			Zona de inestabilidad baja	3	Menos o sin datos	1	Leves o muy escasos	1
			Medio rígido	0				
	Suelos expansivos	1	Alta presencia de suelos expansivos	5	> 10 afecciones en 5 años	1,5	Importantes	1,5
Moderada presencia de suelos expansivos			4	5-10 afecciones en 5 años	1,25	Leves o muy escasos	1	
Baja presencia de suelos expansivos			3	Menos o sin datos	1			
Inexistencia de suelos expansivos			0					
Riesgos asociados al karst	1	Predominio de formaciones calizas	5	> 3 hundimientos/colapsos en 5 años	1,5	Muy importantes	1,5	
		Formaciones calizas y no calizas	4	1-3 hundimientos/colapsos en 5 años	1,25	Importantes	1,25	
		Formaciones calizas aisladas	3	Menos o sin datos	1	Leves o muy escasos	1	
		Materiales no calizos	0					
Inundaciones	3	Avenidas de 50, 100 o 500 afectan a núcleos de población	5	1 vez en los últimos 10 años	1,5	Muy importantes	1,5	
		Avenida de 100 afecta a urbanizaciones o viviendas aisladas	3	1 vez en los últimos 50 años	1,25	Importantes	1,25	
		Avenida de 500 afecta viviendas aisladas	1	Menos o sin datos	1	Leves o muy escasos	1	
		No afecta ninguna inundación	0					
Erosión (continental y costera)	2	Alta	5	Cárcavas, regueros, retroceso de la línea de costa	1,5	Muy importantes	1,5	
		Media	4	Surcos y erosión laminar	1,25	Importantes	1,25	
		Baja	3	Sin constatar	1	Leves o muy escasos	1	
		Inexistente	0					
Incendios forestales	2	Monte denso con carretera y pistas forestales que lo cruzan	5	1 incendio/año	1,5	Muy importantes	1,5	
		Monte sólo con vías forestales	3	1 incendio/5 años	1,25	Importantes	1,25	
		Monte adhesado	1	Menos o sin datos	1	Leves o muy escasos	1	
		Pastizal con abundante rocosidad	0					
Riesgos geotécnicos	1	Condiciones constructivas desfavorables	5	> 3 asentamientos en los últimos 5 años	1,5	Importantes	1,5	
		Condiciones constructivas aceptables	3	1-3 asentamientos en los últimos 5 años	1,25	Leves o muy escasos	1	
		Condiciones constructivas favorables	0	Menos o sin datos	1			

Tabla II: Riesgos naturales. Extraído de Aguirre Murúa, 2005.

5. FUNDAMENTACIÓN Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los procesos morfodinámicos que actúan en el área de estudio se vieron notablemente favorecidos por la conjunción de varios factores: clima subtropical estacionalmente contrastado, relieve abrupto y una litología que favorece el transporte sólido producto de los torrentes (filitas, arcillitas y limolitas) (Sesma et al., 2010). A ello se suman acciones antrópicas que afectan tanto a la unidad montañosa como al pedemonte (desmonte, sobrepastoreo, incendios forestales, prácticas agrícolas, urbanización, construcción de bordos, terraplenes, y extracción minera). Así, se originaron profundas modificaciones como: desaparición de la cobertura vegetal natural, fuerte erosión de suelos y alto riesgo de inundación y aluvionamiento sobre la población y su entorno (Sesma et al., 2010, Fernández, 2013b). Entre los procesos morfodinámicos (erosivos y degradatorios) se destacan: erosión laminar, erosión en cárcavas y barrancos, erosión hídrica lateral de cauce y distintos procesos de remoción en masa como deslizamientos, terracillas y reptación de suelos (Guido y Sesma, 2014, Fernández, 2015). En el pedemonte de la sierra se han citado también procesos de avulsión de ríos por crecidas ordinarias provenientes de la alta cuenca del Río Muerto (Eremchuk y Mon 2006, Guido y Sesma, 2014, Fernández, 2013b, 2015). Las intensas precipitaciones de los últimos años, han ido agregando cada vez más inconvenientes a la gestión de la cuenca, ya que todos estos procesos mencionados se potencian en el período estival donde las isohietas muestran valores anuales entre 1.300 mm y 1.400 mm y temperaturas promedio mayores de 25° C. (Guido y Sesma, 2014) (Fernández, 2015). Figura N°3.

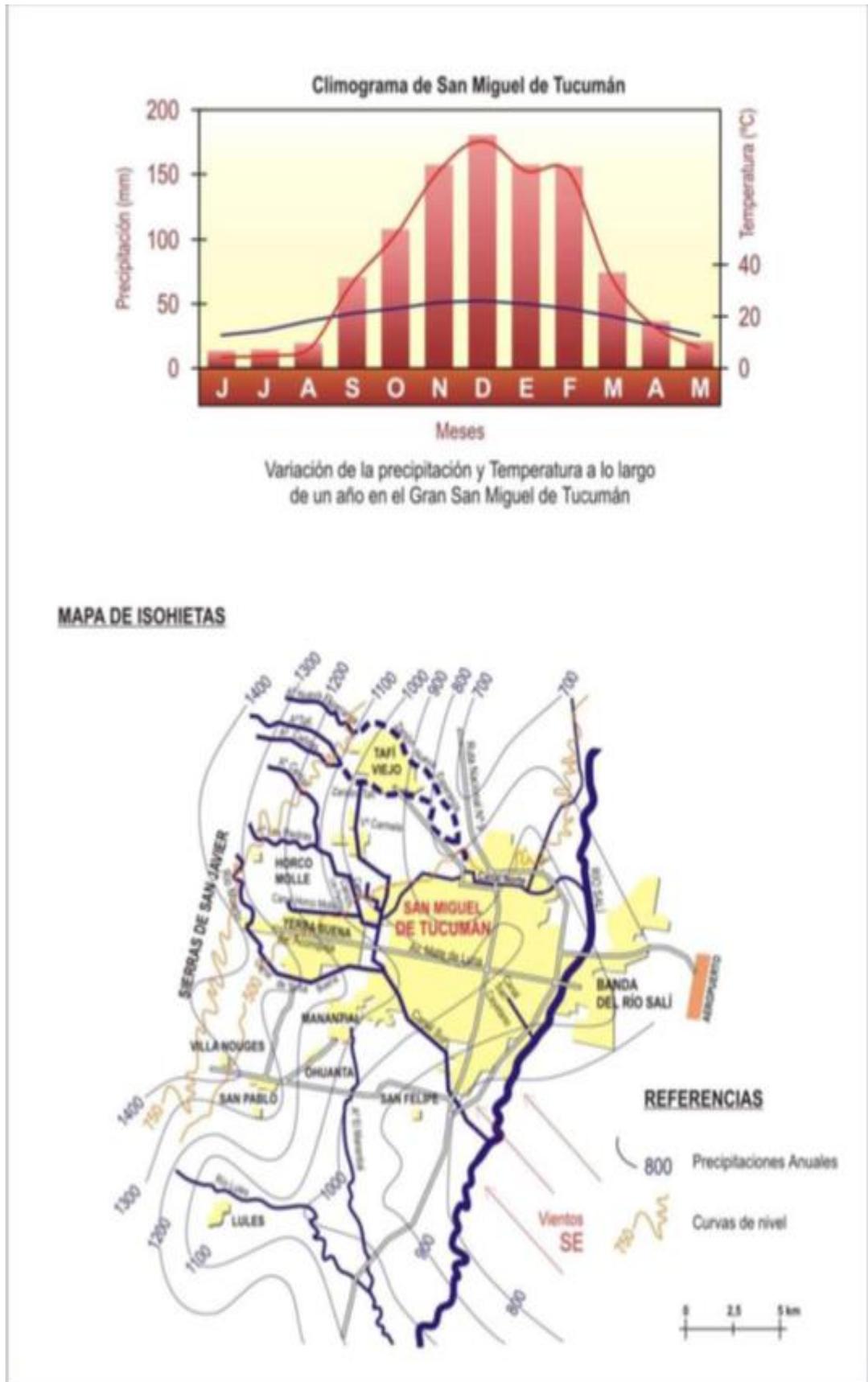


Figura N°3: Variación de lluvias y temperatura en el Gran S.M. de Tucumán – Mapa de isohietas anuales en el sector de estudio. *Extraída de Fernández, 2015.*

5.1 Antecedentes

En el marco de las propuestas de gestión ambiental para la cuenca del Río Muerto (Fernández, 2015) en un informe para la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (S.E.M.A.), detalla en su trabajo del 2015 el Análisis de Riesgo Geoambiental (ARG) realizado mediante el uso de Índices Hidrogeomorfológicos (IBHG) y Biológicos. Dicho ARG se describe a continuación:

Se definieron 5 (cinco) tramos en la cuenca para la medición y estudio de factores naturales y antropogénicos; en base a calidad y deterioro del bosque de ribera y su dinámica fluvial. Teniendo como base el trabajo realizado por Fernández (2013b, 2015), se procedió a medir los siguientes índices (IBHG) en los mismos tramos y estaciones prefijadas por este autor; desde el tramo superior de la cuenca hasta su desembocadura en el Canal Yerba Buena (Figura N°4).

Los relevamientos se realizaron en el Río Muerto (sectores N° 1 a N° 5a-5b) (Figura N°4) y como no se realizó muestreo botánico, se consideraron estaciones móviles en ambas márgenes; colocándose estacas numeradas y georreferenciadas con GPS, y marcadas con pintura en aerosol. Se usaron 50 transectas y, para la separación de los 5 sectores (tramos o zonas), se tuvo en cuenta el grado de alteración observado en el hábitat ripario en general (Fernández, 2013b, 2015) (Figura N°4).

Los índices medidos son los siguientes: 1) QBR, 2) RFV, 3) RQI ,4) IHF, y 5) IHG, todos con protocolos de uso en la Comunidad Económica Europea (CEE) y Directiva Marco del Agua europea (D.O.C.E., 2000). Asimismo, algunos de uso en nuestro país (p.e, QBR), para cuencas cercanas a la estudiada (Fernández, 2003 y 2009), Sirombra y Fernández (2005) y Sirombra (2011). Los índices son:

1)INDICE QBR (Qualitat de Bosc de Ribera): Índice rápido para la evaluación de los ecosistemas de ribera y puede ser usado junto con indicadores biológicos de calidad de las aguas y para determinación del estado ecológico de los ríos. Propuesto por Munné et al. (1998, 2003), tiene por objetivos simplificar el número de variables para medición de calidad y biodiversidad. Los atributos que pondera son: a) Cobertura de la vegetación de ribera; b) Estructura o grado de madurez de la vegetación, c) Complejidad y naturalidad de la vegetación, d) Grado de alteración del canal fluvial. Además, el índice puede incluir datos sobre: A) Características físicoquímicas del agua; B) Comunidades biológicas que viven en ella y C) La situación de las riberas. Para mayores datos sobre el uso del índice se recomiendan los trabajos en nuestro país de Fernández (2003, 2009, 2013a), Sirombra et al. (2009) y Sirombra (2011).

2) INDICE RFV (Riparian Forest Valuation): Índice propuesto por Magdaleno et al. (2010), evalúa la naturalidad de la vegetación y el estado del bosque de ribera. Se basa en valoración de la continuidad espacial y conectividad del bosque ripario (en sus 4 dimensiones: longitudinal, transversal, vertical y temporal). Estos cuatro indicadores son evaluados a través de un código cuantitativo y cualitativo. El índice se aplica tras un pre-análisis de la anchura media de bankfull, considerando sus singularidades hidrogeomorfológicas. Detalles del método y sus aplicaciones en ríos mediterráneos, pueden consultarse a González del Tánago et al. (2006) y Magdaleno et al. (2010).

3) INDICE RQI (Riparian Quality Index): Propuesto por González del Tánago y García de Jalón (2006), y reglamentado en base a la Directiva Marco del Agua Europea (D.O.C.E., 2000) por González del Tánago et al. (2006). Es una metodología sencilla y rápida para reconocimiento visual con base hidromorfológica del estado ecológico de las riberas. Se consideran 7 atributos para reconocimiento visual: a) Continuidad longitudinal de la vegetación leñosa, b) Dimensiones en anchura del espacio ripario, c) La composición y estructura de la vegetación riparia, d) La regeneración natural de las especies leñosas, e) La condición de las orillas, f) La conectividad transversal y vertical del cauce con sus riberas y llanuras de inundación y g) Grado de alteración de los materiales y el relieve del suelo de riberas. Además, introduce el parámetro de tipo de valles (geometría) y su relación hidrogeomorfológica.

4) INDICE IHF (Índice de Hábitat Fluvial): Propuesto por Pardo et al. (2002) para ambientes mediterráneos, usa 7 bloques o apartados donde se valora de manera independiente, la presencia de distintos componentes en el cauce fluvial, entre ellos aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats y su hidrología. También se valoran: frecuencia de rápidos, regímenes de velocidad y profundidad, grado de inclusión y sedimentación en pozas. Los detalles metodológicos y las hojas de campo para este índice y otros como el QBR, se pueden encontrar en Jáimez – Cuellar et al. (2002) y en el protocolo ECOSTRIMED (<http://www.diba.es/medioambient/es/protocol.asp>), con acuerdo a las Directivas del Marco del Agua (D.O.C.E., 2000).

5) INDICE IHG (Índice Hidrogeomorfológico): Propuesto por Ollero Ojeda et al. (2009) para la cuenca del Río Ebro; evalúa la calidad hidrogeomorfológica de sistemas fluviales en base a 3 grandes bloques: a) Calidad funcional del sistema (donde se estudian: A) Naturalidad del régimen de caudal, B) Disponibilidad y movilidad de sedimentos, C) Funcionalidad de la llanura de inundación). b) Calidad del cauce (se observan: A) Naturalidad del trazado y morfología en

planta, B) Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales laterales y C) Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral); c) Calidad de las riberas (describen: A) Continuidad longitudinal, B) Anchura del corredor ribereño y C) Estructura, naturalidad y conectividad transversal). Cada apartado del bloque tiene una puntuación máxima de diez (10), entre valores positivos y negativos; agregándose un color característico similar al propuesto por Munné et al., (1998, 2013), Ollero Ojeda et al. (2009).

Los 5 sectores determinados (o tramos) - Figura N°4 - se describen a continuación, consignándose para cada uno los correspondientes valores medidos de índices; que fueron asimilados a una escala cromática unificada (Cuadro N°7) y (Figura N°5). Gran parte de los cálculos estadísticos fueron realizados con un software desarrollado por Sirombra et al. (2009) para el QBR, y modificado por Fernández (2015), para los otros índices.

Primer Tramo: *Parque Sierra de San Javier (Dominio de la Universidad Nacional de Tucumán-UNT) y un gavión transversal (parcialmente destruido actualmente):*

Este sector presenta un buen ecosistema de ribera (QBR = 70) que impide gran parte de la erosión natural de las barrancas. Se ha relevado entre los 650 y 700 m s. n. m siendo las coordenadas GPS del gavión (S 26° 47' & W 65° 20'). Al ser un sector de área protegida, casi no ha sido antropizado, mostrando encauzamiento vertical y escasos casos de erosión lateral de barrancas, la mayoría por caída de árboles de pequeño porte.

Para el índice RQI = 85, tiene un Valle Tipo (1) = Forma de V con laderas vertientes iguales o mayores de 45° (tramos altos de montaña) y pendiente longitudinal elevada. El índice RFV = 7 y su código cualitativo (5554). El índice IHF = 70 y el IHG = 58. Estos valores nos dan una puntuación BUENA para el ecosistema ripario (identificado de color VERDE) y de RIESGO BAJO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

Segundo Tramo: *Gavión (PSSJ) y confluencia del Río Muerto con Quebrada de las Conchas (cantera): Las coordenadas GPS de este sector (cantera de áridos) son:*

S 26° 47' 22" & W 65° 20' 00". Este sector cuenta con una mayor antropización por la extracción de áridos y una mayor presión por circulación de vehículos – no solamente por actividad minera - hay endurismo, bicicross y caminatas guiadas. El bosque de ribera tiene calidad mediana (QBR=50) con escasas especies autóctonas y deslizamientos de ladera de origen natural por una fuerte imbibición de agua del macizo rocoso. Desde este punto hacia el norte se ha trabajado extrayendo áridos de manera continua, pero siguiendo las reglas del arte minero (extracción de la parte media-centro del cauce y defendiendo barrancas laterales con

material de descarte). No hay riesgos de inundación, si se mantiene la limpieza del cauce en forma periódica. El índice RQI = 77, tiene un Valle Tipo (1) = Forma de V con laderas vertientes iguales o mayores de 45° (tramos altos de montaña) con pendiente longitudinal elevada. El índice RFV = 4 y su código cualitativo (5551). El índice IHF = 55 y IHG = 50. Estos valores nos dan una puntuación MODERADA para el ecosistema ripario (Identificado de AMARILLO) y con RIESGO MODERADO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

Tercer Tramo: Quebrada de las Conchas (cantera) – Cantera Municipal Yerba Buena (S 26° 48' 15" & W 65° 19' 52", 608 m.s.n.m.):

Es el sector más antropizado, ya que existen dos canteras de áridos, que trabajan sobre el centro del cauce extrayendo base y sub-base estabilizada. Entre los años 2010 y 2011, la DPA (Dirección Provincial del Agua), realizó una serie de obras de ajuste del cauce que ahondaron el lecho actual del canal de estiaje y realizaron acopios de material grueso en ambas márgenes del río.

El bosque de ribera en este tramo es de calidad mediana a baja (QBR = 47) y se observa que los árboles autóctonos de gran porte (jacarandá, laurel, cebil, cedro, etc.) fueron reemplazados por especies foráneas (p. ej. eucaliptos). Este sector del río se caracteriza por tener su margen izquierda más baja que la derecha, presentando un potencial peligro de inundaciones eventuales por aumento de precipitaciones en cabeceras, y/o migración lateral de cauces - actualmente controlado - con el trabajo extractivo minero que mantiene el eje del canal de estiaje al centro de la planicie de inundación y defiende dicha barranca con material grueso de descarte. El Arroyo Frontino (Figura N°4). que descarga sus aguas sobre la margen derecha, aporta gran cantidad de material pétreo y cuenta también con buen ecosistema de ribera (Fernández, 2013b).

Para el índice RQI = 57, tiene un Valle Tipo (2) = Forma del valle con V relativamente abierta, con inclinación de laderas vertientes menores de 45°; con afluentes permanentes. El índice RFV = 3 y su código cualitativo (4422). El resto de los índices son: IHF = 45 y IHG = 42. Estos valores dan una puntuación DEFICIENTE para el ecosistema ripario (identificado de color NARANJA) y de RIESGO ALTO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

Cuarto Tramo: Cantera Municipal de Yerba Buena – Diques derivadores /Puente Carretero (Ruta N° 338 a San Javier).

Este sector de similares características con el anterior tiene también una notable antropización por extracción maderera en épocas pasadas, algunas viviendas sobre la margen izquierda y

extracción clandestina de áridos en la zona cercana a los diques. El bosque de ribera tiene la misma calidad mediana a baja sobre la margen derecha, pero es menor en la opuesta (QBR = 45). La zona de los diques aparece muy colmatada de sedimentos lo que aumenta el riesgo de inundación sobre la margen izquierda ante crecidas extraordinarias. Las coordenadas GPS del dique nivelador es: S 26° 48' 26" & W 65° 19' 30" con una altura de 595 m. s. n. m. En la zona cercana al puente hay otros diques también colmatados cuya limpieza podría realizarse para evitar futuras migraciones de cauces e inundaciones sobre la margen izquierda - de mayor vulnerabilidad - (Fernández, 2013 b, 2015). Para el índice RQI = 35, tiene un Valle Tipo (2) = Forma del valle con V relativamente abierta, con inclinación de laderas vertientes menores de 45°; con afluentes permanentes. El índice RFV = 2 y su código cualitativo (4431). El resto de los índices son: IHF = 35 y el IHG = 43. Estos valores dan una puntuación también DEFICIENTE para el ecosistema ripario (identificado de color NARANJA) y RIESGO ALTO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

Quinto Tramo (5a): *Puente Carretero sobre Ruta N° 338 (camino a San Javier - GPS: S 26° 48' 41" & W 65° 19' 05"):*

Este tramo se halla encajonado a la salida del puente y luego es canalizado con losas de hormigón a partir de La represa y Country Las Yungas. Aguas abajo del puente se ha observado que sobre la margen izquierda hay sitios con desplome de paredes laterales debido a los sedimentos loéssicos finos que predominan sobre la margen izquierda. Hay riesgos de inundación, si no hay control ni cuidado en la extracción de material depositado sobre las márgenes del canal. Aquí se observa también extracción clandestina de áridos, vertido de RSU; pero con calidad del bosque de ribera aceptable (aguas abajo del puente) (QBR = 50). El índice RQI = 60, tiene un Valle Tipo (2) = Forma del valle con V relativamente abierta, con inclinación de laderas vertientes menores de 45°; con afluentes permanentes. El índice RFV = 4 y su código cualitativo (3331). El resto de los índices son: IHF = 50 y el IHG = 51. Estos valores dan una puntuación MODERADA para el ecosistema ripario (identificado de AMARILLO) y RIESGO MODERADO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

Quinto Tramo (5b): *Tramo canalizado (canal Yerba Buena).*

En el tramo canalizado hacia la localidad de El Manantial, el ecosistema de ribera es casi inexistente, a lo que se suma la contaminación con RSU (Residuos Sólidos Urbanos) y aguas residuales de dudoso origen. Además, la mayoría de los vegetales existentes en ambas márgenes no son autóctonos y se cultiva citrus y caña de azúcar (Fernández, 2009, 2013b,

2015). Los valores predominantes para el QBR = 25 indican calidad mala o muy pobre para este sector. Se recomienda la limpieza periódica del canal para evitar la formación de entarquinamientos y/o diques de grava y vegetación que puedan provocar aumento de nivel e inundaciones ante lluvias y crecidas extraordinarias.

El índice RQI = 35, tiene un Valle Tipo (2) = Valle con V relativamente abierta, con inclinación de laderas vertientes menores de 45° con afluentes permanentes.

El índice RFV = 2 y su código cualitativo (3221). El resto de los índices son: IHF = 22 y el IHG = 20. Estos valores dan una puntuación MUY POBRE (MALA CALIDAD) para el ecosistema ripario (identificado de color ROJO) y RIESGO MUY ALTO (Cuadro N°7) y (Figuras N°4 y 5).

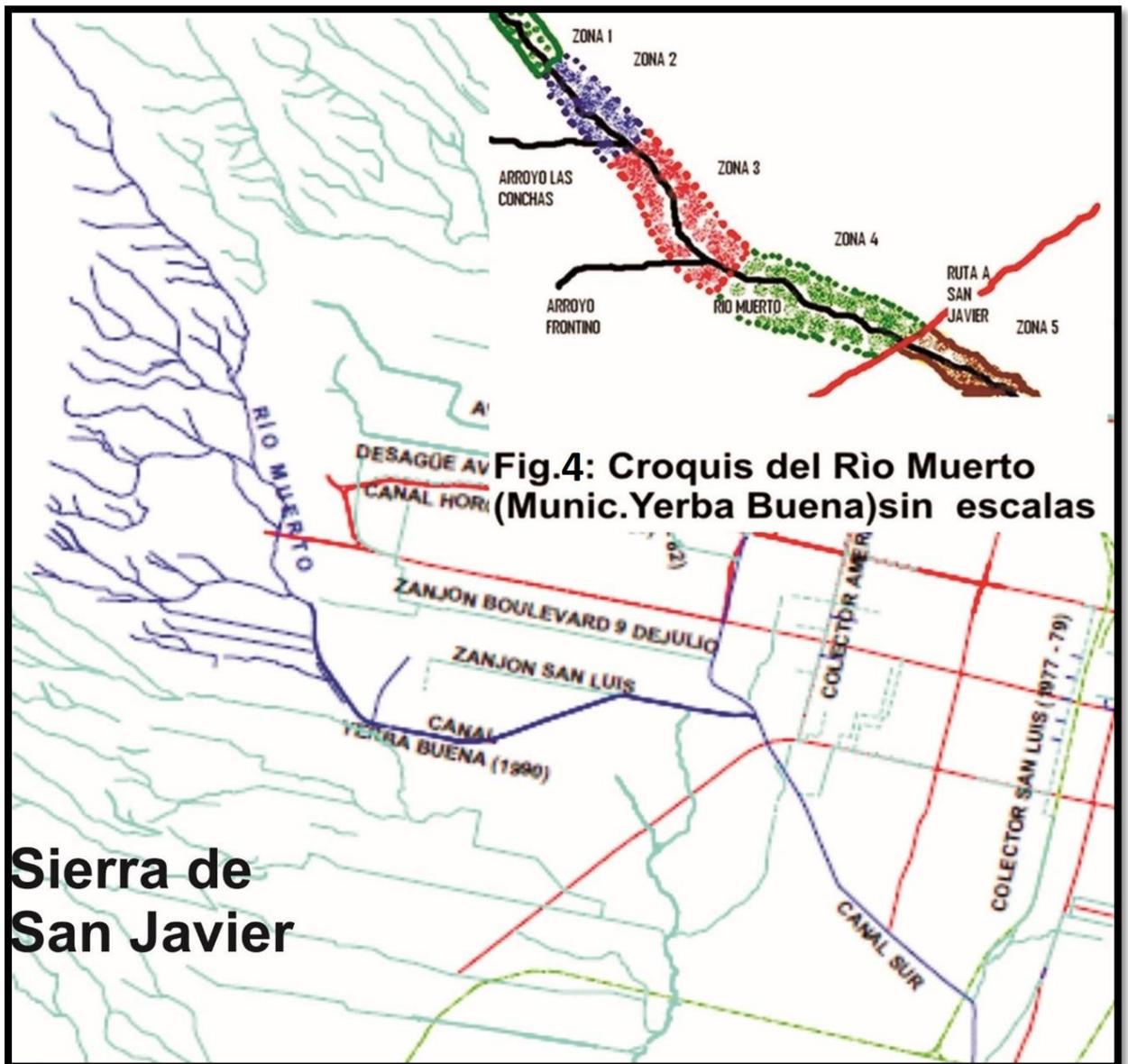


Figura N°4: Extraída de Fernández, 2015.

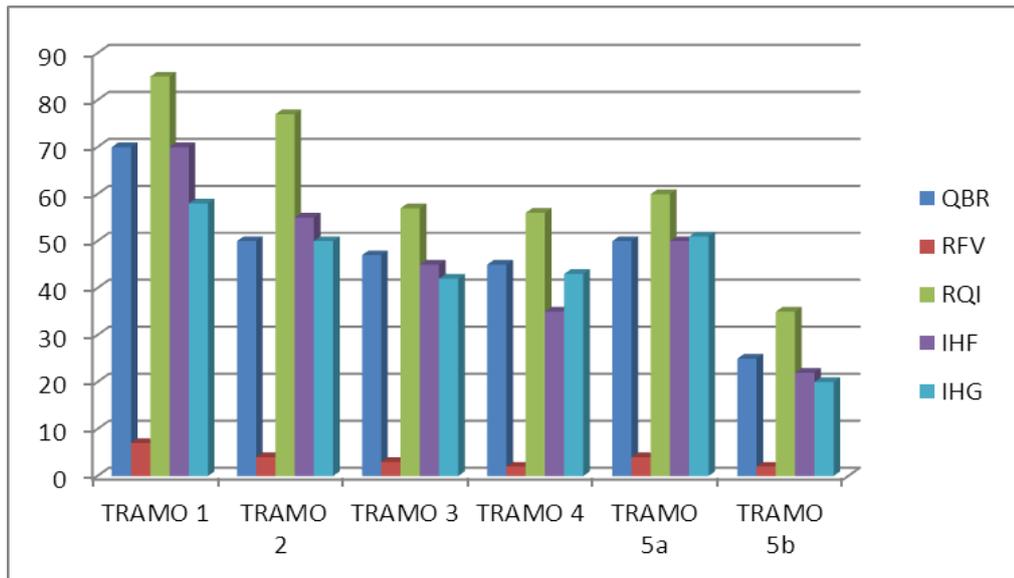


Figura N°5: Río Muerto: Gráfica comparativa entre los índices QBR, RFV, RQI, IHF y IHG estimados.

Extraída de Fernández, 2015.

TRAMOS DEL RIO MUERTO	INDICE QBR	INDICE RFV	INDICE RQI	INDICE IHF	INDICE IHG	CALIFICACION + RIESGO	COLOR IDENTIFICADO
Tramo (1) Tipo de Valle RQI (1)	70	7 (5554)	85	70	58	BUENO (Riesgo Bajo)	VERDE
Tramo (2) Tipo de Valle RQI(1)	50	4 (5551)	77	55	50	MODERADO (Riesgo Moderado)	AMARILLO
Tramo (3) Tipo de Valle RQI (2)	47	3 (4422)	57	45	42	DEFICIENTE (Riesgo Alto)	NARANJA
Tramo (4) Tipo de Valle RQI (2)	45	2 (4431)	56	35	43	DEFICIENTE (Riesgo Alto)	NARANJA
Tramo (5)(a) Tipo de Valle RQI (2)	50	4 (3331)	60	50	51	MODERADO (Riesgo Moderado)	AMARILLO
Tramo (5)(b) Tipo de Valle RQI (2)	25	2 (3221)	35	22	20	MUY POBRE (Riesgo Muy Alto)	ROJO

Valle Tipo (1)/RQI = Forma de **V** con laderas vertientes **iguales o mayores** de **45°** (Tramos altos de montaña) con pendiente longitudinal elevada.

Valle Tipo (2)/ RQI = Forma del valle con **V** relativamente abierta, con inclinación de laderas vertientes **menores** de **45°**; con afluentes permanentes.

RFV = (3331): Código cualitativo del estado del bosque de ribera en base a la alteración de la continuidad longitudinal y transversal (regeneración natural y artificial).

Cuadro N°7: Análisis de Riesgo a partir de los índices biológicos e hidro-geomorfológicos estimados en el Río

Muerto. Extraído de Fernández, 2015.

El A.R.A. del presente trabajo tiene como propósito analizar y valorar los principales riesgos ambientales a partir de la información disponible, primero a través de la metodología What If..? (Qué pasa si..?), y posteriormente con la metodología de Aguirre Murúa (2005).

Los análisis del presente trabajo representan un complemento del estudio preexistente de Fernández (2015) para la cuenca del Río Muerto, detallado más arriba. Es decir, a los cinco índices obtenidos en su trabajo se adicionan la estimación del Índice de Riesgo y el análisis What If..? del presente trabajo, para cada uno de los cinco tramos de la cuenca definidos en el trabajo de Fernández (2015).

6. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS

6.1 Objetivos generales

Valorar los riesgos ambientales en la cuenca del Río Muerto.

6.2 Objetivos específicos

- Identificar peligros, situaciones riesgosas, o eventos accidentales específicos, que pudiesen producir una consecuencia indeseable, de manera cualitativa, a través de una serie de preguntas que luego serán respondidas en función de ese mismo análisis y de antecedentes.
- Identificar riesgos potenciales y su corrección por vulnerabilidad y peligrosidad, analizando sólo los riesgos naturales, para luego hacer una cuantificación a través del índice de riesgo.

Para el logro de los objetivos propuestos, el A.R.A. se realizó mediante dos de los métodos descritos más arriba, a saber:

- *Qué pasa si...? (What If...)*
- *Índice de Riesgo Ambiental – Método de Aguirre Murúa (2005), modificado por Fernández (2007) y Fernández (2015) y López (2015).*

7. ANÁLISIS DE RIESGO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tal como se comentó más arriba se utilizó, en primer lugar y a modo de análisis preliminar cualitativo, la metodología “Qué pasa si...?” para detectar y concluir sobre los principales riesgos ambientales en la cuenca del Río Muerto. Luego, se analizaron los riesgos con el método

de Aguirre Murúa (2005) modificado por Fernández (2007) y Fernández (2015) y López (2015). Con el mismo sólo se consideraron los riesgos naturales, cuyos resultados finales se reflejan en un único cuadro (ver Cuadro N°9). El cálculo de los IRN se realizó separadamente para cada tramo delimitado por Fernández (2015) y los cuadros correspondientes se encuentran en el ANEXO I.

7.1 Análisis por la metodología “Qué pasa si...?”

Se analizó el resultado de la presencia de sucesos indeseados que pueden provocar consecuencias adversas, en relación con problemáticas existentes actualmente en la cuenca del Río Muerto. Dadas las características del método, la formulación de las preguntas para el análisis de riesgo se elaboró en conjunto con el Dr. Rubén Fernández, tutor del presente trabajo. (Ver Cuadro N° 8).

Procedimiento de análisis:

Las preguntas relacionadas con los sucesos indeseados se detallan a continuación:

¿Qué pasa si...

- a) ...tiene lugar un evento extraordinario de lluvias?
- b) ...se modifican las zonas de extracción de áridos?
- c) ...se incrementa el vertido de residuos sólidos urbanos y residuos de la construcción?
- d) ...se altera negativamente el estado de la vegetación riparia?
- e) ... se ejecuta una obra civil en el cauce del río? (dique, puente, etc.).

El análisis se detalla en el Cuadro N° 8, en el cual se enumera, para cada pregunta, la consecuencia o riesgo, y las acciones propuestas, distinguiendo entre aquellas que eliminan las causas del riesgo, y las que reducen sus consecuencias.

CUADRO DE ANÁLISIS . METODOLOGÍA "QUÉ PASA SI...?"			
¿Qué pasa si...	Consecuencias/Riesgos	Acciones propuestas...	
		...que eliminan las causas	...que reducen las consecuencias
... tiene lugar un evento extraordinario de lluvias?	Riesgo de inundaciones por desborde de la margen izquierda en las zonas adyacentes a las urbanizaciones existentes, si no se respetan las reglas del buen arte minero para la extracción de áridos.	-	1) Reglas del buen arte minero (extracción desde la zona central del cauce y depósito de material de descarte en laterales). 2) Obra civil de defensa de la margen izquierda (muro de contención, gaviones). 3) Limpieza de diques derivadores y diques varios ecistentes en la cuenca.
...se modifican las zonas de extracción de áridos?	Riesgo de destrucción total o parcial de la vegetación riparia en la nueva zona, por tránsito de vehiculos y por la extracción misma.	1) Conservación de las mismas zonas de extracción, respetando las épocas de recarga del material pétreo y de extracción.	1) Conservación y cuidado de las especies autóctonas y de la vegetación definiendo un único acceso a la zona.
	Posible extracción clandestina de áridos en las nuevas zonas		1) Mayor control por parte de la autoridad de aplicación.
...se incrementa el vertido de R.S.U. y R.C.?	Riesgo de acumulación de residuos en diques y colmatación más frecuente	-	1) Limpieza de diques derivadores y diques varios existentes en la cuenca.
	Riesgo de generación de focos contaminantes del aire, agua y suelo, aguas abajo.		1) Detección y limpieza de focos de acumulación de residuos.
... se altera negativamente el estado de la vegetación riparia?	Riesgo de migracion lateral del cauce y posible socavación lateral de márgenes	-	1) Obras de protección de márgenes (defensas) 1) Reforestación con especies originales
	Riesgo de inundaciones por falta de cobertura vegetal natural, avulsión progresiva, etc.		2) Obras de protección de márgenes (defensas)
... se ejecuta una obra civil en el cauce del rio? (dique, puente, etc.)	Riesgo de inundaciones por alteración del escurrimiento natural y/o aumento del tirante de agua	-	1) Obras de protección de márgenes (defensas) en zonas adyacentes a la obra civil.
	Riesgo de erosión retrógrada y sifonaje		1) Monitorero frecuente del comportamiento del escurrimiento en la zona de la obra. Tareas necesarias para contrarrestar efectos erosivos.

Cuadro Nº8: Análisis de Riesgo en la cuenca del Río Muerto – Metodología "Qué pasa si..?"

7.2 Análisis por Índice de Riesgo

Se adjunta el Cuadro N° 9, que resume el cálculo del Índice de Riesgo Natural de los tramos N° 1, 2, 3, 4, 5(a) y 5(b) de la cuenca del Río Muerto.

CLASES DE RIESGOS NATURALES				
<i>BAJO</i>	<i>MEDIO</i>	<i>MEDIO-ALTO</i>	<i>ALTO</i>	<i>MUY ALTO</i>
<i>0-15</i>	<i>16-31</i>	<i>32-47</i>	<i>48-63</i>	<i>>63</i>
TRAMO 1	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5 (a)	
TRAMO 2	TRAMO 5 (b)			

Cuadro N°9: Análisis de Riesgos Naturales a partir del índice de Riesgo Natural estimado en el Río Muerto.

Por su parte, los cuadros de cálculo del IRN para cada tramo de la cuenca se adjuntan en el ANEXO I.

A partir de los índices obtenidos en el Cuadros N°9, y teniendo en cuenta los Cuadros N°2, 3 y 4 correspondientes al método, se obtiene:

Tramo 1:

- Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 9
- Clase de Riesgo Natural: *BAJO*

Tramo 2:

- Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 14,25
- Clase de Riesgo Natural: *BAJO*

Tramo 3:

- Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 18
- Clase de Riesgo Natural: *MEDIO*

Tramo 4:

- Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 44,63
- Clase de Riesgo Natural: *MEDIO - ALTO*

Tramo 5 (a):

- Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 52,88

- **Clase de Riesgo Natural: ALTO**

Tramo 5 (b):

- **Índice de Riesgo Natural: I.R.N. = 24,13**
- **Clase de Riesgo Natural: MEDIO**

8. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos con ambos métodos se concluye lo siguiente:

- 1) El tramo de la cuenca con mayor Índice de Riesgo Natural es el tramo Nº 5 (a), es decir, aguas abajo del puente carretero s/PR.P. Nº 338 y los diques del Country Las Yungas.
- 2) Los tramos con menor Índice de Riesgo Natural corresponden a los de aguas arriba de la cuenca. Si bien allí existe un gran transporte sólido y elevadas pendientes longitudinales, la no presencia de actividades económicas y de personas disminuye el riesgo.
- 3) En el tramo final del río, es decir, en el tramo 5 (b) canalizado conocido como Canal Yerba Buena, si bien es el sector que atraviesa un área netamente urbana, hay factores que hacen que el Índice de Riesgo Natural no sea elevado. Excepto el riesgo de inundaciones que está sujeto al mantenimiento del canal, los demás riesgos considerados no aportan peligros considerables.

Con respecto a este último punto, en la metodología "*Qué pasa si..?*" se plantea el riesgo de inundaciones en relación con el tramo de la cuenca más próximo a las urbanizaciones, es decir, el tramo canalizado 5 (a), proponiéndose como acciones posibles que reducen las consecuencias indeseadas, entre otras, al mantenimiento de las obras civiles, en este caso, del canal revestido.

Por su parte, se pregunta qué pasa si se modifican las zonas extractivas de áridos, por ejemplo, explotando en tramos de aguas arriba de la cuenca, En este sentido el bajo IRN obtenido para los tramos 1 y 2 se alteraría considerablemente debido a las consecuencias planteadas para aquella pregunta.

Dado que los resultados obtenidos fueron a partir de datos e información recopilada por terceros, y a raíz del tiempo transcurrido durante la edición del presente trabajo, se prevé actualizar el análisis de riesgo ambiental realizado. Así, será posible la elaboración de un mapa de riesgo ambiental basado en datos propios recopilados a partir de visitas a la zona de la

cuenca estudiada. De este modo, a partir de un mapa de riesgo ambiental es posible proyectar obras civiles.

9. PROPUESTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA CUENCA

Debido a los riesgos de inundaciones existentes en los tramos finales de la cuenca (que son los más antropizados), se enumeran algunas propuestas de acción:

- ✓ ***Limpieza del cauce en los tramos 3, 4 y 5 (b):*** Los principios de la Hidráulica Fluvial no recomiendan tales acciones para casos de ríos naturales, es decir, cauces no afectados por las acciones humanas. No obstante, en el caso de los tramos indicados del Río Muerto, sí debe hacerse una limpieza del cauce, pues este ha sufrido alteraciones en su recorrido natural debido a la implantación de diques, gaviones y obras de encauzamiento desde hace más de 50 años. La limpieza debe realizarse cuidando de mantener y/o suavizar las paredes laterales (barrancas), sin alterar el bosque de ribera y manteniendo el perímetro mojado circunscripto al canal principal (cauce histórico). Se trata de evitar divagaciones con fuerte peligro erosivo hacia ambas márgenes. Esta tarea debe hacerse con control de la Policía Minera de la Provincia, la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), al tratarse de la denominada Área protegida del Parque Sierra de San Javier, y también de la autoridad municipal correspondiente al municipio de Yerba Buena.
- ✓ ***Programa de reforestación con especies autóctonas (tramos 2 a 5 (a) y (b)):*** Recuperación del bosque de ribera con árboles autóctonos de gran porte, típicos de las Yungas, tales como laurel, cebil, cedro, pacará, lapacho y horco molle, ejemplares que han sido expoliados por su calidad maderera.
- ✓ ***Promover la restauración del ecosistema fluvial y ripario:*** Restablecer o recuperar un sistema natural a partir de la eliminación de los impactos que lo degradaban y a lo largo de un proceso prolongado en el tiempo, hasta alcanzar un funcionamiento natural y autosostenible. (González del Tánago, 2004). El futuro sistema natural restaurado del Río Muerto podría recuperar: a) Los procesos naturales (dinámica a lo largo del tiempo) y todos los bienes y servicios ecosistémicos que aporta a la sociedad. b) Su estructura hídrica, con todos sus componentes y flujos en toda su complejidad y diversidad. c) Las funciones dentro del sistema tierra (transporte, regulación, hábitat, etc.). d) El territorio, es decir, el espacio propio y continuo que debe ocupar para desarrollar todos sus procesos y funciones. e) La

resiliencia o fortaleza frente a futuros impactos, su capacidad de autorregulación y autorrecuperación.

- ✓ **Propuesta de creación de un Comité de Cuenca:** Se recomienda su formación básicamente con los principales actores sociales (vecinos, ONGs; delegados comunales, intendentes municipales, direcciones de ambiente y recursos hídricos, obras públicas, tanto provinciales como municipales, etc.) involucrados entre ambos municipios (Tafí Viejo, al norte, y Yerba Buena, al sur). Así, se podrá monitorear el recurso hídrico y minero, implementándose medidas tendientes a generar un espacio educativo ambiental, que impulse la conservación, y sustentabilidad. Todo esto en el marco de la Constitución Nacional (Art.41), la Constitución Provincial (Art.41), así como de las leyes nacionales y provinciales tales como la Ley Nacional N° 26.331 de Bosques, y la Ley Provincial de Bosques N° 8.304. Las futuras áreas de la cuenca estudiada a gestionar están comprendidas entre los tramos 1 y 2 (cauce principal y ambiente ripario) para los que en un futuro debería regir la Ley Provincial de Bienes Inundables N° 7.696. Es decir, la misma se encuentra aún sin reglamentar y busca proteger jurídicamente el bosque de ribera ante los avances de la actividad agropecuaria y de la extracción minera (áridos).

10. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE MURÚA, G. (2005).** La Valoración de los Riesgos en la ordenación del territorio: Metodología práctica. *Boletín de la A.G.E. N° 40*, pp.393-405. Madrid. España.
- ÁLVAREZ, A. (2013).** Propuestas de gestión ambiental para la cuenca del Río Muerto, departamentos de Tafí Viejo y Yerba Buena, Tucumán. *Ecosalud*. Tucumán. Argentina. *Extraído de:* <http://ecosalud.info/ambiente/propuestas-de-gestion-ambiental-para-la-cuenca-del-rio-muerto-departamentos-de-tafi-viejo-y-yerba-buena-tucuman/>
- BONAPARTE, J.F., BOBOVNIKOV, J. (1974).** Algunos fósiles pleistocénicos de la provincia de Tucumán y su significado estratigráfico. *Acta Geológica Lilloana* 12, 171-186. Tucumán. Argentina.
- BOSSI G.E. (1969).** Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro. *Acta Geológica Lilloana* 10, 17-64. Tucumán, Argentina.
- CTE (Consejería de Transportes de España) (1999).** Recomendaciones Accidentes Transportes Mercancías Peligrosas. *Extraído de:* <http://www.proteccioncivil.es/riesgos/transportes/planes>. España.

D.O.C.E. (2000). Directiva 2000/60/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de Octubre de 2000. *D.O.C.E. L 327* de 22-12-00 .69 pp.

EREMCHUK J, MON R. (2006). Evaluación de los riesgos geo ambientales del Gran San Miguel de Tucumán. Páginas 125-142 en *Desafíos Ambientales del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina* (Aquino, A.; Collantes, M. y Mon, R. Ed.) Editorial Magna, Tucumán.

FERNÁNDEZ, R.I. (2003). Aplicación del Índice QBR como metodología de Evaluación de Impacto Ambiental en el Futuro Embalse “Potrero de las Tablas”. Provincia de Tucumán. Argentina. *Publicado en CD. II Jornadas de Difusión de la Situación Hídrica de la Provincia de Tucumán.* SEOP –UNT (Une-CEIHMA). San Miguel de Tucumán.

FERNÁNDEZ, R.I. (2005). Aportes al mapa de riesgo geo ambiental de la Provincia de Tucumán. República Argentina. *Subsecretaría de Recursos Hídricos, Energéticos y Política Ambiental.* Superior Gobierno de la Provincia de Tucumán. 71p.p. Tucumán.

FERNÁNDEZ, R.I. (2009). Aplicación del índice QBR para evaluación del impacto ambiental de la nueva traza del canal Yerba Buena. Provincia de Tucumán. República Argentina. *V Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA* pp.15-25. Universidad Nacional de Salta (UNSA). Salta. República Argentina.

FERNÁNDEZ, R.I. (2011). Mapa preliminar de riesgo ambiental de la ciudad de Tafí Viejo. Provincia de Tucumán. República Argentina *VI I Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales CIEA,* Facultad de Ciencias Económicas, UBA. Buenos Aires. Argentina.

FERNÁNDEZ, R.I. (2013a). Uso del índice QBR (calidad de bosque de ribera) como indicador del riesgo de inundación en la cuenca distal del Río Gastona. Provincia de Tucumán. República Argentina. *1er Congreso Internacional sobre Riesgos de Desastres y Desarrollo Territorial Sostenible – CIRiDe.*pp.113- 120.Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Univ. Nac. de Catamarca (UNC). Argentina.

FERNÁNDEZ, R.I. (2013b). Nuevas propuestas de gestión ambiental para la cuenca del Río Muerto, en el área protegida del Parque Sierra de San Javier (PSSJ) Deptos. Tafí Viejo y Yerba Buena, Provincia de Tucumán. *IV Encuentro de Montañas del NOA.* Res, Publ. S, Ext, Univ. (UNT) Horco Molle. Tucumán. Argentina.

FERNÁNDEZ, R.I. (2015). Informe del Riesgo de Inundación del Río Muerto entre la Quebrada de las Conchas y Canal Yerba Buena (*Inf. Inédito*) S.E.M.A. 15pp. Tucumán.

FERNÁNDEZ, R.I. (2015). Propuestas de Gestión Ambiental para la Cuenca del Río Muerto, departamentos de Tafí Viejo y Yerba Buena, provincia de Tucumán. República Argentina.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán (SEMA.) pp.20. Facultad Regional Tucumán (FRT). Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Tucumán. República Argentina.

GARCÍA J.W.; FALCÓN C.M.; D'URSO C.H.; RODRÍGUEZ G.V. y ACEVEDO N.. Capítulo Hidrogeología. Libro Geología de Tucumán. 3ra Edición. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Edit. S. Moyano, M.E. Puchulu, D.S. Fernández, M.E. Vides, S. Nieva, G.F. Aceñolaza. ISSN 978-987-33-6097-8. Pág. 276-294. San Miguel de Tucumán.

GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI, M.J. (2002). Procesos y riesgos naturales en la ordenación del territorio. Euskonews Nº 153. Extraído de: www.euskonews.com

GONZALEZ DEL TÁNAGO, M. (2004). La Restauración de los Ríos. Conceptos, Objetivos y Criterios de actuación. En: J. Chacón y T. López –Piñeiro (eds.) *Congreso de Restauración de Ríos y Humedales*, p.p. 15-31. Publ. CEDEX. Congresos. Madrid. España.

GONZALEZ DEL TÁNAGO, M. y GARCIA DE JALÓN, D. (2006). Attributes for assesing the environmental quality of riparian zones. *Limnetica* ,25: (1-2). España.

GONZALEZ DEL TÁNAGO, M., GARCIA DE JALÓN, D., LARA, F. y GARILLETI, R. (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Rvta. Ingeniería Civil*, Nº 1-12. Madrid. España.

GRAU, H., PAOLINI, L., MALIZIA, A. y CARILLA, J. (2010). Distribución, estructura y dinámica de los bosques de la sierra de San Javier (Tucumán, Argentina). In *Ecología de una interfase natural-urbana. La sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán*. H. Ricardo Grau (editor). Editorial de la Universidad Nacional de Tucumán, (EDUNT) pp. 33-50. San Miguel de Tucumán. República Argentina.

GUIDO, E. Y. y SESMA, P. J. (2014). Geografía Física. En: Moyano, S., Puchulu, M. E Fernández. D. S. Vides, M.E., Nieva, S. y Aceñolaza G.F. (Eds.). *Geología de Tucumán* Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. pp. 29-48.

GRAU, H.R. (editor). Editorial de la Universidad Nacional de Tucumán. (EDUNT). pp. 19-32. San Miguel de Tucumán. República Argentina.

JAIMEZ – CUELLAR, P. et al. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE) *Limnetica*, 21 (3- 4): 187 – 204. España.

KELLER, E., BLODGETT, R. (2007). Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Páginas 2-31. 1º edición. Pearson Educación, Madrid.

- LÓPEZ, R. (2015).** Mapa de Riesgo Ambiental Generado por los Residuos de Construcción y Demolición en el Área Metropolitana de San Miguel de Tucumán. Tesis de Maestría. pp.222. FRT- UTN (Tucumán) (Inédito).
- MAGDALENO, F, MARTÍNEZ, R. Y ROCH, V. (2010).** Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Rvta. Ingeniería Civil*, N° 157: 85 -96. Madrid. España.
- MARTENSEN, J. (2010).** Estudio hidrogeomorfológico y de carga de fondo de la Cuenca del Río Muerto (Tramo Arroyo Las Conchas – Frontino). Área Protegida de San Javier. *C.O.C.Hi. – (PSSJ) (UNT) (Inédito)*. p.p.2. San Miguel de Tucumán.
- MUNNÉ, A., SOLÁ, C. & N. PRAT (1998).** QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua* 175. p.p. 20-37. Barcelona.
- MUNNÉ, A.; PRAT, N.; SOLÁ, C.A.; BONADA, N.; & RIERADEVALL M. (2002).** A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and treams: QBR index. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. Publ. on line in Wiley InterScience*. USA.
- OLCINA CANTOS, J. (2008).** Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales. *Sripta Nova. Rev. Electr. de Geografía y Ciencias Sociales*, Vol. XII. N° 270 (14), p.p. 1-15. Barcelona. España.
- OLLERO OJEDA, A., BALLARÍN FERRER, D. y MORA MUR, D. (2009).** Aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en la Cuenca del Ebro. Guía Metodológica. *Confederación Hidrográfica del Ebro*. Min. M.A. y M. R. y M. p.p.200. España.
- ORELLANA, M. (2018).** Riesgos Geoambientales y Sanitarios del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos del municipio de Aguilares. Provincia de Tucumán. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad Regional Tucumán (FRT). Universidad Tecnológica Nacional (UTN).
- ORTIZ, A. F. (1978).** Geología de la Cuenca del Río Muerto, Provincia de Tucumán. *T. Seminario (Inédito)* Facultad de Ciencias Naturales. Univ. Nac. de Tucumán (UNT).
- PARDO, I., et al. (2002) El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnética* 21: 115 – 132. España.
- RUIZ HUIDOBRO, O.J. (1960).** El horizonte calcáreo dolomítico en la provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* 3, p.p. 147-173. Tucumán. República Argentina.
- SESMA, P., GUIDO E.Y. Y. PUCHULU.M. E. (2010).** Geología de la ladera oriental de la Sierra de San Javier, soporte físico para la gestión territorial. In *Ecología de una interfase natural-urbana*.

La Sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. U.N.T. Tucumán.

SIROMBRA, M.G.; (2011). Diagnóstico y Propuestas de Gestión Ambiental sobre la base del Estudio de Calidad de Ecosistemas Ribereños en un Sector del Pedemonte Oriental de la Sierra de San Javier, Provincia de Tucumán, Argentina. *Tesis Doctoral (Inédito) Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT)*, p.p.156.

SST ASESORES. Análisis de Peligro – Metodología: ¿Qué pasa si? o “What.If”. *Extraído de: <http://www.sstasesores.pe>*

TINEO, A., FALCÓN, C., GARCÍA, J., D'URSO, C., GALINDO, G. Y RODRÍGUEZ G. (1998). Hidrogeología. p.p. 259-274 en *Geología de Tucumán. 2da.Edición.* (M. Gianfrancisco, M.E. Puchulu, J. Durango, G.F. Aceñolaza, editores). Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. San Miguel de Tucumán.

TOSELLI A, ROSSI DE TOSELLI J. (1998). El basamento metamórfico-ígneo de las Sierras Pampeanas de la provincia de Tucumán. p.p. 47-56 en *Geología de Tucumán. 2ª Edición.* (Gianfrancisco, M. Puchulu,M.E, , Durango, J,G y Aceñolaza, G.F. editores). Colegio de Graduados en Ciencia Geológicas de Tucumán. Tucumán.

TOSELLI A, GODEAS M, ROSSI DE TOSELLI J. (1975). Contribución al conocimiento petrológico del metamorfismo del basamento esquistoso de la Sierra de San Javier, provincia de Tucumán, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología (AMPS) 6*, p.p. 103-114. Buenos Aires.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2001). Información general sobre la preparación y la respuesta frente a desastres naturales, PP. 80. Extraído de: [https:// espanol.epa.gov /espanol/informacion-general-sobre-la-preparacion-y-la-respuesta-frentedesastres-Naturales.](https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-general-sobre-la-preparacion-y-la-respuesta-frentedesastres-Naturales)

ANEXO I

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 1: Parque Sierra de San Javier (U.N.T.) y un gavión transversal parcialmente destruido actualmente.

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{-parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 1	<i>Inestabilidad del terreno: Desprendimientos</i>	1	Márgenes: Buen ecosistema de riberas evita inestabilidad	1	Escasa en la margen izquierda. Nula en margen derecha.	1	Tramo alejado de bienes y personas.	1	2
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1	Zona estable/medio rígido - Casi nula afección ante sismos	0	Sin datos	1	Tramo alejado de bienes y personas.	1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1	Material aluvial y friable	0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	2	Cauce encajonado, márgenes estables y elevada pendiente long.	0	Nula	1	Tramo alejado de bienes y personas.	1	1
	<i>Erosión</i>	2	Buen estado de vegetación riparia. Tramo de montaña	0	Baja	1	Tramo alejado de bienes y personas.	1	1
	<i>Incendios forestales</i>	1		1	Sin datos	1		1	2
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	1	No existen obras civiles	0	Sin datos	1	Tramo alejado de bienes y personas.	1	1
									9

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
9	BAJO

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 2: Gavión transversal parcialmente destruido y confluencia del Río Muerto con la Quebrada de las Conchas (cantera).

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 2	<i>Inestabilidad del terreno: Desprendimientos</i>	1	Deslizamientos por imbibición de agua en macizos rocosos	4		1,25		1	5,25
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1	Zona estable/medio rígido - Casi nula afección ante sismos	0	Sin datos	1		1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1	Material aluvial y friable	0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	2	Protección de márgenes con material de descarte	1	Escasa probab. con adecuada extracción de áridos	1		1	3
	<i>Erosión</i>	2		0		1		1	1
	<i>Incendios forestales</i>	1		1		1		1	2
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	1	No existen obras civiles	0		1		1	1
									14,25

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
14,25	BAJO

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 3: Quebrada de las Conchas (cantera) – Cantera Municipal Yerba Buena (S 26° 48' 15" & W 65° 19' 52", 608 m.s.n.m.).

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 3	<i>Inestabilidad del terreno: Desprendimientos</i>	1		1		1		1	2
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	3	Margen Izq. mucho mas baja que m. der. Riesgo desbordes y migrac. Cauce. Obra de protección de DPA.	3		1		1	10
	<i>Erosión</i>	2		0		1		1	1
	<i>Incendios forestales</i>	1		1		1		1	2
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	1		0		1		1	1
									18

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
18,00	MEDIO

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 4: *Cantera Municipal de Yerba Buena –Diques derivadores /puente carretero (R.P.Nº 338 a San Javier).*

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 4	<i>Inestabilidad del terreno: Desprendimientos</i>	1		1		1		1,25	2,25
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	3	Diques de contención se colmatan. Extracción clandestina de áridos (probablemente sin reglas del buen arte).	4		1		1	13
	<i>Erosión</i>	3	Erosión retrógrada	4	Se descargó estribo de puente carretero en 2019, con pérdida de vida humana	1,25	Asentamiento humano próximo a margen izq.	1,5	13,875
	<i>Incendios forestales</i>	2		1		1		1,25	3,25
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	3	Viviendas cercanas a la ribera del río - Puente s/RP 338	3		1		1,25	10,25
									44,625

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
44,63	MEDIO-ALTO

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 5 (a): Puente carretero sobre R.P. Nº 338 (camino a San Javier - GPS: S 26º 48' 41" & W 65º 19' 05").

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 5 (a)	<i>Inestabilidad del terreno: Desprendimientos</i>	3	Desprendimiento de paredes s/margen izq. Por sedim. loésicos	5		1,5		1,5	17,25
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	3	Alta probab. Si no se limpia tramo encajonado revestido aguas abajo del puente. Vertido RSU y extracc. clandestina áridos.	4		1,25		1,5	13,875
	<i>Erosión</i>	2	Ejecución de terraplen zona Las Paltas	3		1		1,25	7,25
	<i>Incendios forestales</i>	1		1		1		1,25	2,25
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	3		3		1		1,25	10,25
									52,875

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
52,88	ALTO

CALCULO DEL INDICE DE RIESGO NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO MUERTO

Tramo 5 (b): Tramo canalizado (canal Yerba Buena).

TIPO DE RIESGOS	RIESGO POTENCIAL	FACTOR PROBABILIDAD (Ocurrencia en los últimos años) PELIGROSIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS (Humanos, ambientales y materiales) VULNERABILIDAD
-----------------	------------------	---	---

ZONA DE RIESGO AFECTADA	RIESGOS NATURALES	PESO (P)	OCURRENCIA	VALOR (V)	FRECUENCIA	VALOR (N ₁)	MAGNITUD	VALOR (N ₂)	I.R.N _{parcial}
		1-2-3		0-1-2-3-4-5		1-1,25-1,5		1-1,25-1,5	
TRAMO 5 (b)	Inestabilidad del terreno: <i>Desprendimientos</i>	1	Canal trapecial revestido	1		1		1	2
	<i>Fallas activas - Movimientos sísmicos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Suelos expansivos</i>	1		0		1		1	1
	<i>Inundaciones</i>	3	Riesgo de entarquinamiento y crecimiento de vegetación dentro del canal	4		1,25		1,5	13,875
	<i>Erosión</i>	1		1		1		1	2
	<i>Incendios forestales</i>	1		0		1		1	1
	<i>Riesgos geotécnicos</i>	2		1		1		1,25	3,25
									24,125

CLASES DE RIESGO NATURAL	
VALORACION	CLASES DE RIESGO
0-15	BAJO
16-31	MEDIO
32-47	MEDIO - ALTO
48-63	ALTO
>63	MUY ALTO
INDICE DE RIESGO NATURAL	
24,13	MEDIO