

EJE TEMATICO: 2 - Bienes naturales y problemas ambientales

USO DE INDICES BIOLÓGICOS E HIDROGEOMORFOLÓGICOS COMO INDICADORES DE RIESGO GEOAMBIENTAL EN EL TRAMO MEDIO DEL RIO MEDINAS. PROVINCIA DE TUCUMAN. REPUBLICA ARGENTINA

(+) **Rubén I. Fernández & (*) Miguel E. Orellana**

(+) **Secretaria de Estado de Medioambiente de la Provincia de Tucumán (SEMA)
Facultad Regional Tucumán (FRT).Universidad Tecnológica Nacional (UTN)**
ruifernandez2002@gmail.com & ruifernandez73@yahoo.com

(*) **Ingeniero Consultor .Diego de Villarroel 1806.Aguilares .Tucumàn**
miguel_orellana@hotmail.com

ABSTRACT

The geoenvironmental risks and the quality of the riparian ecosystems are analyzed and described in the middle stretch of the Medina River basin, Municipality of Aguilares, in the province of Tucumán, Argentina. A Geoenvironmental Risk Analysis (ARGA) is proposed as diagnostic methodology; by combining the use of qualitative and semiquantitative biological and hydrogeomorphological indices (QBR and IHG); who value the quality of riparian forests, hydrogeology and geomorphology of the basin. These indexes are used to qualify and identify zones of strong natural and anthropic environmental impact on both banks of the river channel; through the use of 7 (seven) transects and in 2 (two) stages of descriptive work. Hazard zones were mapped in the sections studied (quality ranges based on numbering and determining colors) and recommendations are made for future conservation and environmental management measures.

INTRODUCCION

Este trabajo es una contribución al **Programa de Estudio de Cuencas Hídricas de la provincia de Tucumán (PECHT)**, que realiza la Secretaria de Estado de Medio Ambiente (S. E. M. A.) desde el año 2008. Así se ha estudiado el tramo medio de la cuenca del **Río Medinas** para caracterizar la calidad de sus bosques de ribera, cartografiar las zonas de peligro por riesgos de inundaciones y contaminación por vuelco de residuos sólidos urbanos (RSU). El uso de índices biológicos e hidrogeomorfológicos se realiza en nuestra provincia desde hace varios años y ha permitido conocer y analizar los riesgos naturales y antrópicos de

numerosos ríos de la cuenca Salí –Dulce (Fernández,2015,2017a y b).

El Municipio de Aguilares donde se encuentra la zona de estudios, está ubicado a 86 km al sur de San Miguel de Tucumán, sobre ruta Nacional N° 38, siendo la ciudad cabecera del Departamento de Río Chico. El área estudiada (Figs.1-2) comprende la zona denominada “La Bolsa” de 33 hectáreas sobre la margen izquierda del **Río Medina** y a la vez una franja rectangular de casi 2km que se extiende de oeste a este sobre ambas márgenes con ancho promedio de 200m (Orellana,2018).

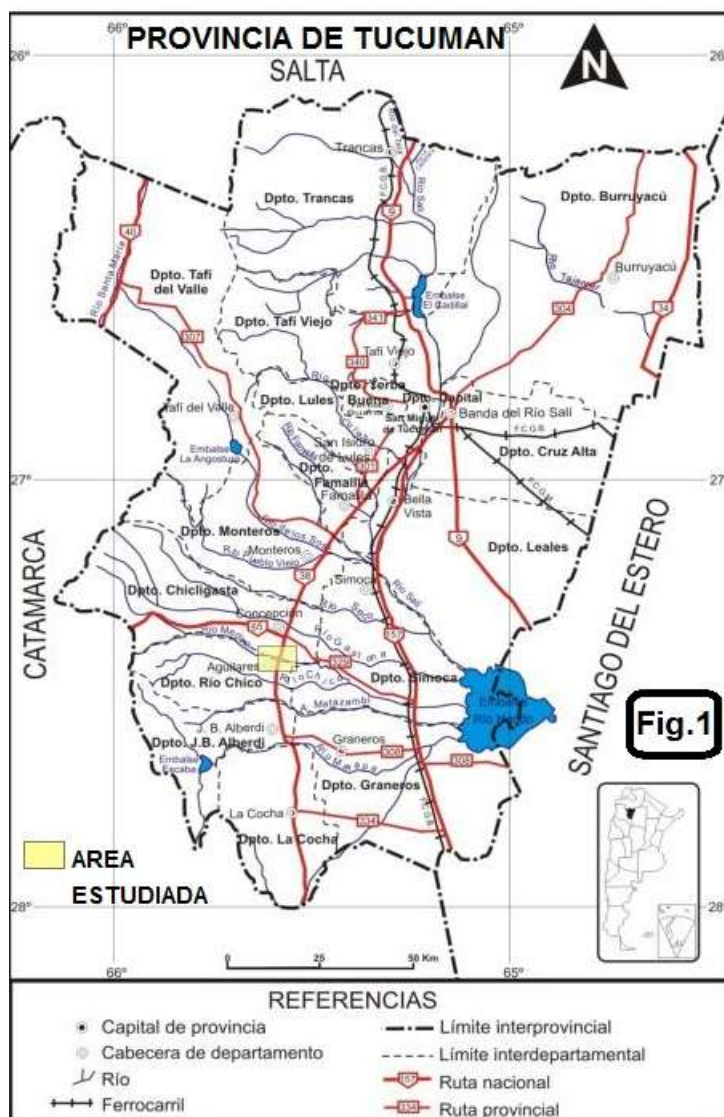


Fig.1: Ubicación de la zona estudiada en la provincia de Tucumán

Como el área estudiada comprende gran parte de los límites septentrionales de la ciudad de Aguilares, podemos decir a manera que es conocida como la Ciudad de “Las Avenidas” y se encuentra a 372 msnm., contando con 32.908 habitantes, según censo año 2010 (DEP, 2015).

CARACTERISTICAS GEOAMBIENTALES DEL ÀREA DE TRABAJO

Para este trabajo se han tomado como base los estudios realizados por García Salemi (1993), Arcuri (1995), García Salemi y Fernández (1996), , **Hoja 2766 –IV “Concepción Dal Molin *et al* (2003) Fernández (2005, 2009 a y b, 2017b) y Collantes y Busnelli (2014 a-b) Suayter et al (2015), y Orellana (2018).** El área de estudios se ubica geomorfológicamente en una zona de transición entre la denominada **Llanura Pedemontana** y **Llanura Deprimida** (**Fig.2**) (Fernández,2002,2005).

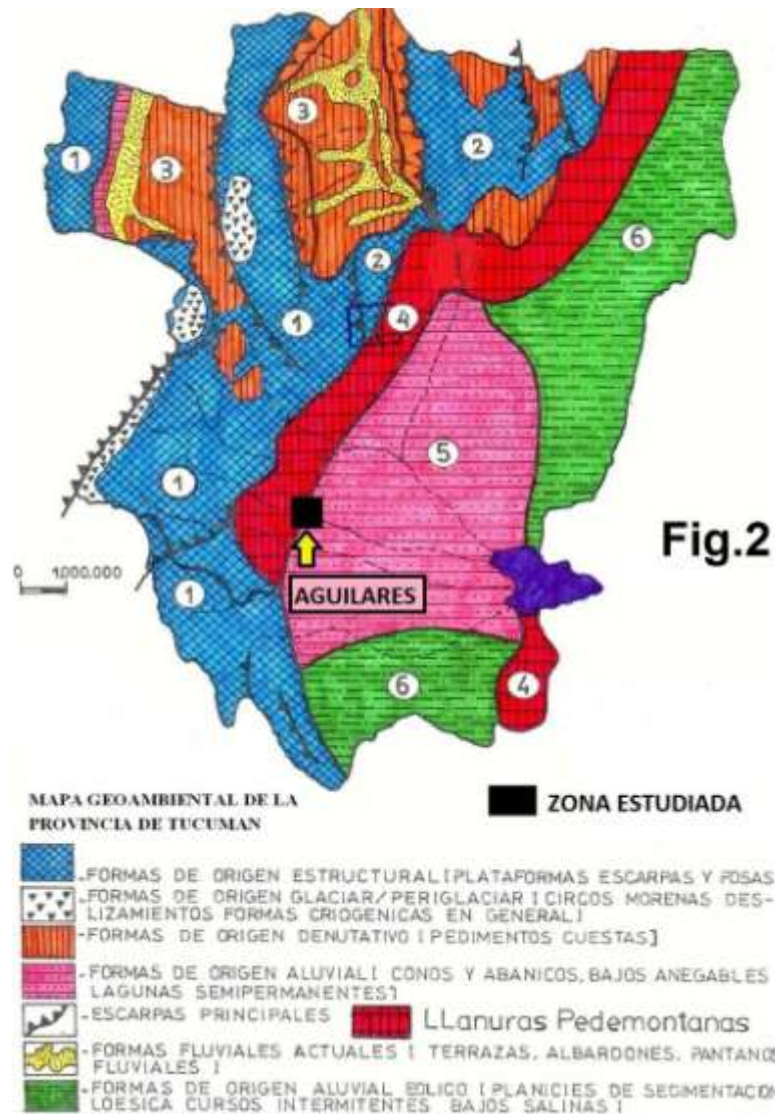


Fig.2: Mapa de Riesgo Geoambiental de la provincia de Tucumán (Fernández, 2005) LLANURA PEDEMONTANA (Fernández, 2002, 2005). (Fig.Nº2)

Zona 4= Sin Cohesión: Integrada por rocas sedimentarias (conglomerados, gravas fluviales, fanglomerados, areniscas friables gruesas y finas, loess retrabajado, limos y arcillas)

constituyendo los denominados “terrenos sin cohesión” o “Piedemonte” (Sayago *et al*, 1998, Fernández 2002,2005). Como elementos morfogenéticos se destacan: pedimentos, cuevas glaciares (de erosión y cubiertas), paleoconos y valles fluviales. Esta zona se caracteriza por suelos de origen aluvial y loésicos (éstos últimos con un horizonte rico en arcilla (apta y explotable para cerámica roja) y con fuertes pendientes. Se destacan las formaciones de cárcavas en terrenos que han sufrido explotación agrícola de caña de azúcar, citrus y hortalizas (Fernández, 2002-2005 y Orellana,2018).

LLANURA DEPRIMIDA (Fernández, 2002, 2005). (**Fig.Nº2**)

Zona 5 = Sin Cohesión: También denominada, “Llanura Aluvial” por Sayago *et al* (1998), con una morfogénesis fluvial, originada por ríos con nacientes en la vertiente oriental de cordones montañosos occidentales, Aconquija, Narváez, etc. que migraron sobre la llanura por influencia neotectónica. Ello origina una dinámica fluvial –construccional, representada por formas actuales y paleoformas de divagación fluvial tales como: meandros abandonados, lagunas semilunares, pantanos fluviales y planos de anegamiento estacional (más frecuente en ríos del sur de la provincia que desembocan en el Dique El Frontal), (García Salemi, 1995), (García Salemi y Fernández, 1996), (Sayago *et al*, 1998).

Litológicamente se destacan depósitos de loess retrabajado en planos interfluviales eólicos (sujetos a erosión hídrica y eólica), limos, arenas medianas, gruesas y gravas fluviales (en paleocauces y cauces actuales); que son susceptibles de anegamientos estacionales e inundaciones, que fueron estudiados en detalle por Arcuri (1995) García Salemi y Fernández (1996) y Suayter *et al* (2015). Los planos deprimidos y anegables (en medio de suaves ondulaciones) se caracterizan por limos palustres y arcillas, con procesos de inundación y flujos torrenciales (Fernández, 2005, Orellana, 2018).

ASPECTOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

Cuaternario – Holoceno

Seguendo el esquema propuesto por García Salemi (1993,1995a), Arcuri (1995), García Salemi y Fernández (1996), Collantes y Busnelli (2014a) y Orellana (2018), podemos decir que el área de trabajo se caracteriza litológicamente por sedimentos complejos de loess + paleosuelos, fanglomerados, limos, arcillas, arenas y gravas fluviales. Estas acumulaciones se extienden como una faja norte-sur, a lo largo de todo el piedemonte oriental del sistema de

serranías relleno los espacios entre las lomadas formadas por los remanentes de las rocas terciarias (Suayter et al , 2015, Orellana,2018).

La zona estudiada, que comprende una franja de **2km** oeste-este hacia ambos lados del puente carretero (**Ruta N° 38**); muestra una interesante morfología fluvial del **Río Medina** que pasa de canales anastomosados –al oeste – a un sistema meandriforme al este (**Fig.3-4**).

Este hecho fue estudiado en detalle por García Salemi (1993, 1995b), Arcuri (1995) y Suayter et al (2015). También el área de estudios comprende el sector denominado “**La Bolsa**” (espira o omegas (Ω) de dos tipos de meandros) que han formado 2 (dos) juegos o sistemas de paleocauces sobre la margen izquierda del Río Medina (Orellana,2018) (**Fig.4**).



Fig.3: Delimitación de la zona estudiada en ambas márgenes del Río Medina
En el área de la “La Bolsa”, puede verse parte de la estratigrafía cuaternaria gracias al destape realizado en las barrancas e interior del sitio aledaño al vertedero por canteras de arenas y arcillas (Fernández, 2009a). Este autor describe una secuencia basal de arcilla pardo rojiza plástica de 2,50 a 3 metros de espesor; con niveles de lentes arenosos gruesos con limos arenosos intercalados color pardo amarillento. Por encima se disponen 2-3 metros de “LOESS” color pardo amarillento (franco a franco arcillo limoso); que aparece disectado por depósitos fluviales (grano-decrecientes) y en zonas cercanas a la ribera (grano-crecientes de tipo abanico aluvial) (Fernández, 2009a, Orellana, 2018) (**Fotos 1-2**).



Foto 1: Capas de Loess en La Bolsa



Foto 2: Barrancas sobre margen izquierda

Por sobre éstos depósitos loèsicos, se disponen series de **SUELOS** de tipo **Molisoles**

1. Hapludoles fluvénticos y cumúlicos; Argiudoles típicos y Hapludoles taptoárgicos en la zona de **Llanura Pedemontana (Fig.5)** y **2. Hapludoles (fluvénticos, cumúlicos y fluvacuénticos y Haplacuoles aéricos** en la **Llanura Deprimida (Fig.6)** (Zuccardi y Fadda, 1985), Fernández (2009 a - b), Puchulu y Fernández (2104; Orellana, 2018).

La **hidrogeomorfología** meandrante que se destaca sobre la margen izquierda del río Medina (**Fig.4**) tiene la particularidad de formar **Omegas** con formas de **S** y **U**, según la clasificación de Vogt (1965) y García Salemi (1993). En dichos meandros (**Fig.4**) que hoy aparecen como **paleocauces abandonados** se midió una relación entre longitud de onda y amplitud (λ / Δ) = 1,2, y 1,4 o sea (λ) = 900 y 1000m y Amplitud (Δ) = 600 y 860m (García Salemi Salemi y Fernández 1996, Suayter et al 2015). Estos autores demuestran que hubo una gran influencia climática y cambio en las precipitaciones (entre 1000mm y 800mm anuales) en la zona estudiada; lo que ha favorecido a través del tiempo (varios miles de años) y en últimos 20 años, grandes desbordes del eje hidrológico (inundaciones) sobre la margen izquierda que tiene barrancas entre 2 y 3m de altura (menores que las de margen derecha superiores a los 5 metros) (Orellana, 2018).

Recientes trabajos de García *et al* (2014) describen para la zona pedemontana ubicada entre Aguilares, Alberdi y La Cocha; la presencia de lomadas con sedimentitas miocenas a poca profundidad, que salinizan las aguas con sulfatos de sodio y calcio (Orellana, 2018).

Fernández (2009 a), Suayter *et al* (2015) y Orellana (2018) reconocen que a la altura de Aguilares, la pendiente general del **Río Medinas** decrece en forma suave y continua; con una cierta tendencia a la erosión lateral de las barrancas debido al ángulo de incidencia de las aguas sobre las mismas que se aproximan a los 90° y carecen de vegetación ribereña por la intensa actividad agropecuaria (caña de azúcar) hasta el borde mismo del lecho fluvial.

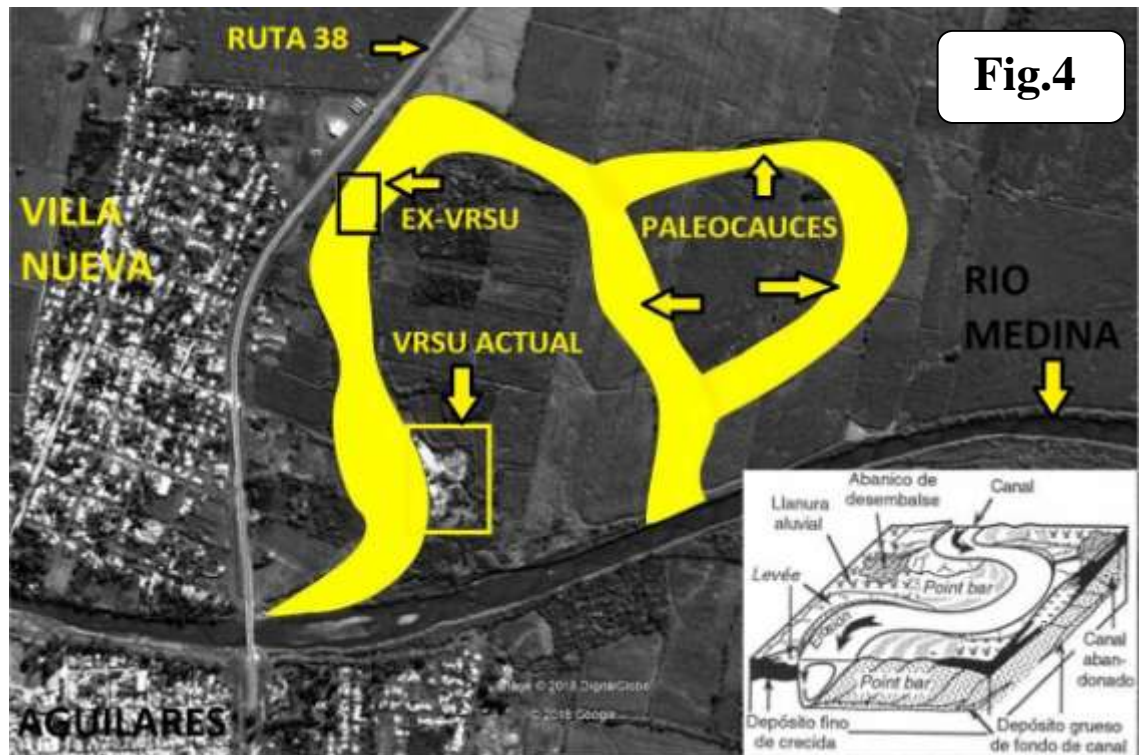
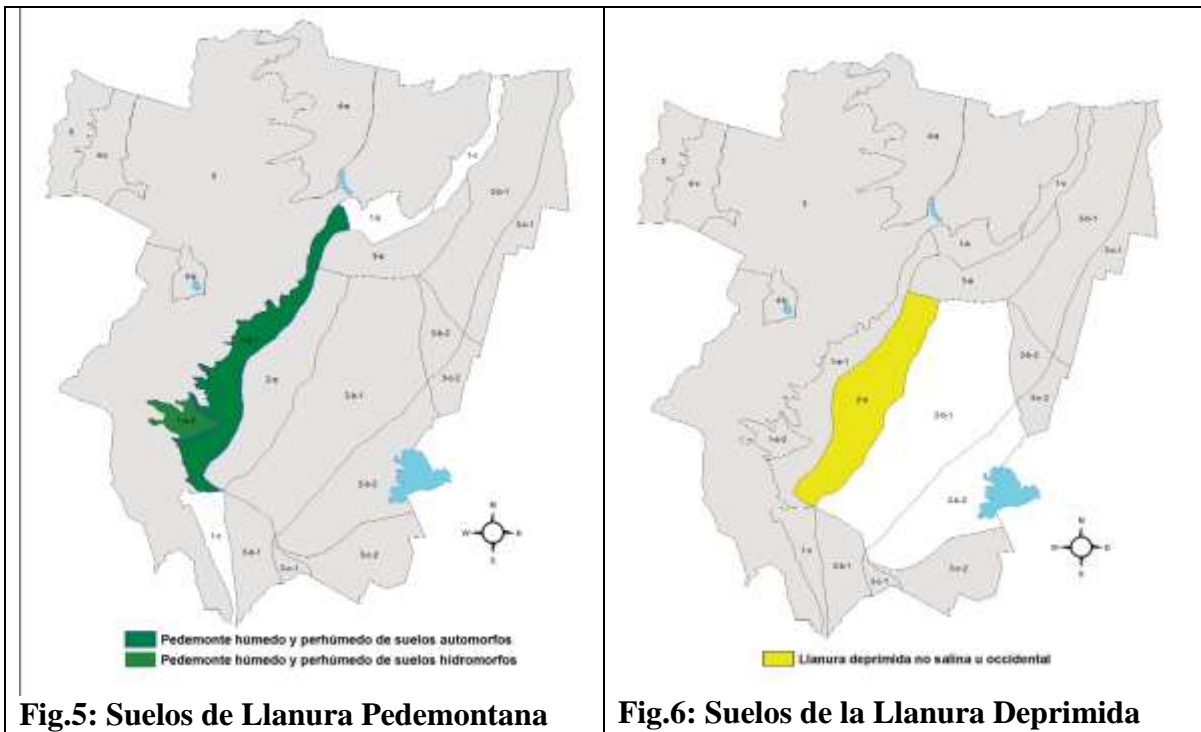


Fig.4: Detalle de meandros (y esquema hídrico) sobre la margen izquierda Río Medinas

Recientemente Collantes y Busnelli (2014b) describen para ésta zona de **Llanura Deprimida**, las siguientes unidades de relieve: 1) Planos interfluviales eólicos (como el caso de La Bolsa), 2)Paleocauces (meandros abandonados), 3)Cauces actuales (Río Medina) y 4)Planos de divagación paleofluvial (como el caso de la segunda espira de meandro (Ω) al este de La Bolsa).(Fig.4).Asimismo describen para cada unidad los siguientes procesos:1) Erosión hídrica y eólica,2)Pedogènesis y anegamiento estacional, 3) Inundación y aluvionamiento (caso de la margen izquierda estudiada) y 4) Anegamientos estacionales (Orellana,2018).

ANALISIS DE RIESGO EN BASE A LA CALIDAD DE BOSQUES DE RIBERA

Actualmente se proponen diversos índices como medida de la calidad de los ecosistemas acuáticos, para establecer el estado ecológico integral del sistema estudiado, e incluyendo datos sobre las características físico-químicas del agua, las comunidades biológicas que viven en ella y la situación de las riberas U.E. (2000). Munné *et al* (1998,2002)) muestran que los componentes biológicos son los elementos clave para la calificación del estado ecológico La ribera es el hábitat que normalmente se desarrolla a lo largo de la orilla de un río e incluye las terrazas fluviales, cuando las hay. En su estado natural, tiende a estar cubierta por vegetación, siempre que: el sustrato, la recurrencia de las grandes avenidas y geomorfología lo permitan.



El estado de salud de este bosque puede aportar mucha información sobre la situación del estado ecológico del sistema (Munné *et al*, 1998, Fernández, 2001, Sirombra y Fernández, 2005) (Fernández, 2009, 2010, 2015 y 2017). Las riberas son una parte esencial de los ecosistemas fluviales. Representan una zona de ecotono o transición entre el medio acuático, de caudales circulantes y el medio terrestre de las inmediaciones del río, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al constituir un espacio compartido en el ciclo del agua, de los sedimentos y de los nutrientes (González del Tánago, 2002). Las riberas permiten el mantenimiento de una alta biodiversidad (Naiman y Décamps, 1997), proveen refugio y alimento para la vida silvestre (Bodie y Semlitsch, 2000) y además protegen el canal principal de los cambios temporales y amortigua los grandes disturbios. Esta condición hace difícil comparar hábitats riparios a lo largo del *continuum* del río y numerosos inconvenientes pueden surgir durante la investigación y ajuste del índice de calidad de hábitat de las riberas en los diferentes ríos. Las mediciones de la calidad del agua son a menudo utilizadas como indicadores biológicos primarios, sin embargo proveen poca información acerca de la dimensión lateral y vertical de un ecosistema fluvial (Fernández, 2015b). Las mediciones del *status* de conservación de un hábitat ripario, no son a menudo utilizadas para describir la

salud de un curso de agua ni para ayudar a los directores o responsables de área en la toma de decisiones (Naiman *et al*, 1997).(Fig.7)



Fig.7: Detalle de las zonas de ribera, orilla y canal fluvial

En la última década varios países de la comunidad europea han comenzado a utilizar una serie de índices biológicos-combinados con caracteres geomorfológicos para caracterizar y evaluar el impacto ambiental producido por asentamientos poblacionales e industriales; como así también la influencia de diversas obras civiles sobre el hábitat ripario (Munee *et al*, 2002, y en nuestro país Fernández, 2015, 2017a y b). El incremento de la obra pública y la demanda de áridos (arena y ripio) impulsó una gran actividad minera que no pudo controlarse eficazmente debido al escaso personal de policía minero-ambiental y al trabajo clandestino de particulares (Fernández, 2017a). Así a partir de las denuncias de tala incontrolada de los bosques riparios, desbordes e inundaciones en varios tramos de los ríos estudiados, se procedió a estudiar los mismos mediante el uso de índices biológicos e hidromorfológicos (Orellana, 2018).

METODOLOGIA DE TRABAJO

Los trabajos de (Munné *et al*, 1998, 2003) han demostrado que el entorno inmediato del río, que incluye la zona de crecidas extraordinarias y las terrazas aluviales, es un elemento clave en el funcionamiento del ecosistema fluvial y del estado de salud del bosque ribereño; (Naiman *et al*, 1988, Fernández, 2015, 2017). Así estudiamos un sector del área ribereña del **Río Medina** usando el Índice **QBR** (Qualitat de Bosc de Riber), como medida del valor del estado de conservación y como indicador de riesgos geoambientales. También se usó el índice **IHG** (**Índice hidromorfológico**) que evalúa la calidad hidromorfológica del sistema fluvial en éste tramo de la cuenca (Orellana, 2018). La zona situada 1km al N de la ciudad de Aguilares tiene como características:

a) Su proximidad a zonas semirurales (actividad agropecuaria –cultivo de caña de azúcar) y urbanizadas con fuerte presión antrópica (asentamientos poblacionales y actividad

minera); b) Entorno socioeconómico con altos índices de pobreza (alrededor del vertedero de **RSU**) y **NBI** (Necesidades Básicas Insatisfechas) (Orellana, 2018).

c) Uso clandestino de recursos naturales y alto grado de contaminación por cercanía a zonas industriales (Ingenio) y al ejido municipal (Orellana, 2018).

En nuestra provincia se ha utilizado ésta metodología desde 1999, con fines biológicos y geotécnicos en varios ecosistemas de fluviales de montaña y llanura (Lules, Pueblo Viejo, Calera –Salí y Gastona), (Fernández, 2008, Sirombra & Fernández, 2005, Sirombra *et al*, 2009, Fernández, 2011, 2013, 2015 y 2017). El uso de éste método complementa otros análisis previos de riesgos geoambientales; que en su mayoría **no realizan previsiones** para la futura gestión hídrica, como el caso de inundaciones y/o aluviones con pérdida del bosque de ribera.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo realizado sobre ambas márgenes del **Río Medina**, tiene como límites:

a) Oeste: 100m al oeste del Puente Ferroviario (hoy en parte caído) y b) Este a 400m de la Laguna del Matadero viejo (enfrente a **La Bolsa**) (**Fig.8**, mapa de Transectas).

Los relevamientos y observaciones que se realizaron en el río **Medina**, fijaron una serie de estaciones móviles en ambas márgenes (dos por cada transecta) colocando estacas numeradas georeferenciadas con **GPS** y marcadas con pintura en aerosol. Las transectas se tomaron en forma perpendicular al cauce del río de acuerdo a la metodología propuesta por Muné *et al* (1998) y Fernández (2013), tratando de analizar con más detalle la variación del mismo, en la zona de mayor incidencia sobre el **SDF (Sitio de Disposición Final)**. El proceso se desarrolló en dos (2) etapas (Ver Mapas –**Figs. 8-9**) (Orellana, 2018).

1.- Primera Etapa: Lado Oeste del Puente Carretero Viejo (Villa Nueva), hasta lado oeste Puente de Ruta Nacional N° 38, en tres (3) transectas con 200m de separación, cada una.

2.- Segunda Etapa: Lado Este Puente sobre Ruta Nac. N° 38, hasta aproximadamente el límite este, del Sitio de Disposición Final de los Residuos (SDF), del Municipio de Aguilares, en el predio “La Bolsa”, con cuatro (4) transectas: tres (3) con 200m de separación y una (1) de 150m (Ver Mapa de transectas, **Fig.8**).

INDICE QBR:(Qualitat de Bosc de Riber –denominación en catalán): (Tabla I)

De acuerdo con las propuestas efectuadas por la Comunidad Económica Europea CEE-COM (1997), sobre la calidad de ecosistemas ribereños; Munné *et al* (1998) elaboraron el **Índice QBR (Qualitat de Bosc de Ribera)**, que tiene por objetivos simplificar estudios

complejos y costosos que aumentan considerablemente el número de variables para la medición de calidad y biodiversidad.



Fig.8: Mapa de transectas usadas para medición y cartografía del QBR & IHG

Es un Índice Rápido para la Evaluación de los Ecosistemas de Ribera, y tiene como ventajas: Puede ser fácil y rápidamente calculado en el campo. También puede ser usado junto con indicadores biológicos de calidad de las aguas, para la determinación del estado ecológico de los ríos. Los **ATRIBUTOS** que Pondera son:

- 1- Cobertura de la vegetación de ribera.**
- 2- Estructura o grado de madurez de la vegetación.**
- 3- Complejidad y naturalidad de la vegetación.**
- 4- Grado de alteración del canal fluvial.**

Además el índice se usa para establecer el estado ecológico del sistema estudiado e incluye datos sobre: a) Características Físico-Químicas del agua, b) Comunidades biológicas que viven en ella y c) La situación de las Riberas. De acuerdo con el trabajo de Munné *et al* (1998-2002), la Comisión Europea (COM, 1997) propone como medida de calidad de los ecosistemas acuáticos, establecer el estado ecológico del sistema estudiado. Así la importancia de éste estudio implica que los **Elementos Clave** para la **CALIFICACIÓN** de este estado ecológico son los **COMPONENTES BIOLÓGICOS**. El trabajo de Munné *et al* (1998-2002) demuestra de acuerdo a numerosos estudios científicos que el entorno inmediato del río, que incluye la zona de crecidas extraordinarias y las terrazas aluviales, es un elemento

clave en el funcionamiento del **ECOSISTEMA FLUVIAL** y la información del **ESTADO DE SALUD DEL BOSQUE RIBEREÑO** aporta mucha información sobre la situación del estado ecológico de este sistema, (Naiman *et al*, 1988, Orellana, 2018). (**Fotos 3-4**).



Foto 3: Vista al sur de margen izquierda mostrando obras de canalización (Transecta 4)



Foto 4: Vista del mismo lugar desde el puente carretero viejo (Transecta 4)

Así se trata de comparar el estado actual del sistema del área que estudiamos con un estado de referencia donde la biodiversidad y funcionalidad del sistema solamente estarían influidas **por perturbaciones que ocurrieran de forma natural** (Fernández, 2013, 2015, y Orellana, 2018). Debe tenerse en cuenta que este índice fue diseñado originalmente para cursos de agua europeos bajo clima mediterráneo y que el sistema pedemontano de la sierra del Aconquija y sus componentes bióticos y abióticos responden a características de un clima subtropical (Sirombra & Fernández, 2005, Fernández, 2015 y 2017).

CALCULO DEL INDICE QBR.

Según Munné *et al* (1998-2002), consta de 4 apartados que sintetizan diferentes **ASPECTOS CUALITATIVOS** del estado de la zona de ribera. Cada apartado tiene la misma importancia en la cuantificación final del estado de la zona ribereña, y es **PUNTUADO**, de manera independiente, con un mínimo de 0 puntos y un máximo de 25. El resultado final del índice se obtiene de la suma de las puntuaciones de cada apartado. Por lo

tanto, el **QBR** da una puntuación a la zona de ribera que varía desde 0 (mínima calidad) a 100 (máxima calidad). El índice se calcula en una hoja de campo donde están anotadas las observaciones que tienen que hacerse y la puntuación en cada caso. Para calcular el QBR, en un determinado punto de muestreo, debe observarse la totalidad de la zona de ribera (la orilla y la ribera propiamente dicha) en una longitud de 100 metros aproximadamente. (**Tablas N° I y II**). La **ORILLA (Fig. N° 7)** es la zona de avenidas ordinarias, con un tiempo de recurrencia de dos o tres años y puede que no haya vegetación arbórea. En cambio, la **RIBERA (Fig.7)** es la zona sometida a avenidas de recurrencia superior, e incluye terrazas fluviales. Todos los porcentajes indicados hacen referencia al conjunto del margen derecho e izquierdo del río (Sirombra & Fernández, 2005). Asimismo, en la hoja de campo tiene que constar la localidad donde se mide el QBR, como así también la fecha del muestreo. Conviene remarcar, también las opciones escogidas en cada apartado, y no solamente la puntuación final, para tener una idea más amplia de la zona muestreada y contrastar los resultados posteriormente. (**Tabla N° I**).

NIVELES O RANGOS DE CALIDAD DE RIBERA (Tabla N° I)

La puntuación final permite establecer el grado de calidad del ecosistema de ribera con los niveles de Muné *et al* (1998), que distinguen **cinco niveles** representados por colores diferentes y permiten compararlos con otros lugares o constatar la evolución de un mismo punto frente a perturbaciones naturales (riadas) o antrópicas (Fernández, 2010,2017).

TABLA I: RANGOS DE CALIDAD DEL ECOSISTEMA		
PUNTUACION	CALIDAD	COLOR
≥ 95	Ribera sin alteraciones, ESTADO NATURAL	AZUL
75 – 90	Ribera ligeramente perturbada, CALIDAD BUENA	VERDE
55 – 70	Inicio de alteración importante, CALIDAD ACEPTABLE	NARANJA
30 – 50	Alteración fuerte, CALIDAD MALA	AMARILLO
0 – 25	Degradación extrema, CALIDAD PÉSIMA	ROJO

INDICE IHG (Índice Hidrogeomorfológico) (Fig.8 y Tabla II)

El **índice IHG** se basa en el hecho de que todos los impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas y vertientes o diferidos en el tiempo, cuentan con una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas. El hecho de que el índice **IHG** se base en un trabajo de búsqueda o identificación de impactos o presiones puede hacerlo también muy útil en la planificación y en la restauración fluvial. 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**:

1) 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).

2) 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).

3) 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 (10) entre valores positivos y negativos ;agregándose un color característico similar al propuesto por Munnè *et al* (1998 ,2002) .

A continuación se evalúan los impactos y presiones, lo que implica restar puntos a ese valor inicial. En nuestra provincia este índice fue utilizado en la Cuenca del **Río Muerto y Río Lules** (Sierra de San Javier), y en los ríos **Salí y Calera** en trabajos de Fernández (2015 y 2017) (Orellana, 2018).

TRABAJO DE CAMPO (Fig. 8 y TABLA II)

Este trabajo se realizó durante los años 2014 a 2016 con observaciones en ambas márgenes del Río Medinas (usando las transectas de **Fig.3**); las que se dividieron en 2 (dos) etapas (Orellana, 2018):

1.- Primera Etapa: Lado Este del Puente Ferroviario Viejo (Villa Nueva), hasta lado Oeste Puente de Ruta Nacional N° 38, con **tres (3) transectas** y 200m de separación entre

cada una. (*) Las estaciones para cada transecta fueron geoposicionadas con **GPS** y marcadas con estacas numeradas y pintadas con aerosol)

2.- Segunda Etapa: Lado Este Puente sobre Ruta Nac. N° 38, hasta aproximadamente el límite este, del Sitio de Disposición Final de los Residuos (SDF), del Municipio de Aguilares, (“La Bolsa”), con **cuatro (4) transectas**: tres (3) con 200m de separación y (1) de 150m (**Ver Mapa de Transectas, Fig.3 y Tabla II**).

Los 7 **sectores** determinados (**o tramos**) se describen a continuación, consignándose para cada uno los correspondientes valores medidos de índices; que fueron asimilados a una escala cromática unificada (**Tabla II y Mapa de Riesgo**). 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).

1.- Primera Etapa (Tramos RM-1 a 3): Observamos que sobre la margen derecha entre ambos puentes, se está eliminando casi todo el bosque de esa ribera, realizándose por parte del municipio trabajos de nivelación y relleno con residuos de la construcción y áridos de distinta procedencia, hasta el nivel de barranca. Por consiguiente los valores de ambos índices (QBR y IHG) son menores a la situación anterior (sin eliminación del bosque). En cambio sobre la margen izquierda del río, encontramos barrancas altas, similares a las de la margen derecha, con pocos árboles de gran porte, como sauces, moreras y otros, acompañados de algunos tramos de caña *Bambussia sp.*, y predominio de tártagos. Asimismo se destacan formas escalonadas –a manera de niveles aterrazados - con fuerte pendiente resultado de antiguas defensas realizadas por la población de ribera. También se encuentran viviendas precarias (asentamientos y favelizaciones); algunas de ellas en el borde mismo de las barrancas (Orellana, 2018).

2.- Segunda Etapa (Tramos RM: 4 a 7): Observamos que sobre la margen derecha al este del nuevo puente carretero se presenta una lógica continuidad con la etapa anterior: línea de ribera con una terraza intermedia (prácticamente en toda la longitud de la etapa) cubierta desde la orilla hasta la barranca con cañas y tártagos, y algunos árboles de gran porte.

Allí se observa la existencia de “claros” (zonas sin cubierta arbórea) en varios tramos de la misma. La barranca de esta margen está ocupada por viviendas (la mayoría precarias), que continúan urbanísticamente los barrios del este de la ciudad de Aguilares. Las viviendas (asentamientos y módulos habitacionales en su gran mayoría) han colonizado prácticamente

hasta el borde del cauce fluvial (Orellana, 2018). En cambio sobre la margen izquierda del río, el panorama es un poco más complicado debido a la presencia del antiguo meandro, que formó el río en su recorrido por el antiguo cauce y que dio origen a “La Bolsa” (Fig.4). En la zona próxima al nuevo puente carretero de la Ruta N° 38, ésta margen izquierda es mucho más baja que la de la derecha, con muy poca vegetación arbórea y una ribera mucho más extendida (Ver Mapa de Riesgo Fig.9). La estrecha correlación entre los dos índices en ambas márgenes del Río Medinas, puede resumirse en la siguiente (Tabla II) (Orellana, 2018).

TABLA II ANALISIS DE RIESGO GEOAMBIENTAL EN BASE A INDICES BIOLÓGICOS E HIDROGEOMORFOLÓGICOS DEL RIO MEDINA

TRAMOS DEL RIO MEDINAS	INDICE QBR	INDICE IHG	CALIFICACION + RIESGO	COLOR IDENTIFICADO
Tramo (RM-1) (VTG- 1)	60	50	ACEPTABLE (Riesgo Moderado)	NARANJA
Tramo (RM-2) (VTG- 1)	57	45	ACEPTABLE (Riesgo Moderado)	NARANJA
Tramo (RM-3) (VTG- 1)	55	42	ACEPTABLE (Riesgo Moderado)	NARANJA
Tramo (RM-4) (VTG- 1)	47	51	MALA (Riesgo Moderado-Alto)	AMARILLO
Tramo (RM-5) (Z.R.I.)	25	20	PESIMA (Riesgo Muy Alto)	ROJO
Tramo (RM-6) (VTG- 1)	45	50	MALA (Riesgo Moderado-Alto)	AMARILLO
Tramo (RM-7) (VTG- 1)	55	50	ACEPTABLE (Riesgo Moderado)	NARANJA

Podemos agregar que geomorfológicamente la zona riparia del Río Medinas (Fig.3) en el tramo estudiado, tiene definido en todo su trazado; un tipo de valle (VTG -1) y una ZRI (Zona de Riesgo de Inundación) sobre su margen izquierda (a la altura del vertedero La Bolsa) (Orellana, 2018): Valle Tipo Geomorfológico (VTG- 1) (Tabla II – Fig.9) = Valle muy abierto y de considerable anchura, con llanura de inundación bien definida y confinada por terrazas fluviales de elevada fragilidad. Asimismo existe un espacio central con islas (albardones) y dimensión suficiente para la redistribución de los sedimentos y antigua creación

de diseños meandriiformes (observamos paleocauces de antiguas espiras (omegas: Ω) en ambas márgenes) (ver también Fig.3-4).

ZRI (Zona de Riesgo de Inundación) (Tabla II y Fig.9): Necesidad de **Rehabilitación y Restauración** para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual respecto a su estado de máximo potencial.

En el **Mapa de Riesgo** (Fig.9) elaborado a partir de ambos índices (**QBR y IHG**) se debe aclarar que para visualizar mejor el **GRADO DE PELIGROSIDAD** y **VALORAR** en más comprensiblemente la correspondencia entre ambos índices se ha tomado el color: **NARANJA (CALIDAD ACEPTABLE = RIESGO MODERADO)** y el **AMARILLO (CALIDAD MALA = MODERADO -ALTO)**.



Fig.9: Mapa de Riesgo de Inundación y Amenazas Antrópicas del Río Medinas

COMENTARIOS Y DISCUSION

Los valores de los Índices obtenidos **indican una fuerte alteración del ecosistema ripario** por lo que es necesario establecer un plan de recuperación del mismo, en la primera Etapa (**Tramos RM 1 a 3**); principalmente de especies arbóreas, con la implantación de

vegetación autóctona. Además se debería controlar la extracción de áridos (que actualmente es deficiente), complementándose con el relleno con **RCD** (residuos de construcción y demolición) de algunas “cavas” existentes en varios sectores de la margen izquierda del río; en la segunda etapa (**Tramos RM 4 a 7**). Ello se podría complementar con una fracción de (**RSU**) residuos sólidos que no comprometan la calidad del agua de la capa freática, que en esa zona se encuentra a niveles próximos al de la ribera. Esto disminuiría sustancialmente, el peligro potencial de inundación en caso de grandes crecientes (Orellana, 2018).

Así, se debe concretar un proyecto de recuperación que permita minimizar los riesgos de eventuales crecidas del río Medina y al mismo tiempo, optimizar el aprovechamiento del área del **vertedero de RSU (La Bolsa)**, que se vería seriamente comprometida en su uso. Del análisis de ambos índices vemos que la calidad de los bosques y del sustrato hídrico va mejorando a medida que se avanza hacia el este. También se observa un cierto aplanamiento del río, disminución de la profundidad del cauce y formación de pequeñas islas (albardones).

También hay disminución de altura de las barrancas, incluyendo mayor continuidad e incremento de la cubierta vegetal de las riberas. Según Orellana (2018) podemos ensayar algunas propuestas en vista de los **riesgos de inundaciones** que experimenta la cuenca en los tramos analizados y que son los más intervenidos por la mano del hombre (**Fig.9**).

1) Limpieza del cauce en los tramos (1), (2) y (3): Aun cuando la teoría hidráulica no recomienda tales acciones (**en ríos naturales, sin intervención antrópica**); en nuestro caso **sí debe hacerse** porque el cauce ya ha sido modificado con extracción minera, gaviones y obras de encauzamiento desde hace más de 50 años. La limpieza debe realizarse cuidando de mantener y/o suavizar sus paredes (barrancas), **sin tocar el bosque de ribera** y manteniendo el perímetro mojado circunscripto al canal principal (cauce histórico). Así se evitarían divagaciones con fuerte peligro erosivo hacia ambos márgenes. Esta tarea debe hacerse con control de la Policía Minera de la Provincia (DPM –SEMA), la DPA (Dirección Provincial el Agua) y la autoridad municipal de Aguilares (Orellana, 2018).

2) Programa de reforestación con especies autóctonas (Tramos 3 a 7): Tratar de recuperar el bosque de ribera con árboles autóctonos de gran porte como Laurel, Cebil, Cedro, Pacarà, Lapacho y Horco Molle, que han sido expoliados por su calidad maderera .

3) Promover la Restauración del Ecosistema Fluvial y Ripario: Se trataría de **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 Tànago, 2004).El futuro sistema natural restaurado del **Río Medina** 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 (incluidos el esparcimiento y solaz).
- e) **La resiliencia** o fortaleza frente a futuros impactos, su capacidad de auto-regulación y auto-recuperación.

4) Propuesta de creación de un Comité de Cuenca: Se recomienda su formación principalmente con los principales **actores sociales** (Vecinos, ONG s; Delegados Comunales, Intendente Municipal, Direcciones de Ambiente y Recursos Hídricos; Obras Públicas, provinciales y Municipales, etc.).Así se podrá monitorear el recurso hídrico y minero, implementándose medidas que generen un espacio **Educativo Ambiental**, que impulse la conservación, y sustentabilidad; en el marco de la Constitución Nacional (**Art.41**), Constitución Provincial (**Art.41**); y leyes nacionales p. ej. Ley Nacional N° **26.331 de Bosques** y Ley provincial de **Bosques N° 8304**) (Orellana, 2018).

Las futuras áreas a gestionar de la cuenca estudiada, están comprendidas entre las **Zonas I y II** (cauce principal y ambiente ripario) de la Ley provincial de **Bienes Inundables, N° 7696**.Dicha ley aún sin reglamentar intenta proteger jurídicamente el bosque de ribera ante los avances de la actividad agropecuaria y de extracción minera (áridos) (Orellana, 2018).

BIBLIOGRAFIA

Arcuri, C. B. (1995) Flood hazard assessment and zonation of the Medinas River Catchment (Tucumán, Argentina). Inundation hazard on semi-detailed scale 1:20.000. Th,Ms Sc.in Applied Geomorphology .International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Enschede.pp.119. The Netherlands (Holanda) Inédito.

Bodie J.R & Semlitsch,R.D.(2000)Spatial and temporal use of floodplain habitats by lentic and lotic species of aquatic turtles. Oecologia 122: 138 –146.USA

CEE-COM (1997-2000)Nº49:Propuesta de Directiva al Consejo por el que se establece un Marco Comunitario en el ámbito de una Política de aguas CCE,Final:73 pp. España.

Collantes, M.M. y Busnelli, J.(2014) Geomorfología de la provincia de Tucumán. En Moyano, S. Puchulu, M., Fernandez, D.Vides M., Nieva, S.& Acenolaza, G. (Eds.) *Geología de Tucumán*. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, pp. 228 -239.

Collantes, M.M., Busnelli, J. Gonzalez, L.M. (2014) “Riesgos Geoambientales de la Provincia de Tucumán”. En Moyano, S. Puchulu, M., Fernandez, D.Vides M., Nieva, S.& Acenolaza, G. (Eds.) *Geología de Tucumán*. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, pp. 357 -373.Tucumán.

Dal Molin, C.N., Fernández, D. Ecosteguy, L. Villegas, D. González, O. y Martínez, L. (2003) Hoja Geológica 2766-IV: Concepción. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina.1:250.000.Boletín N° 342, pp.42. SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino).Buenos Aires. República Argentina.

Dirección de Estadística de la Provincia (DEP) (2015) Mapas y censos de la provincia de Tucumán. <http://www.tucuman.gov.ar/organigrama-ver/1/0/14/3/2/0>

Fernández, R.I. (2002) Diagnóstico Geoambiental de la Provincia de Tucumán. Revista Gerencia Ambiental, N° 85: pp.315-327 y N° 86:pp.384-394.Buenos Aires. Argentina

Fernández, R.I. (2005) Aportes al Mapa de Riesgo Geoambiental de la Provincia de Tucumán. Argentina. Publ. Esp. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Energéticos y Pol. Amb. Gob. De la Provincia de Tucumán..pp.80. S. M. De Tucumán. Argentina.

Fernández, R.I. (2008) Utilización de un índice biológico para el análisis de peligrosidad geoambiental entre los ríos Pueblo Viejo y Arroyo El Tejar. Dpto. Monteros. Tucumán (Inf. SEMA. Inédito) pp.35.S:M. De Tucumán. Argentina.

Fernández, R.I. (2009 a) Análisis de Riesgo Ambiental del SDF “La Bolsa” (Municipio de Aguilares .Dpto. Río Chico) Provincia de Tucumán.pp.15.(Inédito) SEMA. Tucumán

Fernández, R.I. (2009 b) Estudio de prefactibilidad de la instalación de una Planta de Tratamiento y transferencia de RSU en el Predio de La Bolsa. (Municipio de Aguilares .Dpto. Río Chico) Provincia de Tucumán.pp.10.(Inédito) SEMA. Tucumán.

Fernández, R.I. (2010a) Uso del índice “QBR” para evaluación del Riesgo Geoambiental del Tramo sur del Arroyo El Tejar. Departamento Monteros. Provincia de Tucumán. República

Argentina. pp.419.V Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. CIACVi. Línea Científica. San Fernando del Valle de Catamarca. Argentina.

Fernández, R. I. (2010b) Estudio de riesgo ambiental mediante la aplicación de un índice biológico de calidad de Ecosistema ribereño (QBR) en el río Matazambi, provincia de Tucumán. República Argentina. Inf. Inédito. Secretaría de Estado de Medioambiente de la Provincia de Tucumán (S.E.M.A.).Ministerio de la Producción. Gob. de Tucumán pp.30

Fernández, R.I. (2013) 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).Catamarca, Argentina.

Fernández, R.I. (2015 a) Estudio de Riesgo Geoambiental (**A.R.GA**) de la Cuenca Media del Río Lules. Provincia de Tucumán. *Informe SEMA (Inédito)* pp.18. (Expte. N° 005/622- ML-2015).S..M. de Tucumán. Argentina.

Fernández, R.I. (2015 b) Uso de índices biológicos e hidrogeomorfológicos como indicadores de riesgo geoambiental en los ríos Salí y Calera. Municipios de Las Talitas y Alderetes. Provincia de Tucumán. República Argentina. IX Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales del 3 al 6/11 (Pub.CD). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires. República Argentina

Fernández, R.I. (2017a) Uso de índices biológicos e hidrogeomorfológicos como indicadores de riesgo geoambiental en el tramo medio de la cuenca del Río Lules. Provincia de Tucumán. República Argentina .X Jornadas interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales (PIEA- CIEA). Eje temático n°2: (pub.CD). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires (FCE-UBA). República Argentina

Fernández, R.I. (2017b) La importancia del análisis de riesgos.In Manual de Políticas Ambientales de la Provincia de Tucumán.Cap.6.Herramientas de Gestión Ambiental .pp. 251-258.Ed.SEMA-UNSTA.Tucumán.

García, J.W., Falcón, C., D'Urso,C.,Rodríguez, G. & Acevedo,N. (2014) Hidrogeología de Tucumán.En Moyano, S. Puchulu, M., Fernandez, D.Vides M., Nieva, S.& Aceñolaza, G. (Eds.) *Geología de Tucumán*. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, pp. 276 -294.Tucumán.

- García Salemi, M. A. (1993)** Cambios de curso en el Río Medinas (Departamento Río Chico). Provincia de Tucumán. Argentina. Boletín Geindustrial II : 31-44. Univ. del Norte Santo Tomás de Aquino. UNSTA.S.M. de Tucumán.
- García Salemi, M. A. (1995a)** Marcha de las Crecientes en la Provincia de Tucumán. República Argentina.Período:1977 -1985. Boletín Geindustrial IV-V:14 -21 Univ. del Norte Santo Tomás de Aquino (UNSTA).San Miguel de Tucumán. Argentina.
- García Salemi, M. A. (1995b)** Degradación ambiental en la provincia de Tucumán. *Revista Opinión Profesional*, N° 2:21-23.APUAP.San Miguel de Tucumán .Argentina.
- García Salemi, M. A y Fernández. I. (1996)** Situaciones de Degradación ambiental en el curso medio del río Medinas. Provincia de Tucumán. Argentina. Actas I Encuentro Argentino de Ecología y Medio Ambiente. Termas de Río Hondo,pp. 253-258.Santiago. Argentina.
- González del Tànago, 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.*, pp. 15-31.Publ.CEDEX.Congresos.Madrid.España.
- 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. 20:37.Barcelona.
- Munné, A.; Prat, N.; Sola, C.A.; Bonada, N.; & Rieradevall M. (2002)** A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. Published on line in Wiley InterScience* .USA
- Naiman, R. J. & H. Décamps(1997)** The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28: 621-658, USA.
- 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. pp.200.Zaragoza.España.
- Puchulu, M.E. y Fernández D.S.(2014)** Características y distribución espacial de los suelos en la provincia de Tucumán. En Moyano, S. Puchulu, M., Fernandez, D.Vides M., Nieva, S. & Aceñolaza, G. (Eds.) *Geología de Tucumán*. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, pp. 240-256.Tucumán.

Sayago, J. M.; Collantes, M. & Toledo, M. (1998) Geomorfología. En Geología de Tucumán. Publ. Espec. Col. Grad. Cs. Geol. Tuc. 241–258. M. Gianfrancisco, M. Puchulu, J. Durango de Cabrera y G.F. Aceñolaza (Eds.) San Miguel de Tucumán.

Sirombra, M. & Fernández, R.I. (2005) Factibilidad de aplicación de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del hábitat ripario de un arroyo subtropical de montaña. Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. *Boletín Geoambiental, n° 3: IRGYST-FCN IML (UNT):20-44.*

Sirombra, M.G.; Grimolizzi, O. & Frenzel, A. (2009) Software para evaluación y monitoreo de la calidad ecológica del ecotono ripario de cursos de agua. *Boletín Geoambiental N°5: IRGYST - FCN-IML (UNT):16-25.S.M. de Tucumán.*

Stanford, J. A. & Ward, J. V. (1993) An ecosystem perspective of alluvial rivers: Connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of the North-American Benthological Society* 12(1):48-60. USA.

Suayter, L. E.; Fernández, R. I. & Toscano V. (1997) Hidrogeomorfología del tramo medio y superior del Río Medina, en la provincia de Tucumán. *BOLETIN GEOINDUSTRIAL, N°6-7:159 -167. (UNSTA) San Miguel de Tucumán. Argentina.*

Suayter, L. E.; Fernández, R. I. (1998) Proyecto de Mapa Geoambiental de la provincia de Tucumán. *Inf. Inédito (IRGST). Fac. Ccias. Nat. (UNT). S.M. de Tucumán. Tucumán.*

Suayter, L. E.; Toscano V. & Fernández, R. I. (2015) Aspectos hidrogeomorfológicos del tramo medio y superior del río Medina en la provincia de Tucumán. República Argentina <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Procesosambientales/Hidrologia/859.pdf>

Ward J.V. (1998) Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation* 83: 269-278. USA,

Vogt, H. (1962) Erosions laterales et changements dans le cours de L'Àdour moyen. *Bull. Soc. de Borda. Auch. France.*

Zuccardi, R. B. & Fadda, G. (1972/1985) Mapa de reconocimiento de suelos de la provincia de Tucumán. Publ. Espec. N°3. Fac. de Agron. y Zootec. (FAZ)- UNT. 99pp. S. M. de Tucumán.