



UTN - FRT  
2017



Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

**ANÁLISIS DE RIESGO GEOAMBIENTAL PRODUCIDO POR LA  
CONSTRUCCION DE LA URBANIZACIÓN “LOMAS DE TAFI”.  
DEPARTAMENTO DE TAFI VIEJO. PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
REPUBLICA ARGENTINA.**

**Tesista: Ing. Osvaldo Luis Herrero**  
**Director: Dr. Rubén Fernández**  
**Codirector: Dr. René Ricardo Ferrari**

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mi agradecimiento a las personas que colaboraron de alguna manera para facilitarme la tarea en la realización de este trabajo.

A mi director de tesis, el Dr. Rubén I. Fernández, por su permanente apoyo y aportes de conocimiento y bibliografía.

Al Codirector de este trabajo, Dr. Ricardo R. Ferrari, por su lectura crítica. Aporte necesario y que valoro.

Al Ing. Oscar J. Graieb por su guía y asesoramiento.

Al Ing. Antonio Quaia por permitirme el acceso a distintas áreas de la EEAOC como la biblioteca, el laboratorio y la dirección de meteorología.

A la señora Rita, bibliotecaria de la Estación Experimental, por su espíritu de colaboración.

Por último quiero incluir en este espacio a mi esposa Graciela, por su paciencia y comprensión. Además por su prudencia y consideración, cuando necesitó mi atención.

## **ORDEN DE COMPONENTES DEL TRABAJO**

- 1) Agradecimientos
- 2) Índice General
- 3) Índice de Figuras
- 4) Índice de Tablas
- 5) Resumen
- 6) Capítulos
- 7) Bibliografía
- 8) Siglas
- 9) Glosario Geológico - Ambiental

**INDICE GENERAL**

Contenido	Página
<b><u>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</u></b>	1
1.1.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO LOMAS DE TAFÍ.	1
1.2.- ANALISIS DEL ÁREA DE INFLUENCIA A LA URBANIZACIÓN.	1
1.3.- ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA.	4
1.4.- PRESENTACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA.	6
1.4.1.- Fundamentación.	6
1.5.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	7
1.5.1.- Objetivo General.	7
1.5.2.- Objetivos Específicos.	7
1.6.- MARCO CONCEPTUAL.	9
1.7.- DISEÑO Y PROGRAMA METODOLÓGICO.	10
1.7.1.- Trabajo de campo.	10
1.7.2.- En Gabinete.	11
1.8.- DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA A LA URBANIZACIÓN.	11
1.8.1.- Área que interactúa con la de la Urbanización.	12
1.9.- GEOGRAFÍA	12
1.9.1.- Fisiografía	12
1.9.2.- Orografía	14
1.3.3.- Hidrografía	14
1.10.- GEOLOGÍA	17
1.10.1.- Descripción de las Formaciones Geológicas.	18
1.10.1.1.- Formación Río Salí.	18
1.10.1.2.- Formación Tucumán.	19
1.10.2.- Depósitos Holoceno.	19
1.10.3.- Suelos en la provincia de Tucumán.	20
1.10.3.1.- Suelos de la Sierra de San Javier.	20
1.10.3.2.- Suelos de la zona pedemontana.	21

Contenido	Página
<b><u>CAPÍTULO 2: ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA</u></b>	25
2.1.- INTRODUCCIÓN.	25
2.2.- HIDROLOGÍA.	27
2.2.1.- Introducción.	27
2.2.2.- Balance Hídrico.	27
2.2.2.1.- Precipitaciones.	29
2.2.2.2.- Evapotranspiración.	29
2.2.2.3.- Escurrimiento superficial.	31
2.2.2.4.- Infiltración	33
2.2.2.5.- Evaluación del Índice de Escurrimiento.	33
2.2.2.6.- Equilibrio Hídrico de los Continentes.	35
2.3.- CALCULO DE LA SUPERFICIE PLUVIOMÉTRICA.	38
2.3.1.- Superficie pluviométrica.	40
2.4.- CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL CANAL NORTE	41
2.4.1.- Cálculo del caudal máximo del canal Norte.	42
2.4.2.- Gráfica de los caudales.	47
2.5.- ASPECTO LEGAL DE LAS AGUAS.	50
<b><u>CAPÍTULO 3: RIESGOS GEOAMBIENTALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO</u></b>	53
3.1.- INTRODUCCIÓN.	53
3.2.- RIESGOS EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN.	56
3.2.1.- Clasificación de los Riesgos Ambientales.	56
3.2.2.- Riesgos Ambientales en la provincia de Tucumán.	57
3.2.2.1.- Riesgos Naturales.	57
3.2.2.2.- Riesgos Antrópicos.	57
3.3.- DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE RIESGOS GEOLÓGICOS.	58
3.3.1.- Macizos Montañosos	58
3.3.2.- Llanura Pedemontana.	61

3.4.- RIESGOS AMBIENTALES CONSIDERADOS.	62
3.4.1.- Riesgo de Erosión Hídrica.	62
3.4.1.1.- Zona Sudoeste: Villa Carmela.	66
3.4.1.2.- Zona Noroeste: Nueva Esperanza.	70
3.4.2.- Riesgo de Remoción de Masa.	73
3.4.2.1.- Ladera Oriental y Piedemonte.	75
3.4.3.- Riesgo de Inundaciones.	77
3.5.- ASPECTO LEGAL DE LOS SUELOS.	81
3.5.1.- Introducción.	81
3.5.2.- Ley Provincial de Suelos N° 6290/1991.	81
3.5.3.- Ley Provincial N° 8304/2009: Ord. Territorial de los Bosques N.	85
3.5.4.- Ley N° 7696: Bienes en Zonas Inundables.	88
<b><u>CAPÍTULO 4: LOCALIZACIÓN DEL ÁREA CON MAYOR FRAGILIDAD</u></b>	91
4.1.- RIESGOS GEOAMBIENTALES.	91
4.1.1.- Matriz de Riesgos Geoambiental.	93
4.1.2.- Mapa de Riesgos.	94
4.1.3.- Análisis de los resultados obtenidos en la matriz de riesgos.	94
4.2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE QBR	96
4.2.1.- Fundamentación	96
4.2.2.- Niveles o Rangos de Calidad de ribera.	98
4.2.3.- Aplicación del Método en la Zona de Estudio.	98
4.2.4.- Resultados Obtenidos y Discusión	106
4.2.4.1.- Arroyo Taficillo	107
4.2.4.2.- Arroyo Nueva Esperanza	108
<b><u>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES</u></b>	109
5.1.- CONCLUSIONES.	109
5.1.1.- Obras de Mitigación Realizadas y Recomendadas en el Predio.	110

5.2.- RECOMENDACIONES.	112
5.2.1.- Medidas Conservacionistas a Mediano y Largo Plazo.	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido		
Figura Nº	Descripción	Página
<b><u>CAPÍTULO 1:</u></b>		
1	Croquis de Ubicación de Lomas de Tafí y S. M. de Tucumán.	3
2	Ubicación de Lomas de Tafí y su integración con el Municipio de S.M. de T.	3
3	Localización del Área de Estudio.	12
4	Ambientes Naturales.	13
5	Ladera Sierra de la Sierra de San Javier.	15
6	Mapa Hidrológico del Área de Estudio.	16
7	Características y Distribución Espacial de los Suelos en la prov. de Tucumán	22
<b><u>CAPÍTULO 2:</u></b>		
8	Carta Topográfica B 19.	26
9	Desborde A° Cainzo.	38
10	Alcantarilla Ruta Nº 9, km 1306.	39
11	Alcantarilla Ruta Nº 9, km 1309.	39
12	Alcantarilla (a) Ruta 9, km 1303	39
13	Alcantarilla (b) Ruta 9, km 1303	39
14	Localización de la Superficie Pluviométrica	40
15	Canal Norte y puente de Av. Mitre	41
16	Esquema del Canal Norte.	42
17	Diagrama de Cuerpo Libre.	43
18	Gráfico de Caudales.	48

19	Sistema de Drenaje Pluvial de la Urbanización Lomas de Tafí.	49
----	--	----

Figura N°	Descripción	Página
	<b><u>CAPÍTULO 3:</u></b>	
20	Aporte al Mapa de Riesgo Geoambiental de la Provincia de Tucumán	60
21	Mapa Geomorfológico a Nivel de Regiones y Unid. Geomorfológicas	63
22	Mapa de Riesgo Erosivo de la Provincia de Tucumán.	66
23	Erosión y Desmonte en el Límite con la Yunga.	67
24	Erosión en el Callejón de una Finca.	67
25	Puente Sobre la Ruta N° 315 que cruza A° Quebrada 6.	67
26	A° Quebrada 6.	67
27	Escuela N° 113.	68
28	Puente del Ferrocarril Belgrano.	68
29	Junta de A° Quebrada 6 con el Canal Muñecas.	68
30	Suelo con materia orgánica en Canal Muñecas.	68
31	Terraplén y camino sobre el lecho del Río Caínzo.	69
32	Calzada para transitar sobre el cauce del Río Caínzo.	69
33	Plantaciones reciente de limones	69
34	Predio Desmontado.	69
35	A° Taficillo	70
36	A° Afluente del N. Esperanza	70
37	Barranca producto de la erosión A° Taficillo	70
38	Otra Toma A° Taficillo	70
39	Alcantarilla (c) Ruta 9.	71
40	Alcantarilla (d) Ruta 9).	71
41	Canal N. Esperanza con pared descalzada por la erosión	71
42	Canal N. Esperanza con borde erosionado	71

43	Canal N. Esperanza con destrucciones y procesos erosivos	72
44	Canal N. Esperanza con erosión significativa	72
45	Cruce del A° Tafí con Ruta 314	73
46	Encuentro A° Tafí y Canal Norte	73

Figura N°	Descripción	Página
47	Mapa de Riesgo de Remoción de Masa	75
48	Canal Muñecas con depósito de partículas pequeñas	76
49	Mapa de Riesgo de Inundaciones.	79
50	Cartografía de la Ley Nacional N° 26.331, art.9.	87
	<b><u>CAPÍTULO 4:</u></b>	
51	Mapa de Riesgos en el área de influencia de la urbanización	94
52	A° Taficillo a 900 msnm	100
53	Fuerza erosiva del arroyo	100
54	Meandro de arroyo	100
55	Suelo en el margen del A° Taficillo	100
56	Una de la canteras del A° Taficillo	101
57	Excavación del suelo rodeando ejemplares del bosque nativo	101
58	Vista panorámica de acceso a la quebrada	101
59	Panorámica de ingreso a la quebrada	101
60	Depósito de RSU, escombros y otros residuos	102
61	El arroyo se introduce en una finca de limón	102
62	El arroyo a través de la finca	102
63	Arroyo Nueva Esperanza a 900 msnm	103
64	Cauce con erosión lateral	103
65	Cauce ensanchado, recibió el aporte de tres afluentes	103
66	Muro de H° A° para proteger el camino lateral	103
67	Ingreso al Canal Nueva Esperanza	104
68	Canal Nueva Esperanza colmatado y muro descalzado	104

69	Vista panorámica del primer tramo del Canal Nueva Esperanza	104
70	Junta del Canal N. Esperanza con el cuarto afluente	104
71	Formación de una cascada con erosión muy severa	104
72	A° Taficillo, tramo elegido para evaluar el índice QBR	105
73	A° N. Esperanza, tramo elegido para evaluar el índice QBR	105

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla Nº	Descripción	Página
<b><u>CAPÍTULO 1</u></b>		
1	Lineamientos y actividades relacionados con los objetivos	8
2	Cuadro resumen de la estratigrafía de las formaciones.	20
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b>		
3	Clases de pendientes según Tricart (1978).	32
4	Resultado del balance hídrico Anual de la Sierra de San Javier.	33
5	Índices de las Variables para el Balance Hídrico.	35
6	Equilibrio Hídrico de los Continentes.	35
7	Precipitaciones máximas diarias de cada mes durante 50 años.	36
8	Mediciones de distintas progresivas del Canal Norte.	42
9	Valores del Coeficiente de Rugosidad "n".	45
10	Promedio de Lluvias Máximas en el Período de 50 años.	47
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b>		
11	Regiones Naturales de la Provincia de Tucumán.	83
12	Clasificación Agrológica de los Suelos. Ley N° 6290, (art. 12)	84
13	Categoría de conservación de los suelos de las leyes provincial y Nacional.	87
<b><u>CAPÍTULO 4</u></b>		
14	Matriz para identificar el sector con mayor fragilidad..	93
15	Rango de Calidad de Ecosistemas de Rivera	98
16	Puntuación de índice QBR en el arroyo Taficillo	106
17	Puntuación de índice QBR en el arroyo Nueva Esperanza	107

## RESUMEN

El presente trabajo analiza y valora los riesgos geoambientales y las fragilidades del paisaje urbano; producida por la morfogénesis antrópica, la red hídrica y el entorno inmediato a la urbanización “Lomas de Tafi”, en el Departamento Tafi Viejo, Provincia de Tucumán.

La urbanización se encuentra en un predio de 400 ha al Norte de la ciudad de S. M. de Tucumán, en el pedemonte con alturas máximas de 530 msnm NO y mínima de 480 msnm en el ángulo opuesto. Su área de influencia incluye la ciudad de Tafi Viejo y el faldeo oriental de la Sierra de San Javier.

Con un enfoque metodológico apropiado se pretende:

- 1.- Evaluar la correcta relación entre la urbanización y el área de influencia.
- 2.- Estudio retrospectivos de las aguas pluviales.
- 3.- Valorar la capacidad de drenaje del suelo hasta 10 m de profundidad.
- 4.- Verificar el retardo real de drenaje de la obra ejecutada con ese propósito.
- 5.- Evaluar los riesgos geoambientales.

Como consecuencia de la interferencia de riesgos naturales: pendiente, clima, suelo y los antrópicos, se incrementa: *el riesgo de erosión hídrica, el riesgo de remoción de masa y el riesgo de inundación*, (con flujos torrenciales y elevación de napas asociados). Este proceso es progresivo en el tiempo.

Por ese motivo este trabajo pretende realizar un aporte con un diagnóstico actualizado y propuesta de obras de mitigación para dar sustentabilidad a la obra ya ejecutada, entre los años 2006 y 2012, así como a su área de influencia. Prioritariamente se propone actuar sobre la causa: *contención y control de la caída abundante de agua pluvial en corto tiempo*, como alternativa a las obras de infraestructura existentes sin un plan de mantenimiento sistemático.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### **1.1.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO LOMAS DE TAFÍ**

Con el objeto de cubrir una parte del déficit habitacional del conglomerado urbano del Gran San Miguel de Tucumán (GSMT) se construyeron viviendas nuevas con la idea de lograr un crecimiento ordenado del mencionado conglomerado, siguiendo la tendencia natural de expansión periférica.

La urbanización Lomas de Tafi se construyó en un predio de aproximadamente 400 ha de propiedad del Instituto de la Vivienda y Desarrollo Urbano (IPV y DU) ubicado en la localidad de Los Pocitos, Departamento Tafi Viejo, Provincia de Tucumán, inmediato hacia el norte del Municipio de San Miguel de Tucumán. Este predio era un área vacante urbanizable del GSMT por su tamaño, localización, accesibilidad, posibilidades de conexión, disponibilidad de infraestructura y continuidad con la trama urbana existente.

Este mega emprendimiento comprende la construcción de 5.000 viviendas con sus correspondientes obras de infraestructura y reservas para servicios esenciales del estado como oficinas descentralizadas de la Municipalidad de Tafi Viejo, educación y seguridad. El proyecto también previó espacios verdes de distinta envergadura como parques, campos para la práctica de deportes y plazas, así como zonas comerciales y actividades culturales.

La envergadura de la obra con su infraestructura y servicios ofrecidos beneficiara a barrios colindantes existentes y a futuras urbanizaciones del sector.

### **1.2.- ANALISIS DEL AREA DE INFLUENCIA A LA URBANIZACIÓN**

En el presente trabajo se analizan y valoran los *RIESGOS GEOAMBIENTALES* y la fragilidad del paisaje urbano producida por la morfogénesis antrópica, la red hídrica del entorno inmediato al área del mega emprendimiento habitacional (5.000 viviendas, en 400 ha) “Lomas de Tafi”, en el Departamento Tafi Viejo, Provincia de Tucumán, República Argentina.

El estudio y valoración de estos riesgos naturales y antrópicos incluyen también un análisis territorial del sector noroeste del Gran San Miguel de Tucumán (GSMT) por posible riesgo de inundación a una vasta zona de dicho sector de la provincia. Este trabajo pretende

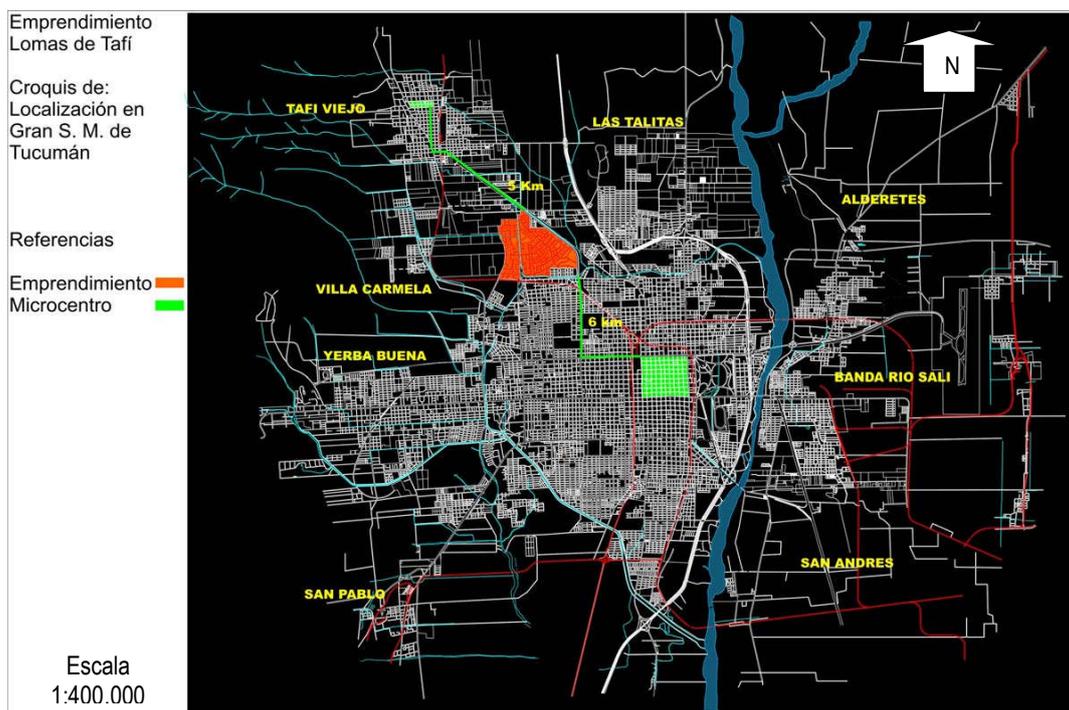
realizar un aporte con un diagnóstico actualizado y propuesta de medidas correctivas u obras de mitigación para dar sustentabilidad a la obra ya ejecutada entre los años 2006 y 2012.

El área de influencia al predio donde se localizó el mega emprendimiento Lomas de Tafí se encuentra a continuación del faldeo oriental de la sierra de San Javier; exactamente en su área pedemontana con alturas máximas de 530 msnm en su ángulo NO y 480 msnm en su ángulo opuesto (SE) (Figura 1).

Aunque este predio se encuentre en el Departamento Tafí Viejo, con la obra de nexos que se preveían en el proyecto y ya construida, se le dio buena accesibilidad a la ciudad capital y quedó integrada a la misma. (Figura 2).

Se debe mencionar que previo a la construcción del proyecto se realizó un (EsIA), Estudio de Impacto Ambiental, en el cual se especificaban medidas de prevención, de mitigación y de compensación y un Plan de Gestión Ambiental. Además contaba con la pre-factibilidad de los entes pertinentes: SAT, EDET y GASNOR. Ferrari R. R. et al. 2006. EsIA Emprendimiento Habitacional Lomas de Tafí, Tafí Viejo, Tucumán. Certificado de Aptitud Ambiental por Resolución N° 39/2006 de la Dirección de Medio Ambiente de Tucumán. Tucumán. Argentina.

Al norte del mencionado emprendimiento habitacional se localiza la ciudad de Tafí Viejo. Históricamente, esta ciudad registra en la época estival problemas de inundaciones y aluviones, provenientes de los numerosos cursos de agua que descienden desde la sierra de San Javier ubicada al oeste de la ciudad mencionada. Como consecuencia causan cuantiosos daños económicos en barrios, calles y rutas de acceso a esta ciudad (Moreno 1974). El registro pluviométrico oscila entre los 900 y 1000 mm (en la cumbre de la sierra mencionada puede llegar a 1200 mm) anuales. Halloy et al (1994), enfatiza el rol de la vegetación en la estabilización de los suelos y rutas de la Sierra en San Javier.



**Figura 1: Croquis de ubicación de Lomas de Tafi y San Miguel de Tucumán.**  
(Tomado de Ferrari, R. R. y otros. 2006. EsIA Emprendimiento Habitacional L. de Tafi, Tafi Viejo, Tucumán).



**Figura 2: Ubicación de Lomas de Tafi y su integración con el Municipio de S.M. de Tucumán.**  
(Tomado de Ferrari, R. R. y otros. 2006. EsIA Emprendimiento Habitacional L. de Tafi, Tafi Viejo, Tucumán).

### **1.3.- ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA**

El riesgo ambiental presenta un campo particular dentro del más amplio concepto de riesgo. Puede clasificarse en riesgo natural, debido a fenómenos naturales, como los contrastes climáticos, geomorfológicos, entre otros y los riesgos antropogénicos, debidos a la actividad humana.

En la terminología de las ciencias ambientales cuando hay solapamiento de riesgo proveniente de fenómenos naturales con los que provienen de la actividad humana se dice que hay interferencia. De la interferencia así entendida depende también la importancia de los riesgos.<sup>1</sup>

En esta interrelación de conceptos se fundamenta el desarrollo del presente título.

La ciudad de Tafi Viejo, incluida en el área de influencia del emprendimiento urbanístico, cuenta con 39.601 habitantes (INDEC, 2010), lo que representa un incremento del 8% frente a los 36.695 habitantes (INDEC, 2001) del censo anterior. Es la tercera ciudad más grande de la provincia luego de la ciudad de San Miguel de Tucumán y de la aglomeración urbana de la ciudad de Concepción.

El área de influencia de la urbanización “Lomas de Tafi” es una zona con sucesivas acciones antrópicas.

Al inicio del siglo XX, Tafi Viejo comenzó como una villa veraniega cercana a la capital provincial, aunque su crecimiento y desarrollo como ciudad está íntimamente ligada a los Talleres Ferroviarios inaugurados en 1910 con motivo del centenario de la Revolución de Mayo.

Tras la nacionalización de los ferrocarriles, pasaron a pertenecer al Ferrocarril General Belgrano de los Ferrocarriles Argentinos, llegando a emplear en 1950 a 5.663 trabajadores.

Éstos trajeron un gran impulso debido al efecto multiplicador de un emprendimiento de tal magnitud. Tan importante fuente de trabajo incorporó a trabajadores de otras provincias y extranjeros que engrosaron la población de la villa. La población creció sostenidamente desde 1903 cuando se iniciaron los trabajos de montaje de los talleres y el 2 de junio de 1939, se

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo\\_ambienta](https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo_ambienta)

convirtió en ciudad, creándose la Municipalidad de la Ciudad de Tafi Viejo.

La ciudad fue una de las comunidades más florecientes del interior de la provincia, pero con el tiempo el impulso del progreso perdió vigor y seguidamente fue disminuyendo su actividad progresivamente. El cierre de los talleres en 1980 significó un duro golpe económico y social.

En la década de 1970 cuando en Tucumán la economía y la política todavía giraban en torno a la caña de azúcar y a los ingenios azucareros, un grupo de pioneros afincados en Tafi Viejo comenzó a reconvertir su producción. La unión de cinco familias de productores que decidieron dedicarse a los citrus -en especial a los limones- concretó la fundación de la cooperativa de productores cítricos de transformación y comercialización limitada, más conocida como COTA Ltda.

El nivel de producción logrado le permitió asegurar la calidad, cantidad y continuidad en el abastecimiento de materia prima a una moderna planta industrial instalada a principios de la década del 1970.

Hoy, en la provincia, están instaladas otras empresas como Citromax S.A. (actualmente en Acherál); Trapani SRL, en Ruta 9, km 1303, esq. Constitución, Cítrica San Miguel, entre otras, además de empresas de packing.<sup>2,3</sup>

Al norte y este de la ciudad de Tafi Viejo, además se debe agregar el fuerte desarrollo agropecuario, la actividad minera artesanal y a escala industrial (cavas y taludes) para producir ladrillos.

<sup>2</sup> [www.cotalyd.com/home.html](http://www.cotalyd.com/home.html)

<sup>3</sup> [www.es.wikipedia.org/wiki/Departamento\\_Tafi\\_Viejo](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Departamento_Tafi_Viejo).

#### **1.4. – PRESENTACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA**

Con un enfoque metodológico apropiado se pretende valorar los Riesgos Geoambientales y la fragilidad producida por acciones antrópicas: Cultivos, minería, urbanización y canalización de los cauces de aguas pluviales que ingresan directa e indirectamente a Lomas de Tafí desde el faldeo oriental de la Sierra de San Javier.

##### **1.4.1. – Fundamentación:**

La envergadura del proyecto ejecutado y su importancia en el Ordenamiento Territorial del Gran San Miguel de Tucumán ameritan analizar y valorar los Riesgos Geoambientales y la fragilidad del área en que se construyó conforme a:

- a) Las Características del Medio Físico: la morfología con características de piedemonte con pendientes en partes considerables, por donde descienden las aguas pluviales de la Sierra de San Javier, con arroyos dispersos hacia el área del proyecto construido y zonas aledañas en donde hubo montes con características de dos zonas solapadas; el piedemonte y la llanura Chaqueña.
  
- b) Las acciones antrópicas sucesivas con impactos acumulados:
  - ✓ Desmonte.
  - ✓ Actividades agrícolas.
  - ✓ Actividades Mineras: Instalación de la Cerámica, (Ex Cartujana), hoy en actividad con el nombre Cerámica y Maderera Los Troncos SRL, con sus cavas considerables y que persisten en el tiempo para la extracción del suelo como materia prima.
  - ✓ La canalización del arroyo con caudales variables. Considerables en épocas de lluvias persistentes, que acceden desde el noroeste.
  - ✓ La sistematización de varios arroyos canalizándolos con el nombre de Quebrada 6 y Canal Muñecas.
  - ✓ El Proyecto habitacional de 5000 viviendas.
  - ✓ Otros proyectos construidos simultáneamente en zonas aledañas a la urbanización.

## **1.5. – OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 - Objetivo General:**

Análisis de Riesgo Geoambiental Producido por la Construcción de la Urbanización “Lomas de Tafí”. Departamento Tafí Viejo. Provincia de Tucumán. República Argentina.

### **1.5.2. – Objetivos Específicos**

- 1) Evaluar la correcta relación entre el área del proyecto y el área de influencia.
- 2) Estudio Retrospectivo de aguas pluviales.
- 3) Valorar la capacidad de drenaje del suelo hasta 10 m de profundidad.
- 4) Verificar el retardo real de drenaje de la obra ejecutada con ese propósito.
- 5) Evaluar los Riesgos Geoambientales.

Los Objetivos Específicos expresados están relacionados a los encabezados de las columnas de la Tabla 1.

**Tabla 1: Lineamientos y actividades relacionados con los objetivos específicos.**

Interrogantes	Tareas	Hipótesis Provisionales
Se considero el área circundante que interactúa con el área del proyecto?	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar las cuencas que impactan en el proyecto.</li> <li>✓ Buscar estadísticas de volumen mensual de agua de lluvia</li> <li>✓ Considerar la perturbación de los cauces por la cava mencionadas.</li> <li>✓ Realizar un cálculo hidráulico para el caso más desfavorable. Coeficiente de escurrimiento 1</li> </ul>	En el proyecto no se consideraron todos los fenómenos que producen aguas arriba del área del proyecto, (desbordes de arroyos que desorganizan la circulación del agua por fuera de sus cauces naturales), cuando la lluvia es importante y persistente.
Se hizo un análisis detallado y una evaluación cualicuantitativa de los caudales que ingresan al área del proyecto más los volúmenes de agua recibido en las 400 ha?	Balance de masa de aguas pluviales. Las que ingresan mas las acumuladas en relación con la capacidad de transporte del canal Norte.	Este fenómeno es más destructivo que si el volumen mensual supera la media mensual pero el volumen y la cadencia de las lluvias están distribuidos favorablemente.
Se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema de drenaje de aguas de lluvias?	<p><u>Estudiar Documentación de Obra:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analizar Pliego de condiciones generales y particulares.</li> <li>✓ Factibilidad emitida por la SAT con sus recomendaciones.</li> </ul> <p><u>Estudiar EsIA aprobado por el CPEA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analizar Factor: Aguas Superficiales</li> <li>✓ Matriz de identificación de interrelación: factor – actividad.</li> <li>✓ Matriz de evaluación de Impactos</li> <li>✓ Medidas de mitigación previstas</li> </ul>	<p>Se realizaron las obras requeridas por la SAT pero no se verifico su eficacia.</p> <p>No se hicieron pruebas de funcionamiento para ver el comportamiento de las lagunas de retención ni de los pozos de drenaje.</p>
Se construyeron las obras de mitigación requeridas en la Factibilidad emitida por la SAT?	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar cuántos pozos de drenajes se construyeron: profundidad, eficiencia.</li> <li>✓ Perfil estratigráfico del suelo.</li> <li>✓ Determinar cuántas lagunas de retardo se construyeron, volúmenes y tiempo de drenaje de cada una.</li> </ul>	Después de terminada la obra, Año 2012, las lluvias caídas estuvieron por debajo de la media mensual y anual, por lo que no se pudo probar todo el sistema en tiempo real.
Se realizaron obras para prevenir crecientes e inundaciones por escorrentías naturales y/o antrópicas?	Realizar un <u>ARGA</u> , (Análisis de Riesgo Geoambiental), usando el Método de Aguirre Murúa (2005) para determinar áreas de mayor riesgo de inundación y anegamiento.	Analizar la capacidad de respuesta del territorio (y del Canal Norte) ante eventuales precipitaciones pluviales promedio y extraordinarias.

## 1.6. – MARCO CONCEPTUAL

El tiempo atmosférico, corresponde a las condiciones meteorológicas del momento, a saber, las horas de sol, la lluvia, la nieve, el viento, la humedad, la temperatura y la presión atmosférica. Las nubes ayudan con el pronóstico del tiempo, dado que tienen una fuerte correlación con los cambios atmosféricos. En la actualidad los meteorólogos pueden pronosticar el tiempo con un 85% de confiabilidad cuando la anticipación es de 10 horas. A mayor anticipación, menor será la confiabilidad.

Los datos experimentales demuestran que la atmósfera terrestre es inestable y no lineal, de modo que queda bien caracterizada con la Teoría del Caos. Dado que la evolución de un sistema caótico es extremadamente sensible a las condiciones iniciales se concluye que existe un límite para el dúo Confiabilidad-Anticipación, independiente de la precisión de los datos de entrada y de la complejidad del modelo utilizado. Por un lado se tiene que resulta imposible realizar pronósticos climáticos 100 % confiables para sistemas PARTICULARES. Sin embargo, la Teoría del Caos permite predecir con gran exactitud los cambios climáticos GLOBALES, dado que en este caso no se busca extrapolar una trayectoria específica en el espacio de fases, sino que se busca la forma y posición del ATRACTOR (sistema dinámico determinista tridimensional no lineal derivado de las ecuaciones simplificadas de rollos de convección), del sistema.<sup>4</sup>

Por lo expresado arriba, en este trabajo se realizará un Estudio Retrospectivo en relación a los volúmenes de agua de lluvia mensual y diario, datos elaborado por INTA y la EEAOC. Se realizara una tabla resumen para determinar los volúmenes críticos en una zona extendida del área del proyecto.

Es decir, se considerara el caso más desfavorable en cuanto a volumen de agua caída, persistencia y cadencia de lluvias para una recurrencia de 50 años. Se hará un contraste con registros realizados por especialistas sobre la evolución de los cauces y caudales aportados por los arroyos.

Se realizará una valoración de la cantidad de aguas pluviales aportadas al predio más la acumulada en el mismo y se hará el contraste con el caudal teórico calculado en función del radio hidráulico, las dimensiones de la sección transversal y la pendiente del mismo para determinar, en definitiva, si la capacidad de transporte del canal Norte es sustentable.

<sup>4</sup> [www.geofisica.cl/Meteorol.htm](http://www.geofisica.cl/Meteorol.htm)

Teniendo en cuenta que los vuelcos al canal se hacen en distintas progresivas, la sección que se considerará será la situada agua abajo del último afluente. Por otro lado la sección de dicho canal no es constante, por lo que se tomará el caso más desfavorable así como su pendiente. Ferrari, R. R. y otros. 2006.

Se analizarán los riesgos geoambientales producidos por distintas actividades naturales y antrópicas (cultivos, minería, canalizaciones, etc.) y su incidencia en la construcción del paisaje.

## **1.7. – DISEÑO Y PROGRAMA METODOLÓGICO**

### **1.7.1. - Trabajo de campo**

Se utilizará para analizar los riesgos el método de la CEE, de Aguirre Murúa (2005) modificado por Fernández (2007) que contempla: Riesgos Naturales y Tecnológicos. A tal efecto se confecciona una planilla de campo, para luego volcar los datos en un cuadro.

Para estudiar los cauces (Naturales y Modificados), se usarán dos índices (QBR=Calidad de Bosque de Ribera) y IHG (Índice de Calidad Hidrogeomorfológica).

Además, se realizará una lista de verificación o check list que sirva como ayuda memoria y para ordenar los recorridos en el área del proyecto y la del entorno inmediato, que es de una amplitud considerable. En estos recorridos se hará un reconocimiento, identificación y caracterización de los cauces que descienden de la Sierra de San Javier y los arroyos que acceden por el norte e impactan directa o indirectamente en el área del proyecto que son: Río Tafi, A° Taficillo, A° Nueva Esperanza, Quebrada 6 y sus afluentes.

Observación de obras de arte construidas como defensas de H° A°, gaviones y testimonio de sus habitantes y toma de fotografías, además del registro de los datos pertinentes.

Se realizará un recorrido del canal Norte para identificar, analizar y fotografiar las distintas bocas de descarga pluviales. Se tomarán las dimensiones características de la sección del canal, en varios puntos y se medirá la pendiente en los mismos.

### **1.7.2. - En Gabinete**

Para realizar el mapa de base: Se utilizarán fotos aéreas de soportes nacionales y provinciales a Escala 1:50.000 (IGN) , 1:20.000 (DPA) y Ortofotos de la DPV (1:100.000). Se trabajarán también con imágenes de Google Earth (2013) y anteriores.

Se utilizarán Software libres y disponibles para calcular las matrices, índices y parámetros hidráulicos del área.

Se solicitarán los datos disponibles mencionados en el INTA, EEAOC y DRH (SEMA); para iniciar el procesamiento de datos con los criterios establecidos en el Marco Conceptual.

### **1.8.- DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA A LA URBANIZACIÓN**

El área de estudio está ubicada al noroeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, en la ladera oriental de la Sierra de San Javier, Departamento Tafí Viejo, Provincia de Tucumán.

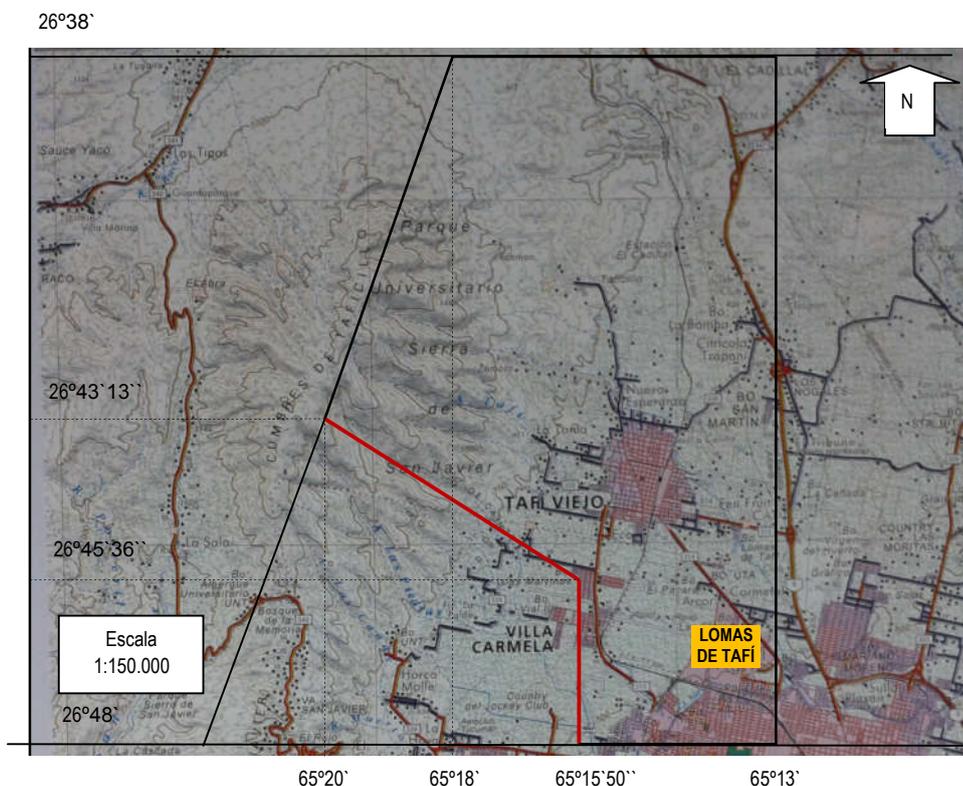
Los límites geográficos aproximados son: al Norte el Río Tapia, éste cruza de Oeste a Este y a 2 km al Norte; al Sur, la ciudad de San Miguel de Tucumán; al Oeste, la Cumbre de la Sierra de San Javier y al Este, La Ruta Nacional N° 9. Con más exactitud, los límites expresados en coordenadas cartográficas son: 26° 38' - 26° 48' de latitud sur y 65°13' - 65° 22' de longitud oeste de Greenwich.

Marcando estas coordenadas en un mapa de la zona nos muestra una cuenca que tiene la forma de un trapecio rectángulo en donde el lado oblicuo de la figura, coincide aproximadamente con las cumbres de la Sierra de San Javier.

De la cuenca mencionada se extrae un área en la zona suroeste, marcada por líneas rojas, que corresponde a las quebradas donde nacen el Río Caínzo, Río Piedras, Río Muerto y demás arroyos afluentes de estos, pues todos estos cursos de agua no descargan en el Canal Norte. Figura 3.

Dentro del área delimitada en la (Figura N° 3) se puede observar la Ciudad de Tafí Viejo y la urbanización Lomas de Tafí dentro del área delimitada que representa la influencia del ecosistema con dicha urbanización.

### 1.8.1.- Área que Interactúa con la del la Urbanización



**Figura Nº 3: Localización del Área de Estudio**  
Extraído del Atlas Tucumán 100 k. Instituto Geográfico Nacional

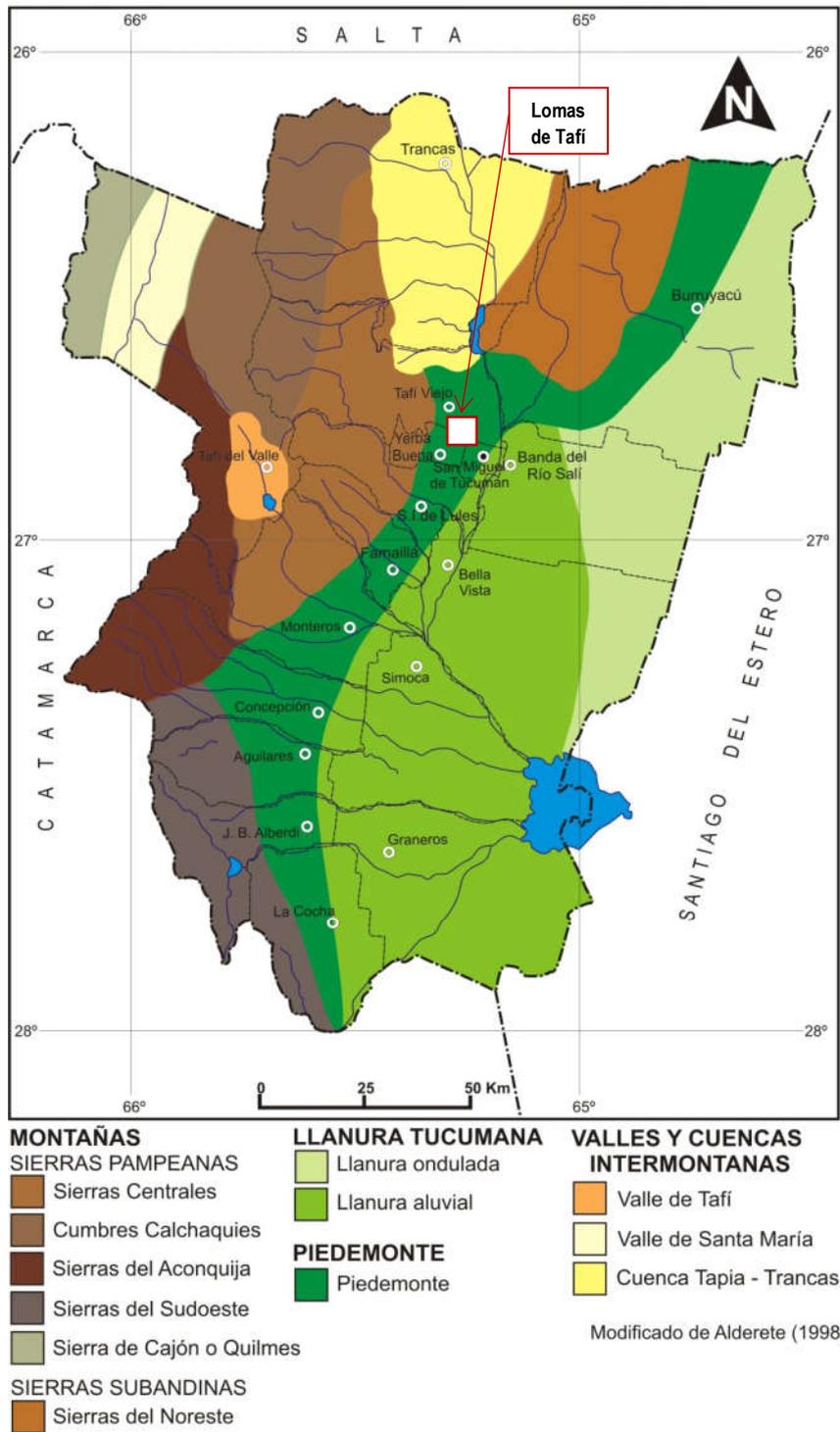
## 1.9.- GEOGRAFÍA

### 1.9.1.- Fisiografía

Tomando en cuenta un criterio fundamentalmente morfoestructural, Alderete (1998) identificó para la provincia de Tucumán tres unidades fisiográficas principales con relieve característico: la llanura tucumana, ubicada al este; el piedemonte, unidad intermedia entre la montaña y la llanura; y la montaña, al oeste. (Figura 4). Entre los cordones montañosos se agregan otros dos relieves: los valles y las cuencas intermontanas.

La fisiografía de la zona de estudio participa de las unidades principales mencionadas en donde se observan grandes contrastes que condicionan el desarrollo de la actividad humana; en pocos kilómetros de este a oeste se pasa de cumbres con 1880 msnm hasta una región de llanura con 550 msnm.

## Unidades Fisiográficas de la provincia de Tucumán



**Figura Nº 4: Ambientes Naturales.**

Extraído del Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

### **1.9.2.- Orografía**

La región montañosa de la zona de estudio forma parte de la Sierra de San Javier que es un anticlinal asimétrico de orientación NNE - SSO, cuya altura crece de sur a norte culminando en la cumbre de Taficillo con 1900 y 2100 msnm y una extensión de 30 km de longitud, (Figuras 5). Las cumbres, de forma muy suavizadas, son cortadas por quebradas formadas por cursos de agua que fluyen al Este, hacia la zona pedemontana. Sayago et al. Esta sierra, que se desarrolla desde los 600 hasta los 2100 msnm, tienen una superficie aproximada de 21.390 has, de las cuales 14.000 has corresponde al Parque Sierra de San Javier. (Fernández y Sirombra 2005).

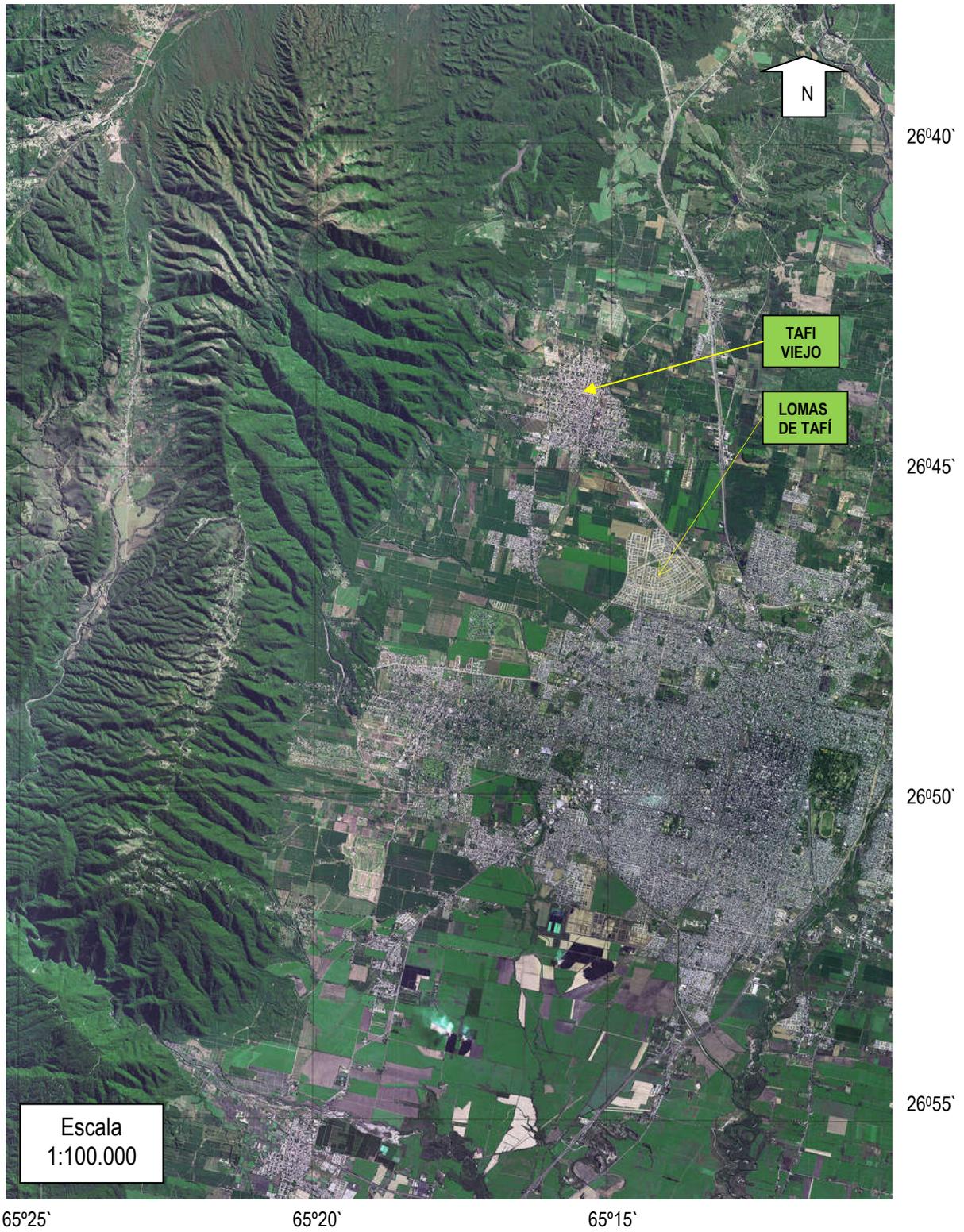
El pedemonte se desarrolla entre los 400 a 700 msnm, en la transición entre la llanura tucumana al oriente y las cadenas montañosas al oeste y en la dirección norte sur desde las Sierras del Nordeste hasta las Sierras de Sudoeste. Esta región se caracteriza por las numerosas lomadas de baja altura cortadas por cauces de ríos y arroyos temporarios donde se desarrollan conos aluviales y glaciares. (Figuras 5 y 6). (Sal, 1997). Fisiográficamente el pedemonte se extiende desde la base de la sierra de San Javier hasta aproximadamente el Río Salí en la ubicación de la urbanización, entre los 26°38' y 26°48' de latitud sur y tiene una pendiente con dirección NO – SE, evidenciada por el sentido de los flujos de agua.

### **1.9.3.- Hidrografía**

Los arroyos y ríos que descienden de la Sierra de San Javier y que interactúan en alguna medida con la urbanización, presentan una notable disposición ligeramente convergente como consecuencia de la estructura geológica. Entre los cauces más importantes, de Norte a Sur, se pueden mencionar: A° Taficillo, A° Nueva Esperanza, A° Cochuchal, A° El Tala, A° Tafi, A° Las Cañitas, A° Los Tarcos, A° Cazorla y Quebrada 6. Todos ellos, directa o indirectamente descargan sus aguas en el Canal Norte. (Figura 6)

El régimen hídrico es estacional con crecientes torrenciales en verano. Es decir, en la zona no existen cursos de agua importantes con carácter permanente y cuando crecen, en verano buena parte de los cauces de los arroyos se infiltran en las fallas y diaclasas o grietas del macizo rocoso y en los sedimentos de edad terciaria y cuaternaria del piedemonte (Sal, 1997).

**Ortofoto que incluye el Área de influencia a la Urbanización**



65°25' 65°20' 65°15' 26°40' 26°45' 26°50' 26°55'

**Figura 5.- Ladera Oriental de La Sierra de San Javier. Extraído de Atlas Tucumán 100 k. IGN**

### Arroyos en el Área que interactúa con la Urbanización

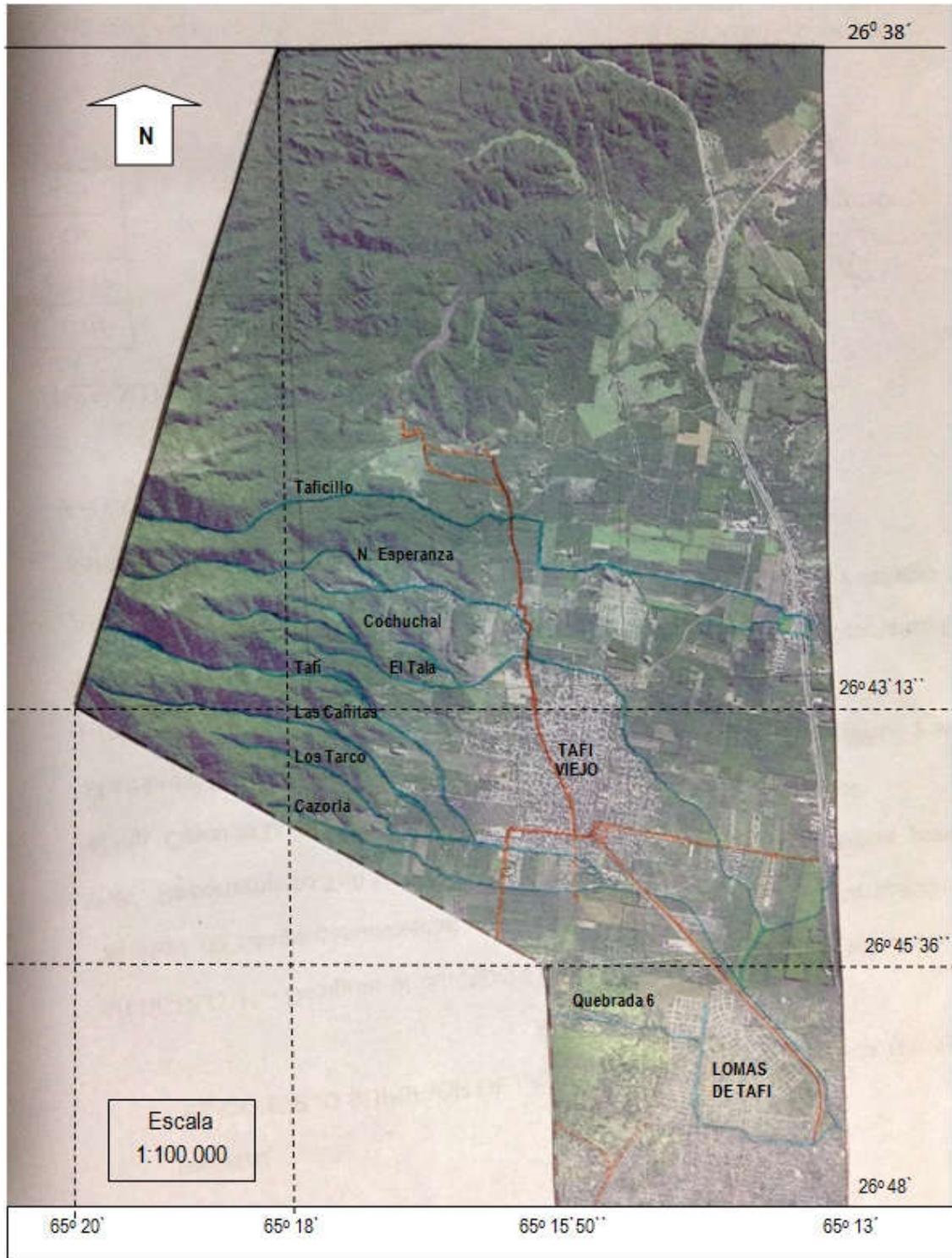


Figura 6: Mapa Hidrológico del Área de Estudio. Elaboración propia en base a la figura anterior.

### **1.10.- GEOLOGÍA**

La Geología es una de las ramas del conocimiento vinculada directamente a la problemática ambiental desde distintos puntos de vista: por un lado, el suelo como factor ambiental expuesto a malas prácticas de distintas actividades antrópicas. Por otro lado está vinculado a los riesgos naturales como consecuencia de factores que interactúan, como son la estructura, la calidad de la roca, la variabilidad geomorfológica, el contraste climático y el agua superficial.

Con el motivo de proponer un ordenamiento y formalización nomenclatural de las unidades que constituyen el basamento del noroeste argentino, Turner (1960, 1972) y Turner y Mon (1979) incluyen bajo la única denominación de Formación Puncoviscana a las rocas sobre las que se desarrolla la estratigrafía regional. Si bien esta denominación unifica un conjunto litológico heterogéneo, constituye la formalización necesaria a partir de la cual avanzarían las investigaciones sobre el tema.

Regionalmente, Mon y Salfity (1995) y Mon y Mansilla (1998) incluyen a la provincia de Tucumán dentro de Sierras Pampeanas y Cordillera oriental, destacando elementos tectónicos mayores que caracterizan al basamento. En el distinguen cinturones de esquistos de bajo grado que gradualmente pasan a facies de metamorfismo medio y alto, diferenciando los cinturones de Lules, de Choromoro, de Aguas Blancas y el Cinturón de Gneisses y Esquistos Bandeados. Las secuencias de bajo grado de metamorfismo están representadas en las sierras del noreste y el borde oriental de las cumbres Calchaquíes, mientras que aquellas de mayor metamorfismo están en las sierras del Aconquija y Quilmes.

La Formación Medina fue definida por Bossi (1969) en la sierra homónima para identificar una serie pizarrosa, con filitas, metagrauvas y cuarcitas con una marcada interestratificación rítmica de niveles psamíticos y perlíticos. En la definición original se reconocen filitas de color gris verdoso a gris oscuro, con la superficie de clivaje coincidente con la estratificación original que se ve afectada por pliegues isoclinales.

Otras denominaciones como formaciones Taficillo (Porto 1970) y San Javier (Tosselli et al. 1985) son consideradas como equivalentes a la Formación Medina (Bossi 1969) y Durand (1998) en base a sus caracteres geológicos generales.

En base a lo expresado y tomando en cuenta el área que interactúa con la urbanización e incluye a la ladera oriental de la Sierra de San Javier se puede expresar que la Sierra

mencionada presenta características transicionales, entre las unidades morfoestructurales de la cordillera oriental y la Sierra Pampeana. (Figuras 5 y 6).

El núcleo de estas sierras fue reconocida y descrita por Toselli et al (1975) quien la define como Formación San Javier.

Turner, y Mon (1979) incluyen a la zona en Cordillera Oriental. En fecha más reciente Toselli (1984), la ubica como Sierra Pampeana.

Estas formaciones son un basamento metamórfico de edad precámbrica - cámbrico de bajo grado sobre el que se apoyan, mediante discordancia angular elementos más jóvenes, siendo estas cubiertas pertenecientes al Cretácico, Terciario y Cuaternario sucesivamente. Corresponden a estos las formaciones El Cadillal, Río Salí, Tucumán y los depósitos de llanura.

### **1.10.1.- Descripción de las Formaciones Geológicas**

#### **1.10.1.1.- Formación Río Salí**

**1.10.1.1.1.- Antecedentes:** en un contexto regional primero se debe mencionar la cuenca de Choromoro la cual es un área de transición con rasgos comunes a tres provincias geológicas Sierras Pampeanas Nord occidentales (en el centro – Oeste), en la transición hacia el Este con la provincia Geológica Chaco Pampeana y Sistema Santa Bárbara – Sierras Subandinas en el Noroeste. Esta particularidad geológica hace que los intentos de vinculación cronoestratigráfica entre las cuencas sean complejos.

La Formación Río Salí fue definida como parte del grupo Choromoro y ubicada al sur de este (Ruiz Huidobro 1966; Bossi 1969) e India Muerta (Bossi, 1969).

**1.10.1.1.2.- Litología:** formada por pelitas margosas verdes y amarillas con resto de peces, calizas y concreciones yesíferas en la parte basal (Bossi 1969); le siguen una alternancia de limolitas rojas y verdes laminadas, tobas y areniscas finas (Ruiz Huidobro, 1960; Bossi, 1969)

**1.10.1.1.3.- Espesor y Edad:** es una sucesión de 640 m de espesor (en el arroyo India Muerta). En relación a la edad, Bossi sitúa a esta formación en el Paleógeno (Mioceno medio).

### **1.10.1.2.- Formación Tucumán**

**1.10.1.2.1.- Antecedentes:** está unidad fue descripta en base al análisis de perfiles geológicos de pozos para captación de aguas subterráneas y contenido paleontológico. (Bonaparte et al 1977)

**1.10.1.2.2.- Litología:** es un conjunto de sedimentos clásticos, (arena, limo, arcilla y grava), sobre una capa de granulometría más gruesa que tiene continuidad lateral, que actúa como conglomerado de base. (Papetti Villada, 1978).

**1.10.1.2.3.- Espesor y edad:** el espesor está entre los 32 y 38 m, comprobado en perforaciones realizadas en el piedemonte, al Sur de la ciudad de Tafí Viejo. Su edad fue datada en el Cuaternario (Pleistoceno), por su contenido faunístico donde se puede mencionar el caparazón de Gliptodonte de género *Hoploporus* hallado en 1971 cerca del Golf Club (Yerba Buena) a una profundidad de 2 m en un canal de desagüe del lugar. Este fósil se encontró dentro de un limo color pardo rojizo. (Bonaparte et al 1977).

### **1.10.2.- Depósitos Holoceno**

Estos depósitos se los puede observar en distintos lugares y con varias unidades morfológicas que corresponden a este lapso. Los depósitos del Holoceno sobreyacen a la Formación Tucumán. Se incluyen aquí los abanicos aluviales más modernos, los conos aluviales, los glacis y las terrazas fluviales que forman el lecho extraordinario de los torrentes. También los suelos y paleosuelos, (perfiles enterrados), se incluyen en este lapso más reciente.

La estratigrafía que corresponde al área de influencia a la urbanización se expone en la (Tabla 2).

**Tabla 2: Cuadro resumen de la estratigrafía de las formaciones.** Tomado de Sal 1996.

ERA	PERÍODO	EPOCA	GRUPO	UNIDAD	LITOLOGIA	ESPESOR (m)
Cenozoica	Cuaternario	Holoceno o Actual		Terrazas pluviales, Conos aluviales Depósitos de llanura	Arenas, Limos y fanglomerados, limo, limo arcilloso. Limos y cineritas. Gravas, arenas y limos fluviales.	Variable
		Pleistoceno		Formación Tucumán III Nivel de piedemonte	Arenas finas a gruesas y gravas con intercalaciones de limo-arcillosos y arenarcillosas sobre material detrítico de arena cuarcítica y arena fina a gruesa pardo claro.- Limos loésicos	60
	Terciario	Mioceno	Choromoro	Formación Río Salí	Lirolitas rojas con intercalaciones de lutitas, margas verdosas alternadas con areniscas blancas, verdosas concrecionales. Cemento carbonatico. Yeso.	No determinado

### 1.10.3.- Suelos en la provincia de Tucumán

De acuerdo a la clasificación de la USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Soil Survey Staff, 2010), los suelos de la provincia de Tucumán corresponden a cinco órdenes taxonómicos: Molisol, Entisol, Alfisol, Inceptisol y Aridisol. (Figura 7). Estos se dividen en numerosos subórdenes, grandes grupos y subgrupos. En la provincia de Tucumán hay numerosos trabajos que describen los suelos en distintos niveles taxonómicos, de acuerdo a la escala u objetivo de los mismos. Es el caso de la figura extraída del Libro de Geología de Tucumán. (2014). (Puchulu y Fernández, 2006).

#### 1.10.3.1.- Suelos de la Sierra San Javier

Los suelos en esta sierra manifiestan características propias debido a morfogénesis y a la interferencia de las actividades antrópicas desarrolladas en la zona. Entre otras, se puede mencionar: la posición topográfica, pendientes, cubierta vegetal autóctona, material originario y el uso del suelo. Estos condicionantes hacen que los suelos desarrollados tanto en la zona cumbral, como en la ladera tengan características morfológicas y genéticas diferentes entre sí. Desde la zona cumbral se encuentran suelos formados por el aporte de materiales de orígenes diferentes; por un lado los limos loésicos retransportados y por otro lado los

formados a partir de la meteorización de areniscas de la edad Cretácica (Formación el Cadillal), mezclado con material limo loésico y clastos del basamento metamórfico.

Las características generales de ambos es el significativo desarrollo edáfico, con perfiles tipo A/Bt/C, con importante aporte orgánico en los horizontes superficiales y procesos de eluviación/iluviación de arcillas. Un ejemplo de ello es el suelo que se encuentra en la zona de Anta Muerta donde se encuentran representados por Molisoles, subgrupo Argiudoles típicos, con un perfil Ap/A<sub>2</sub>/E/Bth/C, desarrollados sobre el material loésico retransportado.

Se trata de un suelo que responde a las condiciones ambientales locales, con un importante desarrollo edáfico y características morfológicas similares. Se destaca en toda el área cumbral de San Javier el deterioro de los suelos a consecuencia de una fuerte presión antrópica. (Puchulu 2014).

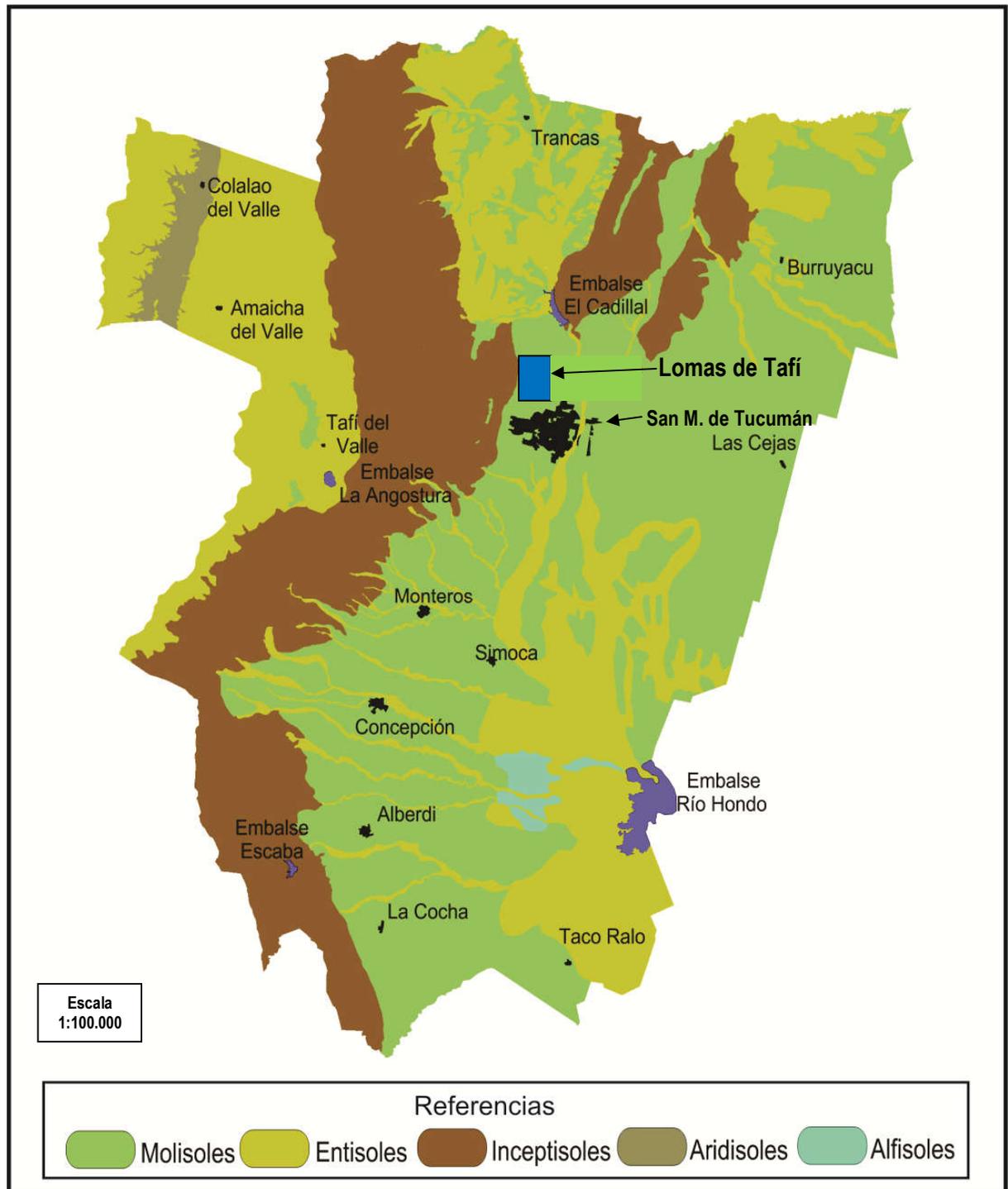
#### **1.10.3.2.- Suelos de la zona pedemontana**

Esta zona hace referencia al sector oriental ubicado al pie de las sierras del Sudoeste, Sierra del Aconquija, Sierra de San Javier y sierras del Nordeste de la provincia de Tucumán, distribuido en una franja que se extiende en forma paralela al relieve serrano. (Figura 4). Los suelos se ubican sobre niveles de glacis cubiertos y glacis de erosión y niveles de bajadas adosadas a los frentes montañosos (Puchulu y Fernández et al. 2008).

En esta unidad tiene lugar la mayor producción agrícola de la provincia y se encuentran representados dos tipos de suelos muy diferentes. Por un lado los más evolucionados, de la provincia, profundos, (más de 3 m de espesor), con una clara horizontalización, enriquecidos en carbono orgánico, pH neutro a ligeramente ácido, textura predominantemente fina, (franco arcillosa). El contenido de arcilla aumenta en profundidad, por procesos de meteorización in situ y, que responden a la interacción de una serie de factores, (régimen hídrico údico, importante cobertura vegetal, pendientes suaves y material original limo arcilloso). Por otro lado se encuentran suelos menos desarrollados, asociados a lomadas bajas del piedemonte, zonas de conos aluviales y vías de escurrimiento menores.

Los primeros correspondientes a los niveles de glacis y en las bajadas aluviales con importantes cubiertas loésicas. Tienen un perfil típico O/A/Bt/C, representados principalmente por Molisoles, (subgrupo Argiudoles típicos y Hapludoles tapto árgicos), con un epipedón mólico y un horizonte superficial argílico; formados bajo un régimen de humedad údico, con

### Mapa General de Órdenes de Suelos de la Provincia



**Figura N° 7: Mapa tomado de Puchulu, M. E. y Fernández, D. S. (2014).**  
Características y Distribución Espacial de los Suelos de la Provincia de Tucumán. En Moyano, S.; Puchulu, M. E.; Fernández, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; y Nieva, S. (eds.). Geología de Tucumán 2014. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán

una secuencia de horizontes de tipo A/E/Bt/C, donde el sufijo “t” en el horizonte “B” indica la presencia de material arcilloso iluvial, que se encuentra conformando pequeñas películas entre los agregados. Asociados a estos, pueden observarse otros molisoles (Hapludoles típicos), que se diferencian de los anteriores por carecer de horizontes enriquecidos en arcillas, cuyo perfil característico es el A/B/C.

A medida que avanza hacia el Este la unidad fisiográfica va perdiendo pendiente hasta entran en un ambiente de llanura donde predominan condiciones más secas.

(Puchulu y Fernández et al. 2008)



## **CAPÍTULO 2: ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA**

### **2.1.- INTRODUCCIÓN**

En el título 1.8 del Capítulo 1 se ubicó el área de estudio mediante límites geográficos aproximados y con más precisión con coordenadas geográficas. En la (Figura 3) se pueden ver la Ciudad de Tafi Viejo con más de 39.600 habitantes (INDEC, 2010) y la urbanización Lomas de Tafi al Sur de la anterior, que tiene 400 has, 5.000 viviendas y aproximadamente 20.000 habitantes emplazadas ambas al pie de la ladera oriental de la Sierra de San Javier. (Figura 6) y que son surcadas por los cauces de los arroyos que descienden hacia la Llanura Tucumana, siguiendo la pendiente del terreno (Moreno, 1974). Esta sierra, se desarrolla desde los 600 hasta los 1900 msnm. Tiene una superficie aproximada de 21.390 has, de las cuales 14.000 corresponden al Parque Sierra de San Javier, área protegida desde 1973 que depende de la Universidad Nacional de Tucumán y cumple la importante función de preservación del suelo, hasta la cota aproximada de los 700 msnm, evitando la erosión debido a la selva con especies autóctonas, que contienen las aguas de lluvia. (Fernández y Sirombra 2005).

La pendiente media de la ladera oriental de la sierra es del 40 % y el piedemonte sobre el cual se encuentran las urbanizaciones mencionadas presenta pendientes que oscilan entre el 5 y el 10 %, (Toledo, 1992). La vegetación de la misma corresponde a las “Selvas de Montaña” o “Yunga”, (Cabrera 1977), uno de los ecosistemas de mayor biodiversidad y fragilidad del NOA, (Morales, et al. 1975).

En la Figura 8 se puede ver la cartografía del área que incluye a la influencia a la urbanización y corresponde a ortofoto de la Figura N° 5 con las coordenadas correspondientes y los arroyos que bajan por la ladera en dirección Noroeste – Sudoeste.

### Cartografía Topográfica

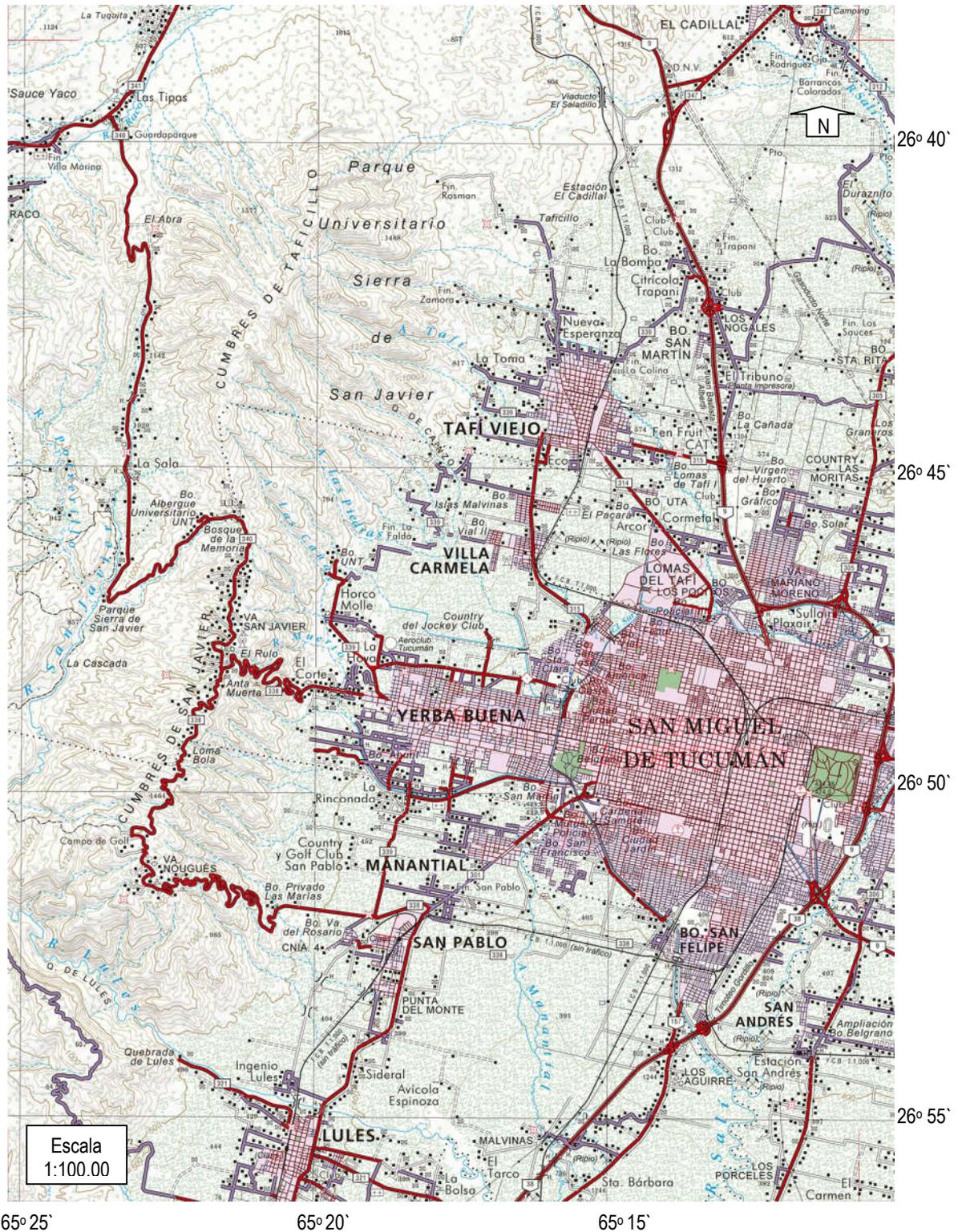


Figura Nº 8.- Carta Topográfica B19. Extraída del Atlas Tucumán 100 k

## **2.2.- HIDROLOGÍA.**

### **2.2.1.- Introducción**

La Hidrología es la ciencia que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas de glaciares.

Uno de los principales objetivos de la Hidrología es solucionar importantes problemas del manejo del agua en todo el planeta, en general, y en distintas regiones y países en particular, mediante las técnicas del Balance Hídrico.

A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de este recurso y sus modificaciones por las influencias de las actividades del hombre. (Sokolov et al., 1982).

El análisis de las aguas superficiales en base a los riesgos que conllevan las mismas se realizará en el capítulo 3.

La descripción y análisis del balance hídrico con los índices asociados que interactúan, cuyos valores dependen del ecosistema y el clima, son imprescindible para fundamentar el análisis en tiempo real de las distintas fracciones de agua provista por la precipitación en la cuenca considerada: evapotranspiración, infiltración y agua superficial. Esta metodología permitirá comparar el volumen de agua superficial y la capacidad del Canal Norte para drena dicha cuenca.

### **2.2.2.- Balance Hídrico**

El ciclo hidrológico considerando todo el planeta es un balance de materia, es decir que es un equilibrio entre todos los factores hídricos que intervienen en el sistema, los que ingresan y los que salen del mismo en el período de un año. Se basa en la conservación de la masa que tiene implícita la ecuación de continuidad. (Papetti Villada, 1978).

Considerando un sistema que simule a una cuenca en la que no hay aporte de agua de deshielo y se desprecia la transferencia de masas subterráneas. El balance hídrico de dicho sistema se lo puede expresar matemáticamente mediante la ecuación:

$$P - Q_{s0} - E - T - I = 0 \quad (1); \text{ En donde}$$

*P*: precipitación  
*Q<sub>s0</sub>*: agua superficial de salida  
*E*: evaporación  
*T*: transpiración  
*I*: infiltración

Simbología utilizada por Instituto de Hidrología de España / UNESCO

De esta manera se pone la atención solo en una parte limitada del planeta, en ese caso, el equilibrio se desplaza a favor de algunas variables y otras pueden hacerse menos importantes, incluso despreciables presentándose exceso o deficiencia de agua disponible según el caso.

Los balances hídricos se realizan para el período de un año, salvo el caso que se especifique otro período. Así, por ejemplo, el territorio de la República Argentina presenta deficiencia de agua en las dos terceras partes de su extensión, es decir una relación negativa de precipitación vs. evaporación más transpiración por lo que no queda agua disponible para los otros dos términos de la ecuación, ( $Q_{s0}$ ,  $I$ ), los cuales constituyen la principal fuente de agua para el hombre y su actividades productivas. Ejemplo: riego, procesos productivos, energía hidráulica, etc.

Es necesario aplicar la ecuación del balance hídrico adaptada a cada región o país, para conocer la cantidad de agua con la que cuenta en las distintas estaciones del año.

En el área de influencia a la urbanización el balance es positivo durante gran parte del año, es decir,  $P - (E + T) > 0$ . (Papetti Villada -1978)

Por otra parte el agua producida por las lluvias durante el período noviembre – marzo perjudica a los suelos de las cercanías del área del emprendimiento urbanístico y de la ciudad de Tafí Viejo, objeto de este trabajo por las características de la cuenca, pendientes, capacidad de erosión y arrastre de materiales. Por estos sucesos y otras razones resulta necesaria la evaluación de la hidrología en esta cuenca por un método pertinente, el cual permita obtener cifras representativas de los volúmenes de agua involucradas, tanto en el ciclo hidrológico, como en eventos críticos. (Papetti Villada. 1978).

### 2.2.2.1.- Precipitaciones

Este fenómeno, según Castany (1982), es “la cantidad de agua meteórica total, líquida o sólida que cae sobre un área determinada llamada superficie pluviométrica”. En este caso sobre el área de avenamiento de los siguientes cauces: A° Taficillo, A° Nueva Esperanza, A° Cochuchal, A° Tafi, A° Tala, A° Cañitas y A° Los Tarcos, entre otros. (Papetti Villada, 1978).

La cantidad medida de precipitaciones en una cuenca fluvial, o en cualquier otra zona, se obtiene a partir de los datos de pluviómetros, pluviógrafos o totalizadores instalados en la zona de estudio. (Sokolov, et al, 1982).

En el cálculo del balance hídrico, la determinación del valor medio de la precipitación en la cuenca en estudio debe hacerse con datos corregidos para compensar los errores sistemáticos de los aparatos de medida producidos por evaporación, viento, entre otros factores. Estos errores pueden ser importantes dependiendo además del tipo de lluvia. (Sokolov, et al, 1982).

Para la determinación de la pluviometría (cantidad de agua medida, no la caída realmente), se establecen entre 15 y 30 puestos dependiendo de la topografía y extensión de la cuenca, objeto de estudio, de cada una de ellas se extrae un promedio mensual y anual para un periodo de al menos 10 años que presenten datos completos. Los promedios anuales se ubican en un mapa de escala conocida y se trazan las isoyetas anuales.

La capa de agua caída anualmente sobre una cuenca está dada por:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i * P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} \quad (2) \quad \begin{array}{l} A_i - \text{cada área parcial limitada por dos isoyetas consecutivas} \\ P_i - \text{la media aritmética de los valores pluviométricos obtenidos para esas curvas} \end{array}$$

### 2.2.2.2.- Evapotranspiración

El agua aportada por precipitación se pierde por evaporación y transpiración de los seres vivos, especialmente vegetales. Ambos procesos han sido unificados en el término evapotranspiración creado por el investigador norteamericano. (Thornthwaite, 1955).

Por otra parte hace una distinción entre la evapotranspiración potencial y la real. La primera es la máxima evaporación posible bajo las condiciones del clima presente, estando el suelo con abundante humedad y con cubierta vegetal. La evapotranspiración real es la

perdida que se produce en las condiciones reales, ya que la cobertura de la vegetación es habitualmente incompleta y los contenidos de humedad del suelo son variables, pues depende de la porosidad del mismo, tipo de mineral, tamaño de la partícula y de la pendiente. Solo en casos extremos puede aproximarse a la potencial.

Para el cálculo de la evapotranspiración existen varios métodos, todos ellos han demostrado buena aproximación a la realidad, si se aplican criteriosamente, teniendo en cuenta sus limitaciones.

El Método de Thornthwaite, por ejemplo, es de aplicación práctica y da resultados aceptables, aunque levemente menores a los obtenidos por métodos directos, cuando se lo aplica a zonas húmedas. Este déficit pequeño se lo puede interpretar como un factor de seguridad, es decir dará valores de agua disponible para escurrimiento superficial levemente superior al real.

Thornthwaite considera que las variables climáticas más importantes en la determinación de la evapotranspiración son la temperatura media y la duración del día y deduce las siguientes ecuaciones:

$$E_{Tp} = 16 * \frac{(10.t^0).a}{I} \quad (3)$$

$$\text{A su vez } I = \sum_{i=0}^{i=12} i ; i = \left(\frac{t^0}{5}\right)^{1,514} \quad (4)$$

En donde:

$E_{Tp}$  = evapotranspiración potencial

$t^0$  – temperatura media mensual

$I$  – índice calórico anual

$a$  – constante

$i$  – índice calórico mensual

Para facilitar el uso de estas ecuaciones se confeccionaron tablas de temperaturas media mensual determinadas en estaciones meteorológicas, datos retrospectivos, en función de las cuales se obtiene, de la tabla apropiada, el índice calórico mensual  $i$ , y la suma de los índices de cada mes nos da  $I$ , el índice calórico anual.

Con el valor obtenido de  $I$  se recurre a otra tabla que proporciona el valor de la evapotranspiración diaria sin ajustar en función de la temperatura media mensual y del  $I$  calculado.

Para determinar la evapotranspiración mensual se multiplica la evapotranspiración diaria por un coeficiente de ajuste cuyo valor está en función de la latitud y del mes del año. El valor obtenido es el de la evapotranspiración potencial y se lo considera igual al de la

evapotranspiración real cuando es menor que la precipitación para ese mes, en ese lugar, es decir cuando:

$$P - E_{Tp} \geq 0; \text{ entonces } E_{Tp} = E_{Tr}$$

Si este no es el caso  $E_{Tp}$  debe ser corregido para obtener  $E_{Tr}$

En los meses en los que se cumple que  $E_{Tp} > P$  es evidente que se consume agua que ha sido almacenada por el suelo en los meses en los que el balance  $P - E_{Tp}$  fue positivo. Esta situación se presenta generalmente en el periodo mayo – agosto en Tucumán.

Concretamente el procedimiento para determinar la evapotranspiración real es el siguiente: se acumulan todos los valores negativos,  $P - E_p$  mensuales y se llama a ese valor Pérdida Potencial de Agua; en función de ella y de una capacidad de almacenaje del suelo con escasa humedad, supuesta en 150 mm, en la tabla apropiada encontramos el almacenaje consecutivo para los meses restante. Restando los valores de almacenajes consecutivos se obtiene un nuevo parámetro llamado Variación de almacenaje; el cual sumado al valor de precipitación da la evapotranspiración real, para cada mes. La suma de todas ellas dará la evapotranspiración real anual. Repitiendo el proceso sobre todos los puntos que se quiera y volcando los resultados sobre un plano se obtiene un mapa de isopletas que representa la evapotranspiración real anual del área de estudio.

La expresión para calcular la evapotranspiración de un área de estudio en función de las isopletas trazadas es:

$$E_r = \frac{\sum(A_i * E_{ti})}{\sum A_i} \quad (5) \quad \text{Donde}$$

*A<sub>i</sub> – es cada una de las áreas entre dos isopletas consecutivas*  
*E<sub>ti</sub> – la media aritmética del valor de esas dos curvas*

### 2.2.2.3.- Escurrimiento Superficial

Es difícil determinar el escurrimiento superficial mediante medición directa con una incertidumbre absoluta aceptable tratándose de caudales variables desplazados en el tiempo respecto de período de lluvia y dispersado en un periodo de 12 horas, que es el tiempo en el que drena la mayor cantidad de agua, en distintas progresivas de los cauces de los arroyos incluido el canal norte.

Tampoco es fácil determinar con exactitud qué parte del volumen de agua caído corresponde al escurrimiento superficial. Dicho escurrimiento es afectado por factores que favorecen, aceleran o dificultan la circulación.

Entre los factores que aceleran el escurrimiento, además de la pendiente se puede mencionar a la roca metamórfica, a los suelos arcillosos y a las sedimentitas compactas. Entre los que retardan pueden ser: suelos bien estructurados, los mantos arenosos y rocas diclasadas. La calidad hidrológica de los suelos que son recorridos por el escurrimiento superficial se lo puede evidenciar por medio de Hidrogramas (curvas de caudales en función del tiempo). Este procedimiento es aplicable, por ejemplo en ríos con circulaciones permanentes.

En lo que hace a la influencia de la pendiente sobre el escurrimiento, Jean Tricart, (1978) distingue cuatro clases de pendientes. (Tabla 3).

Tabla 3: Clases de Pendientes según Tricart (1978)

	Pendientes		Característica
	G. Sexages.	%	
a)	< 1	< 1,7	El escurrimiento se desencadena solo durante los chubascos.
b)	1° - 5°	1,7 – 8,7	Son las de los conos aluviales, glacia de derrame. En este caso el escurrimiento depende del material dendrítico.
c)	5° - 20°	8,7 – 36,4	El escurrimiento depende de la tasa de cobertura vegetal.
d)	> 20°	> 36,4	El escurrimiento es función del gradiente.

En el caso del área de avenamiento de los cauces: A° Nueva Esperanza, A° Tafi, A° Cochuchal, A° Las Cañitas y A° Los Tarcos, entre otros, se puede estimar un coeficiente de escurrimiento del 15% en razón de las altas pendientes. (Fernández Ortiz - Papetti Villada 1978).

### Mapas y Atlas

Cuando no existen o hay muy pocos datos de precipitación, caudal o evaporación en la cuenca de un río, pueden ser útiles mapas regionales y atlas de valores medios de estas variables. (Nordenson, 1964). Con la ayuda de estos mapas de isolíneas, es posible determinar, planimetrando, los valores medios de precipitación, escorrentía y evaporación.

En la provincia de Tucumán hay numerosos trabajos de balance hídrico con mapas de isoplefas e isoyetas, incluidos, en distintas zonas de la provincia, además de trabajos, como las Publicaciones Misceláneas, sobre El Régimen Pluviométrico de la Provincia, elaboradas por Minetti, en el período (1983 – 1985).

#### 2.2.2.4.- Infiltración

Con respecto a la última variable de la ecuación N° 1 del balance hídrico, y poniendo a la evapotranspiración en un solo término  $E_{Tr} = E + T$ ; el cálculo de la infiltración es:

$$I = P - E_{Tr} - Q_{so} \quad (6)$$

#### 2.2.2.5.- Evaluación del Índice de Escurrimiento para un evento de lluvia importante.

Aplicando el método de balance hídrico anual, desarrollado por Thornthwaite y explicado precedentemente; Papetti Villada, (1978), en su trabajo realizado, en la zona; específicamente, en la subcuenca Cainzo las Piedras, obtuvo los resultados que se exponen en la Tabla 4.

El resultado de las precipitaciones fue  $1.255 \pm 4\%$  y en la Tabla 4 expone este valor medio sin tener en cuenta la incerteza absoluta.

**Tabla 4: Resultados de balance hídrico anual en la Sierra de San Javier**

Unidad	mm	%
<b>(P) - Precipitaciones</b>	1255	100,0
<b>(E<sub>T</sub>) - Evapotranspiración</b>	809,5	64,5
<b>(Q<sub>so</sub>) - Escurrimiento</b>	188,2	15,0
<b>(I) - Infiltración</b>	257,3	20,5

Uno de los propósitos de este trabajo es demostrar que se puede hacer un balance hídrico de un evento de lluvia para lo cual es fundamental determinar el volumen de agua escurrida por el Canal Norte en tiempo real. Considerando un periodo de lluvia de 3 horas,

con un volumen promedio de los eventos multianuales en un período de 50 años (1963–2013) y un tiempo de escurrimiento por el Canal Norte de 12 horas. (Figura 18).

Las consecuencias en el suelo y en distintas poblaciones son aleatorias porque dependen de numerosos factores, entre ellas la actividad antrópica.

En la cuenca en estudio la precipitación es el único proveedor de agua. El índice de escurrimiento, es el dato que interesa y se lo adopta, teniendo presente la Tabla 5, la cual como se dijo, es el resultado de un balance hídrico anual de una zona próxima a el área de estudio. Por esta razón, para adoptar el valor del escurrimiento superficial  $Q_{So}$  se establecen las siguientes hipótesis:

- 1.- Se está en presencia de suelo saturado, teniendo en cuenta que las lluvias más importantes ocurren en el semestre húmedo.
2. – La infiltración, es un proceso paulatino y su velocidad depende de la porosidad del suelo y el nivel de saturación del mismo.
- 3.- Considerando además que las pendientes en la cuenca, en general oscila entre  $1^\circ$  y  $5^\circ$ , lo que genera velocidades importantes y el recorrido promedio del agua, desde las nacientes hasta el canal norte, es corto:  $d \cong 8,0 \text{ km}$ .
- 4.- Teniendo en cuenta los puntos anteriores se considera a la infiltración despreciable, esto es:  $I \cong 0$
- 5.- La evapotranspiración tiene relación, en alguna medida, con volumen de agua caído, en el evento analizado en forma aislado, y con episodios anteriores de lluvias que depositan en forma acumulativa humedad en el suelo. Por otra parte, la evapotranspiración depende además de la temperatura media diaria, la duración del día, (Thornthwaite, 1955), la humedad relativa ambiente, la superficie mojada expuesta y los vientos, (temperatura y velocidad de la masa cinemática de aire).

En función de lo expresado arriba se formula un criterio para cuantificar el índice de escurrimiento, considerando un evento de lluvia para realizar un balance hídrico de la masa de agua caída. La Tabla 5 muestra el criterio adoptado.

**Tabla 5: Índices de las variables para el balance hídrico**

Variable	Fuente
<i>P: precipitación</i>	Promedio valores registrados por la EEAOC : 152 mm : 100 %
<i>E<sub>Tr</sub>: evapotranspiración</i>	Porcentual de Tabla N° 4: 0,645.152 mm = 98 mm: 64,5 %
<i>Q<sub>SO</sub>: agua superficial de salida</i>	Coefficiente de escurrimiento: $P - E_{Tr} = 152 - 98 = 54 : 35,5 \%$
<i>I: infiltración</i>	0,00 %

Los valores adoptados en la Tabla 5, sin discriminar la infiltración, son coherentes con los de la Tabla 4.

#### 2.2.2.6.- Equilibrio Hídrico de los continentes

Con el objeto de verificar la consistencia de los valores porcentuales de los distintos índices que provienen de las precipitaciones, se reproducen los valores expresados en mm de capa de agua por año en la Tabla 6.

**Tabla N° 6: Equilibrio Hídrico de los Continentes.**

Continente	Precipitación (mm)	Evaporación	Escorrentía (mm)
Europa	734	-415	-319
Asia	726	-433	-293
África	686	-547	-139
América del Norte	670	-383	-287
<b>América del Sur</b>	<b>1,648 – 100 %</b>	<b>-1,065 – 64,6 %</b>	<b>-583 – 35,4 %</b>
Australia	440	-393	-47
Promedio	834 – 100 %	-540 – 64,8 %	-294 – 35,2 %
Groenlandia	-	-	-180
Tierras Antárticas	-	-	-250
Promedio para todos los continentes	760	-480	-280 – 36,8

Fuente: La Influencia del Hombre en el Ciclo Hidrológico. Unesco 1992

Para determinar el volumen de agua caído en el área de influencia a la urbanización durante eventos de lluvias importantes, se consideró necesario solicitar valores retrospectivos sobre volúmenes máximos diarios de cada mes en el período húmedo (noviembre – abril),

incluidos, de cada año registrados por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, EEAOC, para un periodo de 50 años, (1963 – 2013). (Tabla 7).

**Tabla N° 7: Precipitaciones máximas diarias de cada mes durante 50 años.**



**Interesado: ING. OSVALDO LUIS HERRERO**  
**Localidad: SAN MIGUEL DE TUCUMAN**  
**Período: NOVIEMBRE – ABRIL 1963 – 2013**

**MÁXIMA PRECIPITACIÓN DIARIA DE CADA MES**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	NOV	DIC
1963	109,0	49,8	62,3	16,5	21,5	55,6
1964	37,2	72,3	82,6	33,9	26,4	21,4
1965	44,7	14,4	93,5	7,5	90,8	53,0
1966	101,0	67,0	44,9	24,3	56,5	25,9
1967	21,3	75,0	37,7	9,9	83,3	13,0
1968	73,1	80,7	98,8	36,9	42,7	126,0
1969	29,6	122,4	33,9	76,2	36,3	14,3
1970	40,0	73,5	58,5	27,0	34,5	68,0
1971	63,2	68,0	52,2	15,1	41,2	17,0
1972	91,2	42,5	30,5	32,2	13,0	28,5
1973	65,0	55,0	189,0	20,2	36,5	26,0

1974	70,2	32,0	33,0	22,0	18,0	21,2
1975	26,5	32,0	38,3	32,5	36,2	62,0
1976	93,5	48,0	49,7	3,5	14,5	56,9
1977	65,0	59,0	38,0	67,0	13,6	95,0
1978	69,0	98,0	36,0	3,6	31,0	61,5
1979	95,0	49,5	49,0	23,0	44,0	70,0
1980	34,0	12,5	60,5	19,0	19,5	76,5
1981	53,3	75,4	100,4	24,3	65,0	148,0
1982	31,5	22,0	37,8	24,0	80,5	55,5
1983	51,6	86,0	41,5	13,0	43,5	103,5
1984	113,5	23,5	99,8	15,5	26,5	45,0
1985	41,4	60,3	111,0	32,0	37,0	56,0
1986	41,0	50,0	43,5	19,4	24,2	130,0
1987	37,5	46,1	38,0	36,0	32,1	93,0
1988	149,0	78,1	56,1	28,5	17,5	45,1
1989	103,5	12,5	28,7	21,6	21,8	25,0
1990	43,0	96,7	59,5	42,6	43,5	51,5
1991	78,4	38,2	41,2	35,0	44,5	45,5
1992	72,5	42,3	113,5	27,6	31,0	67,0
1993	120,5	30,2	45,0	6,5	24,5	43,5
1994	73,5	165,5	17,5	16,0	22,5	52,8
1995	64,0	24,0	27,0	11,0	25,0	13,5
1996	64,0	46,5	69,2	14,0	36,6	55,0
1997	90,5	120,0	49,5	2,5	42,0	68,0
1998	62,5	21,0	41,0	29,0	29,5	24,0
1999	52,0	99,5	72,5	14,5	67,5	54,5
2000	84,5	140,5	44,3	15,5	60,0	44,5
2001	83,2	74,5	71,4	51,0	37,0	48,5
2002	71,5	76,0	29,8	8,5	36,0	54,5
2003	89,0	58,0	20,5	27,3	11,5	54,0
2004	24,0	35,0	47,7	54,5	53,0	44,5
2005	88,0	54,5	49,0	31,0	39,5	38,5
2006	82,0	36,5	25,5	63,5	52,0	42,5
2007	140,0	77,0	37,5	7,5	8,5	55,0
2008	85,0	46,5	80,0	18,5	29,5	48,5
2009	53,0	19,0	53,5	29,0	86,2	31,7
2010	111,0	43,7	34,2	22,5	27,0	31,0
2011	121,0	34,8	19,4	42,9	16,5	85,0
2012	23,9	23,8	22,0	35,8	31,4	39,5
2013	62,8	48,2	40,6	28,0	15,6	69,0

### 2.3.- CÁLCULO DE LA SUPERFICIE PLUVIOMÉTRICA

Considerando la Figura 6 del Capítulo 1 que corresponde a la Figura N° 14 del presente, se determinará la superficie de la cuenca para lo cual se restará el de la subcuenca drenada por los cauces pertenecientes a: A° Cainzo, A° Las Piedras, Río Las Cañas y Río Muerto. Estos fluvios descienden por el Este de la Sierra de San Javier, en el tramo sur de la misma y circula por el Oeste de la urbanización Lomas de Tafi y no descargan sus aguas en el Canal Norte, sino en el Camino del Perú y continúa por Av. Alfredo Guzmán, excepto el Río Muerto que continúa por la Av. Alfredo Guzmán y desembocan todos en el Canal Sur siguiendo por este hasta el Río Salí.

En el tramo Norte de la ladera este de la Sierra descienden los arroyos que afectan directamente a la Ciudad de Tafi Viejo, barrios periféricos, Lomas de Tafi y áreas al norte de las poblaciones mencionadas.

Los arroyos más importantes son A° Taficillo, A° Nueva Esperanza, A° Tafi, Las Cañitas y A° Los Tarcos.

Debe mencionarse además, otros aportes de cauces que se activan por desborde del A° Cainzo y el desagüe de fincas al Oeste de la Ruta 314, así como un arroyo que corre paralelo a la misma los cuales se junta y atraviesan la canteras de ladrillos y acceden a la urbanización con el nombre de Quebrada 6, por el Oeste. (Figura 9). Otro importante aporte, si se quiere indirecto, es el A° Taficillo que cruza de Oeste a Este por fincas ubicadas al Norte de la ciudad de Tafi Viejo, cruza la Ruta N° 9 por alcantarillas que se encuentran entre los km 1306 y 1309, (Figuras N° 10 y 11), y retorna para el lado Oeste de la ruta por otras alcantarillas ubicadas en el km 1303. Figuras N° 12 y 13.



Figura 9: Desborde A° Cainzo



Figura 10: Alcantarilla Ruta 9, km 1306



Figura 11: Alcantarilla Ruta 9, km1309



Figura 12: Alcantarilla (a) Ruta 9, km 1303



Figura 13: Alcantarillas (b) Ruta 9, km 1303

Estas últimas, están en paralelo tienen una sección de  $22,2 \text{ m}^2$ ; lo que representan, aproximadamente un 60% de la sección del Canal Norte, (en progresiva 3 de Tabla 8, Figura 15).

La superficie pluviométrica, es el área de influencia a la urbanización y que es drenada por el Canal Norte, en este caso, es el área de avenamiento considerada marcada en la Figura 14 con perímetro verde que resulta de restar al trapecio rectangular el área que esta al Sureste de la misma. Esta área sustraída es la subcuenca que no drena sus aguas en el Canal Norte y está compuesta por las áreas  $A_1$  y  $A_2$  como se observa en la Figura 14.

### 2.3.1.- Superficie Pluviométrica

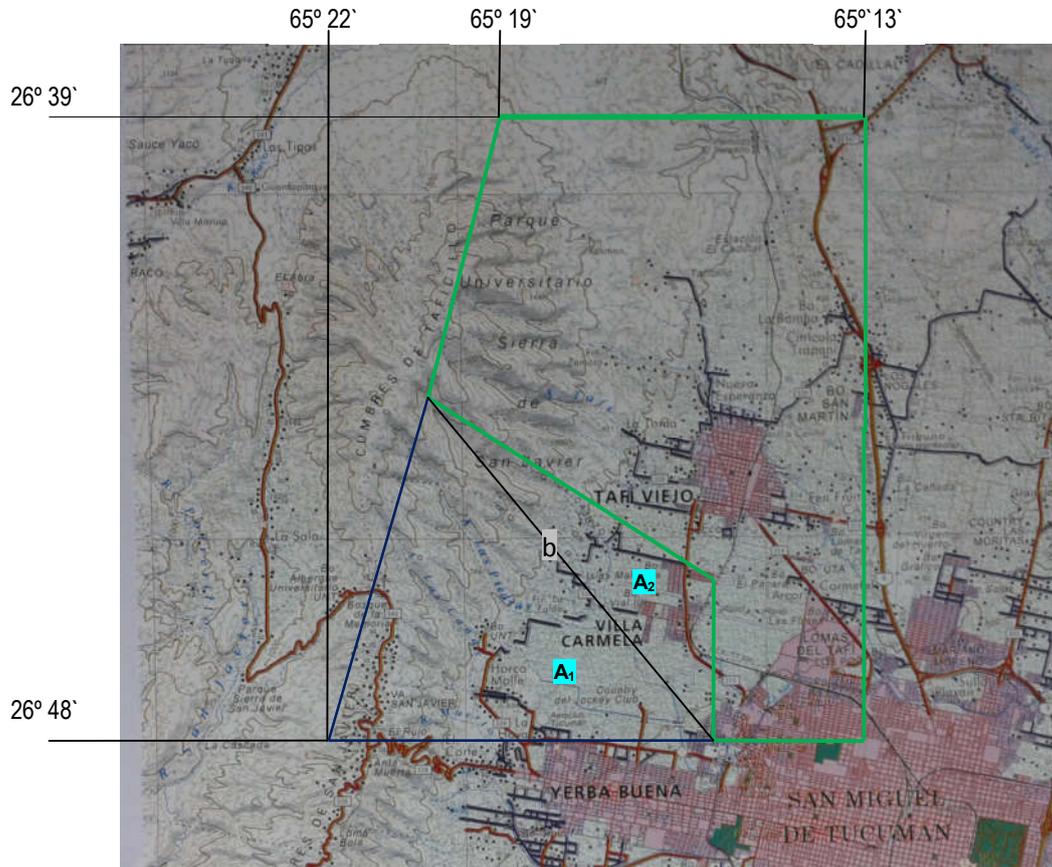


Figura Nº 14: Localización del Superficie Pluviométrica

Área de la cuenca,  $A_c$

$$A_c = h * \frac{a + b}{2} = 18,2 \text{ km} * \frac{(8,0 + 14,2) \text{ km}}{2} = 202,0 \text{ km}^2$$

$$A_c (\text{Has}) = 202,0 \text{ km} * 10^2 \left[ \frac{\text{Has}}{\text{km}^2} \right] = 20.200 [\text{Has}]$$

Área de la cuenca sur,  $C_s$

$$C_s = A_1 + A_2 = \frac{b \cdot h_1}{2} + \frac{b \cdot h_2}{2} = \frac{b}{2} * (h_1 + h_2) = \frac{11,0 \text{ km}}{2} * (7,8 + 2,7) \text{ km} = 57,7 \text{ km}^2$$

$$\text{Area de la cuenca sur} = 57,7 \text{ km}^2 * 10^2 \left[ \frac{\text{ha}}{\text{km}^2} \right] = 5.770 [\text{Has}]$$

**La superficie pluviometrica considerada es = (20.200 – 5.770) Has = 14.430 [Has]**

#### 2.4.- CALCULO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL CANAL NORTE.

Vista la necesidad de determinar la capacidad de transporte del Canal Norte por el que drena el área de influencia a la urbanización, se realizaron mediciones a repetición de taludes, Solera y pendiente en cinco progresivas a partir de la Avenida Juan B. Justo hacia el oeste, hasta la Avenida Ejercito del Norte. Se volcaron en la Tabla 8 las mediciones directas obtenidas y sus promedios en sendas progresivas y se completó dicha tabla calculando otros datos pertinentes mediante relaciones trigonométricas. En base a la observación propias y mediciones, se puede observar que la progresiva 4.- Puente sobre Calle Alberti, (corta a la Av. Francisco de Aguirre al 3200), este canal, tiene una pendiente de un 0,65 % y el área: 42,80 m<sup>2</sup>, (es la mayor de las progresivas observadas), sin embargo unos metros aguas arriba se produce una importante perturbación en el flujo cuando desemboca el Arroyo Tafí, (en proceso de canalización). En este Arroyo, a su vez, en un punto del tramo de la Diagonal Lechesi descargaron el A° Nueva Esperanza así como otro cauce que proviene del Arroyo Taficillo, cruza por alcantarillas la Ruta N° 9 hacia el Este, atraviesa Los Nogales y retoma hacia el Oeste de dicha ruta. Este aporte de agua suele tener un caudal considerable. Figuras 10, 11, 12 y 13.

La perturbación expresada anteriormente produce un desborde localizado del Canal Norte en lluvias importante pero no necesariamente excepcionalmente intensas.

En este trabajo se determinara el caudal de agua que puede desalojar el Canal Norte en el punto más desfavorable por su pendiente y el área. En la Tabla 8, la progresiva 3.- Puente de Av. Mitre. (Observación de propia). Figura 15.

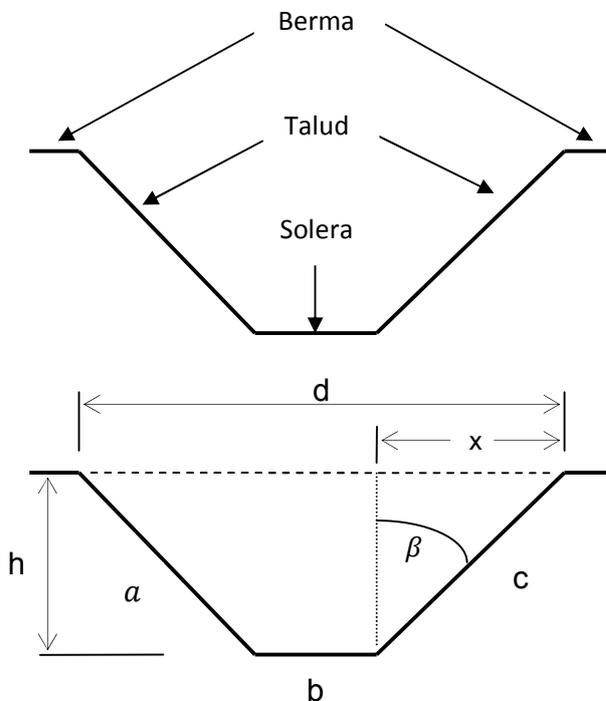


Figura N° 15: Canal Norte y puente de Av. Mitre

El Canal Norte, desde el punto de Vista hidráulico es un cauce libre, llamado así por cuanto actúa sobre él la presión exterior atmosférica. La línea de nivel piezométrico coincide, entonces con la superficie libre del líquido, la cual en el sentido longitudinal de la circulación, tiene un ángulo de inclinación, con respecto a la horizontal que tiene la dirección de la solera cuando el movimiento es permanente y uniforme. (Facorro Ruiz, 2009).

**2.4.1.- Calculo del caudal máximo del Canal Norte.**

**Mediciones en el Canal Norte**



$$x = \frac{b-d}{2} ; \cos \beta = \frac{h}{c} \therefore h = c \cdot \cos \beta$$

$$\sin \beta = \frac{x}{c} \therefore \beta = \sin^{-1} \frac{x}{c}$$

$$F = h \times \frac{b+d}{2}$$

**Pendiente del canal**

$$\tan \alpha = \frac{\Delta Z}{20} \therefore \alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta Z}{20}$$

$$\text{Pendiente } \% = \frac{\Delta z \text{ m}}{20 \text{ m}} * 100$$

**Referencias**

F – área transversal del canal

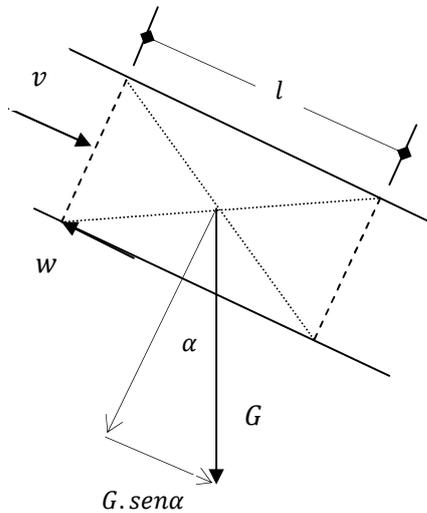
20 m – distancia para determinar ΔZ

A – pendiente del canal

**Figura Nº 16: Esquema del Canal Norte**

**Tabla Nº 8: Mediciones en distintas progresivas del Canal Norte. Elaboración propia**

Progresiva	a (m)	$\bar{a}$ (m)	b (m)	$\bar{b}$ (m)	c (m)	$\bar{c}$ (m)	d (m)	$\bar{d}$ (m)	h (m)	ΔZ (cm)	$\bar{\Delta Z}$ (cm)	Pend. %	X (m)	β (°)	F (m) <sup>2</sup>
<b>1.- Puente de Av. Juan B. Justo</b>	Perfil no definido: Berma, Taludes y Solera destruidos									17,5 13,0 18,2 15,5	16,0	0,80			
<b>2.- Puente de Calle Balcarce</b>	7,29 7,24 7,20	7,24	2,10 2,60 2,75	2,39	7,30 7,24 7,20	7,25	14,45 14,55 14,45	14,55	3,95	17,7 17,3 16,2 12,2	15,8	0,79	6,08	57°	33,46
<b>3.- Puente de Av. Mitre</b>	7,48 7,46 7,51	7,48	3,37 3,40 3,44	3,40	7,59 7,51 7,48	7,53	16,80 16,50 16,20	16,50	3,65	12,4 10,6 8,0 10,3	10,3	<b>0,51</b>	6,55	61°	<b>36,42</b>
<b>4.- Puente de Calle M. Alberti</b>	6,97 7,03 6,98	7,00	5,17 5,20 5,23	5,20	6,98 6,96 6,97	6,97	16,75 16,70 16,80	16,75	3,90	9,51 13,8 14,5 14,2	13,0	<b>0,65</b>	5,77	56°	<b>42,80</b>
<b>5.- Puente de Av. E. del Norte</b>	5,07 5,01 5,04	5,04	2,63 2,64 2,63	2,63	5,03 5,03 5,05	5,04	11,10 10,95 11,00	11,02	2,74	14,1 14,4 13,9 12,9	13,8	0,69	4,02	57°	18,70



**Símbolo**

- $G$  · Peso de la masa líquida considerada, en  $kg * \frac{m}{s^2} = [N]$  ·
- $w$  · Resistencia a la circulación.
- $\alpha$  · Pendiente del canal en grados.
- $\bar{v}$  · Velocidad media, en  $[\frac{m}{s}]$  ·
- $\gamma$  · Peso específico del líquido, en  $[\frac{N}{m^3}]$  ·
- $F$  · Área de sección transversal, en  $[m^2]$  ·
- $l$  · Longitud arbitraria o unitaria, en  $[m]$  ·
- $p$  · Perímetro mojado.
- $i$  · Pendiente pequeña  $i \cong \tan \alpha$
- $R$  · Radio hidráulico de la sección, en  $[\frac{m^2}{m}]$  ·
- $c$  · Coeficiente que depende de las características del cauce, en  $[m^{1/2}/s]$
- $n$  · Rugosidad y naturaleza de las paredes del canal.

Figura 17: Diagrama de cuerpo libre

Para una situación de equilibrio dinámico se verifica:

$$v = cte \text{ y } G \cdot \text{sen} \alpha = w \quad (1)$$

$$\text{Además } G = \gamma \cdot F \cdot l \quad (2)$$

Como  $\alpha$  es un ángulo muy pequeño, esto es,  $\alpha \ll 1$  se puede sustituir el seno por la tangente en (1), lo que dará un valor muy aproximado. O sea:

$$\text{sen} \alpha = \text{tg} \alpha = i \quad (3)$$

La resistencia de frotamiento  $w$  es proporcional a la superficie de contacto del líquido con el canal en una longitud arbitraria  $p \cdot l$  y es función de la velocidad media del curso de agua.

$$w = p \cdot l \cdot f(\bar{v}) \quad (4)$$

Reemplazando en (1) los valores hallados en (2), (3) y (4) se obtiene:

$$\gamma \cdot F \cdot l \cdot i = p \cdot l \cdot f(\bar{v}) ; \text{ o}$$

$$\gamma * \frac{F}{p} * i = f(\bar{v})$$

Siendo el radio hidráulico  $R = \frac{F}{p}$  y considerando a  $R$  y  $\gamma$  constante, la anterior se puede escribir:

$$Ri = \frac{f(\bar{v})}{\gamma} = \varphi(\bar{v}) \quad (5)$$

*Ecuación general del movimiento permanente uniforme en un cauce libre. El producto del radio hidráulico del canal o curso de agua por la pendiente es función de la velocidad media de la circulación.*

Para el régimen laminar, la función  $\varphi(v)$  es lineal, y para el régimen turbulento,  $v$  alcanzará, en la función  $\varphi(v)$ , un exponente menor o igual a 2.

Partiendo de la (5) se puede resolver las cuestiones que se refieren a este tipo de circulaciones. Aplicando la ecuación para el movimiento en cauces libres. (Facorro Ruiz, 2009).

$$v = c\sqrt{R \cdot i} \quad (6)$$

En donde el coeficiente  $c$ , en  $\left[\frac{m^{1/2}}{s}\right]$  depende de:

- ✓ La rugosidad y de la naturaleza de las paredes del canal
- ✓ De la pendiente y
- ✓ Del radio hidráulico.

La determinación del coeficiente “C”, que depende de las características del cauce y resulta complejo; por ello, se han establecido numerosas fórmulas empíricas, entre las cuales se adopta aquellas que han resultado más sencillas de aplicar y precisas para luego comparar los resultados obtenidos.

A partir de estudios y experiencias de investigadores se surgió la siguiente expresión para determinar el coeficiente  $c$ . (Facorro Ruíz, 2009).

$$C = \frac{23 + (1/n) + (0,00155/i)}{1 + [23 + (0,00155/i)]. (n/\sqrt{R})}$$

De la siguiente tabla se obtienen los valores del coeficiente  $n$  y de su inversa aplicable a la fórmula que determina el valor del coeficiente “C” que depende de la rugosidad de las paredes, de la pendiente y del radio hidráulico. (Facorro Ruíz, 2009)

**Tabla 9: Valores del coeficiente de Rugosidad “n”.**

Extraídos de Facorro Ruiz 2009. Valores aplicables a materiales para la construcción de canales.

Naturaleza de las paredes	n	1/n
Canales enlucidos de cemento alisado	0,010	100
Canales revocados con mortero de cemento	0,011	90,9
Mampostería de ladrillo con juntas alisadas, mampostería de piedra labrada.	0,014	71,4
Conductos de hormigón pre moldeado.	0,014	71,4
Hormigón moldeado en el lugar	0,016	62,5
Mampostería de piedra de cantera, caras lisas	0,017	58,8
Canales de pedregullo o grava afinada, sección rectangular	0,021	47,6
Canales de tierra sin vegetación y con ripio suelto	0,025	40,0

Parámetros del Canal Norte en la progresiva 3.- Puente Av. Mitre.

De Tabla 9, para paredes de hormigón:  $n = 0,016$  y  $\frac{1}{n} = 62,05$

$$\text{Radio hidráulico } R = \frac{F}{p} = \frac{36,42 \text{ m}^2}{7,48 \text{ m} + 3,40 \text{ m} + 7,48 \text{ m}} = 1,98 \text{ m}$$

$$\text{Pendiente en } \left[ \frac{m}{m} \right] = \left[ \frac{0,103 \text{ m}}{0,020 \text{ m}} \right] = 0,00515 \text{ y en } \% = \frac{0,103 \text{ m}}{20 \text{ m}} * 100 = 0,51 \%$$

$$\tan \alpha = \frac{0,103 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0,00515 \therefore \alpha = \tan^{-1} 0,00515 = 0,295^\circ$$

$$i = \tan 0,295 = 0,00515$$

Para determinar el coeficiente “C” se emplea la Tabla 40, página 216 del método desarrollado en Facorro Ruiz (2009). En dicha tabla se ingresa, entre otros, con el valor de la pendiente en:

$$\left[ \frac{m}{km} \right] = \frac{0,103 \text{ m}}{0,020 \text{ km}} = 5,15 \therefore \tan 5,15 = 0,090$$

Los valores de las magnitudes con los que se ingresa a dicha tabla son:

$$\left\{ \begin{array}{l} i = 0,1 \\ n = 0,017 \\ R = 2,00 \end{array} \right\} c = 67$$

Utilizando la ecuación (6), para movimiento en cauces libres:

$$v = c \cdot \sqrt{Ri} = 67 \cdot \sqrt{1,98 \cdot 0,005} = 6,66 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Para verificar este resultado se utiliza un método gráfico, ingreso al diagrama (Abaco de página 222, Facorro Ruiz 2009), construido con la fórmula para obtener el valor del coeficiente "C", que, como se dijo, depende de la rugosidad de las paredes, de la pendiente y del radio hidráulico. (Facorro Ruíz, 2009)

$$\sqrt{R} = \sqrt{1,98} = 1,40$$

$$i = 0,005$$

$$n = 0,016$$

$$\text{Obtengo } c = 69 \quad \therefore \bar{v} = 69 \cdot 0,099 = 6,83 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Otro valor de la velocidad media se obtiene utilizando la ecuación de Manning expresada en Facorro Ruiz (2009). Para el cálculo de la velocidad media para características hidráulicas de un canal con flujo uniforme.

$$\bar{v} = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} = 62,5 \cdot 1,98^{\frac{2}{3}} * 0,00515^{\frac{1}{2}} = 6,90 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Se puede obtener un valor acotado para la velocidad media  $\bar{v}$  obtenida por distintos métodos: gráficos, valor obtenido, por la interpolación de los datos de entrada, de tabla y el calculado con la formula de Manning. Este valor medio con su incertidumbre es:

$$\bar{v} = (6,8 \pm 0,2) \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Determinación del área "F" en función de las mediciones directas realizadas.

$$a = (7,48 \pm 0,05) m$$

$$b = (3,40 \pm 0,05) m$$

$$c = (7,53 \pm 0,05) m$$

$$d = (16,50 \pm 0,05) m$$

$$h = (3,65 \pm 0,05) m$$

$$F = h \times \frac{b + d}{2} = 3,65 * \frac{3,40 m + 16,50 m}{2} = 36,42 [m^2]$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\frac{\Delta b + \Delta d}{2}}{b + d} =$$

$$\Delta F = \left( \frac{\frac{0,05+0,05}{2}}{3,40 + 16,50} \right) 36,42 m^2 = 0,59 m^2$$

Por lo tanto el área acotada será:

$$F = (36,4 \pm 0,6) m^2$$

Determinación del caudal

$$Q = \bar{v} \cdot F = 6,8 \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot 36,42 m^2 = 247,65 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta \bar{v}}{\bar{v}} + \frac{\Delta F}{F} \quad \therefore \quad \Delta Q = \left( \frac{0,2}{6,8} + \frac{0,6}{36,4} \right) * 247,65 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 10,99 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

El caudal acotado es:

$$Q_{CN} = (25 \pm 2) * 10^1 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$\bar{Q}_{CN} = 250 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Es decir que su los valores posible oscilan entre  $(230 - 270) \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

De la Tabla 7, se extraen las siete precipitaciones máximas y se las promedió para determinar una recurrencia de lluvias de esta intensidad. Tabla 10.

#### 2.4.2.- Gráfica de los caudales

**Tabla 10:** Promedio de lluvias máxima en el periodo de 50 años

Año	Mes	Precipitación	Promedio
1973	MARZO	189,0	$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{n} = \frac{1062}{7} \cong 152 mm$
1981	DICIEMBRE	148,0	
1986	DICIEMBRE	130,0	
1988	ENERO	149,0	
1994	FEBRERO	165,5	
2000	FEBRERO	140,5	
2007	ENERO	140,0	
$\sum P_i =$		1062	

Hipótesis de lluvia: 152 mm, en 3 h

De Tabla 5, el Coeficiente de escurrimiento: 35,5 %  $\therefore$  0,355

Área de la cuenca: 14.430 Has

El Área de la cuenca en  $m^2$  es:  $A = 14.430 \text{ Has} * 10^4 \frac{m^2}{\text{Has}} = 144.300.000 m^2$

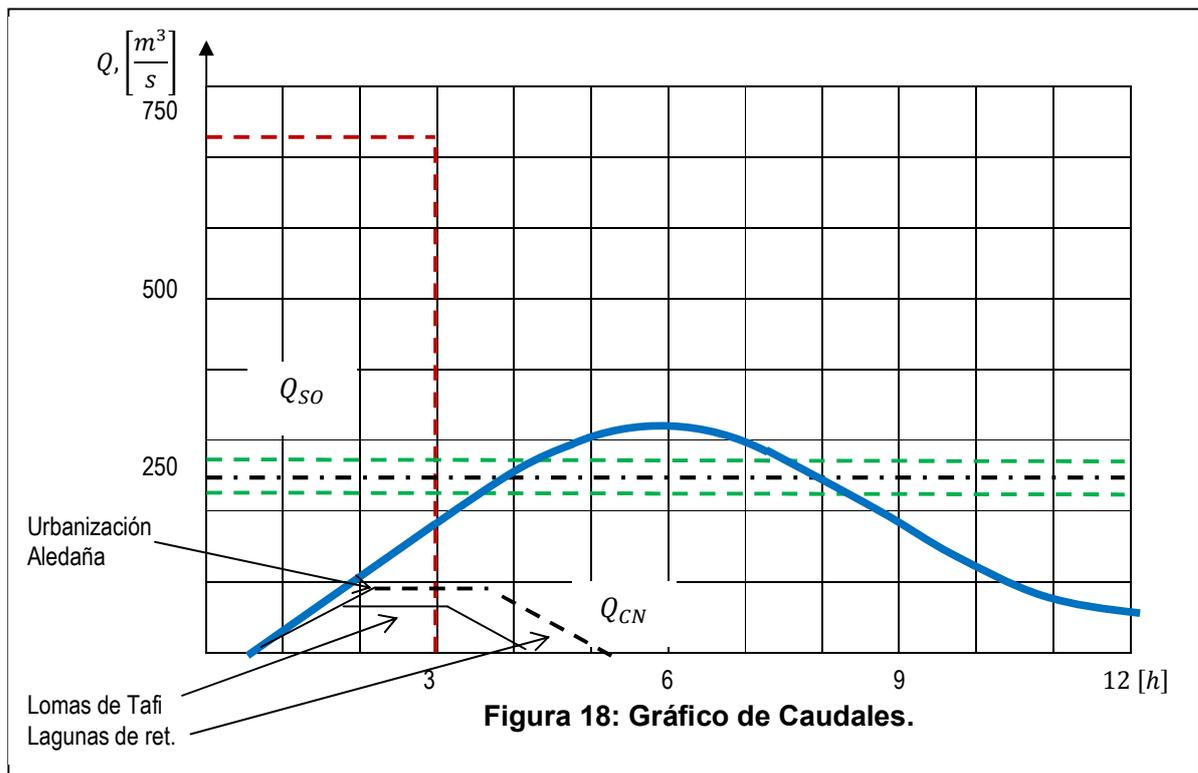
Volumen de precipitación en la cuenca:  $V_p = 144.300.000 m^2 \cdot 0,152 m = 21.933.600 m^3$

El caudal de lluvia precipitado durante 3h es  $Q_p = \frac{21.933.600 m^3}{3 h \cdot 3.600 s/h} = 2.031 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

Volumen de agua para drenar  $V_d = 21.933.600 m^3 \cdot 0,355 = 7.786.428 m^3$

Caudal de agua a drenar:  $Q_{so} = \frac{7.786.428 m^3}{10.800 s} = 721 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

Caudal medio que drena el canal norte  $\bar{Q}_{CN} = 250 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$



**Referencias**

- - - - - Agua caída en la cuenca en 3 h
- Grafica de desagüe de la cuenca
- - - - - Rango de caudal del Canal Norte

Si se considera que en la gráfica de caudales  $Q_{so}$  y  $Q_{CN}$  tienen un espesor unitario,

(1 m), en ese caso, cada cuadro de la retícula representa un caudal de  $\frac{2031 (m^3/s)}{21} \cong 95 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

Por otro lado el área que representa el volumen a drenar de la cuenca es igual al área de bajo de la curva que representa la evolución del desagüe.

### Red de Desagües Pluviales en el Emprendimiento Lomas de Tafi



Figura N° 19: Sistema de drenaje pluvial de la urbanización Lomas de Tafi. Extraído del proyecto de la urbanización.

#### Referencias:

- Canal Muñeca
- Colector:
- Línea divisoria:
- Sentido del Esguimiento
- Cuencas: C1, C2...C9

La Figura N°19 es el plano de la obra ejecutada para el desagüe pluvial en la urbanización Lomas de Tafi. En él se puede observar las distintas cuencas diseñadas, el

sentido de escurrimiento, el colector principal así como el Canal Muñecas el cual recibe los aportes de la quebrada 6 así como el de las cuencas C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>5</sub> y solo la cuenca C<sub>4</sub> descarga sus aguas en el canal San José y este hasta el Camino del Perú y continúa por Av. Alfredo Guzmán.

## **2.5.- ASPECTO LEGAL DE LAS AGUAS**

Teniendo en cuenta que, desde el punto de vista político-institucional, el territorio es el ámbito físico donde el Estado desarrolla su poder público mediante normativa legal de distintas jerarquía e instituciones con poder de policía.

El sistema de propiedad privada del suelo el derecho regula ciertos usos que deben permanecer en situación de “patrimonio común” imponiendo una suerte de solidaridad colectiva, principalmente en el aspecto cualitativo: el suelo y los demás recursos naturales que componen el ambiente no pueden servir únicamente a los fines del propietario.

Desde el punto de vista ambiental, ese poder regulatorio se traduce en normas sobre el uso de los recursos naturales, que permiten su aprovechamiento bajo condiciones de observar criterios de prevención de los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente, orientadas a la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo.

Siendo el agua un recurso natural fundamental para la vida humana, a continuación se hace una descripción de los contenidos jurídicos sobre este recurso en particular y el ambiente en general.

La Constitución Nacional, reformada en 1994, le da preeminencia al ambiente en toda actividad antrópica. (Artículo 41).

En el Artículo 124, se establece: corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.

La Ley provincial N° 7139 y su modificatoria, la Ley N° 7140, tienen un objeto mucho más amplio que la antigua ley de riego N° 731 ya que no regula sólo el agua para riego, sino

todo otro uso, excepto el consumo humano. Así, en el art. 12, establece que se otorgarán concesiones y permisos para los siguientes usos especiales, de acuerdo al siguiente orden de prioridad: 1. Industria, 2. Agrícola, 3. Pecuario, 4. Energético, 5. Minero, 6. Medicinal, 7. Piscícola, 8. Recreativo.

Incorpora algunos principios de Política Hídrica Federal, (Ley N° 8286, del año 2010), al considerar al agua como un elemento de uso común, escaso, finito y esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente, cíclicamente renovable y vulnerable.

Procura garantizar su aprovechamiento racional, eficiente y equitativo, fomentando el desarrollo sustentable, sin alterar su calidad ni el equilibrio del medio ambiente.

Considera el criterio de equidad intrageneracional, ya que para zonas determinadas con carácter general, en función del interés social o en caso de emergencia declarada, por la escases del recurso agua, la Autoridad de Aplicación, puede alterar el orden de prioridades establecido en el artículo 12, dando preferencia absoluta al uso doméstico del agua potable.

En el espíritu contenido en la legislación que regula el recurso agua se puede ver la importancia, por un lado del uso eficaz, es decir, el uso racional (recurso escaso y cíclicamente renovable), y por otro, en la medida de lo posible, mejorar su calidad.

En línea con este criterio se escribieron las Conclusiones y Recomendaciones del presente trabajo en el Capítulo V.



## CAPÍTULO 3: RIESGOS GEOAMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 3.1.- INTRODUCCIÓN

El área de estudio es un subsistema que interactúa con otros y que, a su vez pertenece a un sistema de orden superior, que corresponde a la macro región del Noroeste argentino. Desde el punto de vista de la geodinámica, hay tres factores que influyen en la fragilidad ecológica que presenta la región del Noroeste argentino y por lo tanto, en la provincia de Tucumán, estos factores son: *1.- los contrastes climáticos, 2.- la variabilidad geomorfológica y 3.- la susceptibilidad erosiva de los suelos*. Esto implica que a escala macro regional, relieve y clima condicionan la dinámica ambiental a través de la circulación atmosférica y las grandes unidades morfoestructurales, influencia que a nivel regional se traduce en la distribución de los suelos y la vegetación, e influye además en la hidrología superficial y subterránea (Sayago 1992).

En el período de un año, la provincia de Tucumán, está expuesta a fuertes contrastes climáticos estacionales los cuales someten al paisaje a una gran presión ambiental: condiciones tropicales en verano, templado-húmedo a semiárida en los períodos transicionales y áridos durante el invierno. Esta variabilidad climática, es especialmente perjudicial allí donde la primitiva vegetación natural ha sido alterada o eliminada y se expresa en un fuerte contraste entre los procesos geomorfológicos de invierno y los de verano. Por ejemplo, meteorización física, erosión y sedimentación eólica, desecación, salinización, etc., en las estación seca y escurrimiento torrencial, erosión hídrica, remoción de masa, etc., en la estación húmeda (Sayago, 1992).

Por otra parte se debe adicionar los fuertes contrastes del relieve, al encontrarse la región tucumana en la transición entre la llanura chaqueña occidental, (gradiente 0,5 a 3 %), y los cordones preandinos con pendientes superiores al 100 %. Esta situación implica que cuanto mayor es el umbral morfométrico entre regiones geomorfológicamente contrastadas, como ser el pasaje de un ambiente montano a una llanura deprimida, mayor es el riesgo ambiental cuando el equilibrio ecológico es modificado. Así estos fuertes contrastes de relieve, incrementan los riesgos de erosión, de movimientos de masa y de flujos torrenciales e inundaciones (Sayago 1992; Sayago et al. 1998).

A los fuertes contrastes climáticos y geomorfológicos, se suma la elevada susceptibilidad erosiva de los suelos dadas sus características intrínsecas, tales como granulometría, permeabilidad o el contenido de materia orgánica. En tal sentido, la alta fragilidad edáfica de los suelos de la región, deriva en la gran distribución especial de los sedimentos loésico, (caracterizados por una textura limosa que implica menor cohesión y resistencia a la erosión) y que constituye el material originario de los suelos dominantes en la provincia de Tucumán.

Los factores mencionados, sumados al marcado deterioro de la cobertura vegetal, (mediante la deforestación, el sobrepastoreo y el uso irrestricto y descontrolado de las tierras), influyen sobre la geodinámica superficial intensificando las magnitudes y extensión de los principales procesos geomorfológicos que actúan sobre el paisaje y que en el presente trabajo se identifican como « *Riesgos Geoambientales* ». Para su caracterización, se consideran “*riesgos*” a todos los procesos geomorfológicos, potenciados en mayor o menor medida por la influencia antrópica, que genere efectos perjudiciales traducidos en pérdidas humanas, económicas o sociales y cuya valoración es posible mediante metodologías científicas o criterios empíricos (Sayago y Collantes 2006).

Es oportuno, incorporar una importante fuente sobre los riesgos geoambientales en la Provincia de Tucumán: Aportes al Mapa de Riesgo Geoambiental de la Provincia de Tucumán. República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos y Política Ambiental. Gobierno de la Provincia de Tucumán (Fernández, 2005).

Teniendo en cuenta que la problemática ambiental en la provincia es compleja, aun con su pequeño territorio, además para realizar un estudio detallado de riesgos y volcarlos en un mapa presenta un doble inconveniente:

- 1.- La gran variedad de los mismos.
- 2.- La dificultad de encontrar un indicador común y peso relativo de riesgos de distinta naturaleza, así como medir los perjuicios económicos, a los habitantes, legales, etc.

Por otra parte, las estadísticas realizadas sobre el deterioro de la tierra en la república Argentina y Tucumán, muestran datos alarmantes. Así las áreas degradadas en nuestra provincia, por distintos factores, suman casi un millón de hectáreas; lo que representa el 43,5 % de su superficie total, (2.252.000 ha). (Duran 1998; Carrizo 1999). Esta última autora detalla que un 13,7 % de la provincia está afectada por erosión eólica, el 6,6 % erosión hídrica, 3,2 % elevación de la napa freática; el 8,2 % anegamiento, el 4,4 % inundaciones periódicas incontroladas y el 7,3 % degradación por mal manejo del riego.

Entre las décadas de 1970 y 1990, se desmontaron en la provincia de Tucumán casi 400.000 hectáreas de bosques naturales, (casi el 18% de la superficie total de la provincia); mientras que hacia el este de la provincia, se deforesta paulatinamente con el avance de la frontera agrícola. Se sabe que solamente se forestaron más de 5.000 hectáreas, (2,2% de la superficie provincial), (Zucardi et al. 1988; Carrizo 1999).

Según un informe de la Dirección Provincial de Recursos Naturales (DPRN); de las 2.252.000 hectáreas provinciales, poco más del 43% no es utilizable por presentar importantes limitaciones: procesos de erosión a gran escala, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, (hidroarsenismo en el este y sudoeste de la provincia), salinización – alcalinización - del suelo, etc. con fuerte impacto en la vida animal, vegetal y humana. Como resultado de estos procesos (especialmente en la zona centro – este de la llanura tucumana), se produce una tasa negativa de rentabilidad de los recursos naturales (DOT – IPDU), 1994).

## 3.2.- RIESGOS EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

### 3.2.1.- Clasificación de los Riesgos Ambientales

El riesgo Ambiental presenta un campo particular dentro del más amplio de los riesgos. Pueden clasificarse como **riesgos naturales**, debidos a los fenómenos naturales, y **riesgos antropogénicos**, debidos a las acciones humanas. Estos riesgos interactúan, se potencian y muchas veces no es sencillo establecer la incidencia de cada uno.

- **Riesgo Natural.** Ejemplos son los asociados a fenómenos geológicos internos, como erupciones volcánicas y terremotos, o la caída de meteoritos. Las inundaciones, aunque debidas a causas climáticas naturales, suelen ser riesgos dependientes de la cobertura vegetal, de las características de suelo, las pendientes, de la presencia y calidad de infraestructuras como las presas que regulan el caudal, o las carreteras que actúan como diques, que pueden agravar sus consecuencias.
- **Riesgo Antrópico.** Son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad.

En la terminología de las Ciencias Ambientales se usa el concepto de **interferencia** para referirse al solapamiento de los riesgos asociados a las actividades y la presencia humana con los fenómenos naturales. Sin estos últimos, los riesgos naturales estarían atenuados. De la interferencia así entendida depende la importancia de los riesgos.

La actividad económica y la residencial pueden crear situaciones de riesgo o someter a las poblaciones a riesgos de origen natural, al aumentar su **exposición**, (fuente o situación potencial para producir un daño).

El riesgo depende de dos factores: la peligrosidad y la vulnerabilidad.

La peligrosidad está vinculada a una situación del momento que puede producir un daño.

La vulnerabilidad se refiere a la importancia de los efectos esperados, que no depende sólo del fenómeno, suceso o accidente temido, sino de las medidas de prevención y de protección. (Elaboración propia).

### **3.2.2.- Riesgos Ambientales en la provincia de Tucumán**

En la provincia se han detectado 12 (doce), tipos de riesgos naturales y 8 (ocho), producidos por acciones antrópicas. (Suayter, 1997; Suayter et al y Fernández, 1998 y Fernández 2001 – 2005).

#### **3.2.2.1.- Riesgos Naturales**

- 1.- Temblores y terremotos de mediana intensidad en todo el territorio.
- 2.- Inundaciones: en la llanura deprimida – pedemontana y cuencas intermontanas.
- 3.- Procesos de remoción de masa: flujos lentos y rápidos en áreas montañosas, cuencas intermontanas y llanuras pedemontanas.
- 4.- Suelos Expansivos: llanura Pedemontana, Deprimida y Chaco Pampeana.
- 5.- Terrenos Solubles: Cuenca Tapia – Trancas, Cuenca Río Nío – Chorrillos y Departamento La Cocha.
- 6.- Disoluciones Salinas: Llanura Deprimida, Ondulada o Chaco Pampeana.
- 7.- Erosión Fluvial: En todo el territorio provincial.
- 8.- Erosión Eólica: cuencas intermontanas y llanuras Pedemontanas, Chaco pampeana y Deprimida.
- 9.- Erosión Glaciar: Área Montañosa por arriba de los 3000 m de altitud.
- 10.- Colmatación de embalses, Celestino Gelsi, La Angostura, Los Cardones. Etc.
- 11.- Formas Kársticas, (Dolinas y Sumideros), Sector de cumbres del noroeste de mapa.
- 12.- Contaminación de Aguas Subterráneas con Arsénico en la Llanura Deprimida y Chaco Pampeana. (Graves problemas de salud de más de 120.000 habitantes).

#### **3.2.2.2.- Riesgos Antrópicos**

- 1.- Explotación de canteras a cielo abierto de áridos y arcillas.
- 2.- Extracción de áridos en ríos y arroyos provinciales en forma irracional.
- 3.- Malos manejos de suelos agrícolas, formas inadecuadas de labranzas y preparación.
- 4.- Deforestación indiscriminada e irracional de las cuencas altas y medias de la zona serrana.
- 5.- Contaminación de ríos y arroyos de la provincia por desechos industriales y efluentes cloacales.

6.- Contaminación de la napa freática en núcleos habitacionales por gran densidad de pozos absorbentes (pozos ciegos o negros).

7.- Uso indiscriminado de plaguicidas y agroquímicos.

8.- Construcción de viviendas en zonas potencialmente de riesgo geológico, (laderas de montañas, terrenos inestables).

### 3.3.- DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE RIESGO GEOLÓGICO

La siguiente zonificación que se describe para la provincia, Figura N° 17, se basa principalmente en la Descripción Geotécnica Básica (BGD) de Barton et al (1974, 1988); Clasificación de Macizos Rocosos de Bieniawski, (1974); Suayter, (1991), 1997) y Fernández, (2001, 2005).

#### 3.3.1.- Macizos Montañosos

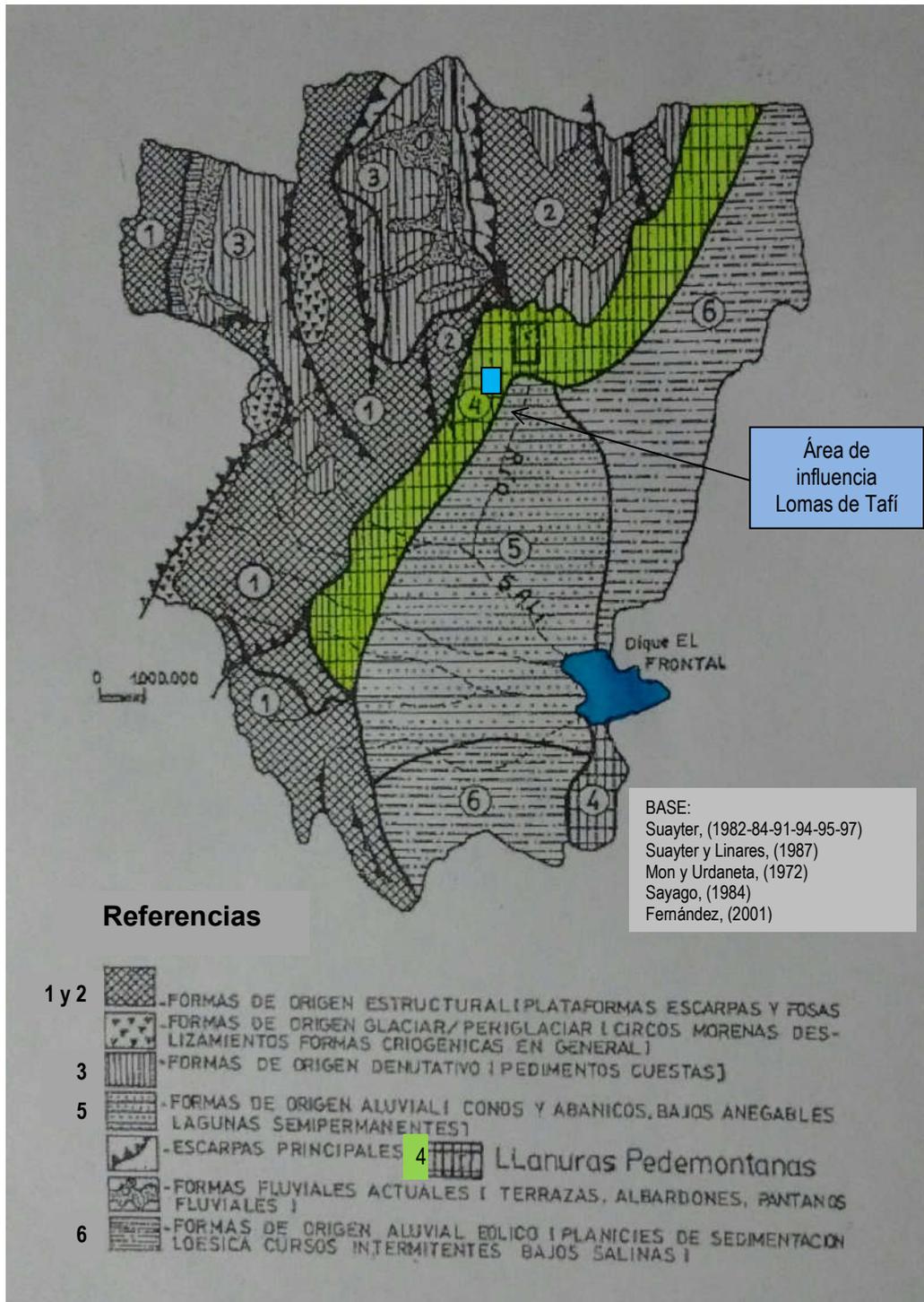
**Zona 1 - Compacto a muy Compacto:** se halla integrado por rocas metamórficas de bajo grado, con intrusiones magmáticas y resistencia a la rotura por compresión simple muy elevada. Forman un macizo homogéneo con escasa circulación de agua superficial, (Suayter, 1997). Los factores que influyen en el coeficiente de resistencia, son generalmente las fracturas, (fallas) y diaclasas, que hacen disminuir su valor soporte,  $\sigma$ , *entre* ( $5 \leq \sigma \leq 10$ )  $kg/cm^2$ . Como riesgos geológicos más frecuentes se encuentran: procesos de remoción de masa, flujos lentos y rápidos, reptación y solifluxión, deslizamientos, corrientes de barro, detritos, aludes, hundimientos, erosión por carcavamientos y riesgos sísmicos moderados (Suayter, 1991, 1997 y Suayter et al, 2000).

**Zona 2 - Medianamente Compacto a Frágil:** son rocas metamórficas de bajo grado, (pizarras y filitas), con espesa cobertura sedimentaria, (relieve de plegamientos), con resistencia a la compresión simple muy elevada y resistencia a la tracción de bajo valor, en relación con la anterior. Ello se debe a diversidades litológicas, estructurales e influencia de la circulación de agua en diversas discontinuidades. Los factores que influyen en el coeficiente de resistencia: al igual que en la anterior, la resistencia se reduce al aumentar el número de discontinuidades por  $m^2$  y la circulación de agua. Disminuye el valor soporte, sigma,  $\sigma < 5$   $kg/cm^2$ , produciéndose remoción de masa, reptación, solifluxión y deslizamientos

(Fernández, 2001,2005). Esta situación la describe Fernández, (1997), al oeste de S. M. de Tucumán, en el denominado: Circuito Chico, (Sierra de San Javier). A pesar de ser parte de un área protegida (por encima de los 600 msnm; se encuentra el Parque Biológico de la Universidad Nacional de Tucumán), ha sufrido una constante depredación en ambas laderas (más en la oriental), por explotación de canteras de áridos, de limo y de arcilla para cerámica roja, que ha dejado verdaderos cañones y excavaciones de difícil llenado y recuperación.

El camino de cornisa, desde San Miguel de Tucumán hasta Anta Muerta (El Cristo, presenta riesgo de corte de época estival, debido a la reptación de taludes y escasez de obras de prevención contra fracturas activas, estudiadas por Fernández & Lanza Colombres (1983). La extracción de Pizarra, (Laja), en determinados sectores de la cuesta ha favorecido el descalce de algunas obras de arte y la erosión lineal del agua de caudalosos arroyos y vertientes que han logrado excavaciones profundas en el suelo hasta la roca viva (Fernández, 2001,2005).

**Mapa de Riesgo Geológico de la Provincia de Tucumán.**



**Figura Nº 20: Aportes al mapa de riesgo Geoambiental de la Provincia de Tucumán.**  
Tomado de Fernández, R.I. 2005. Subsecretaría de Recursos Hídricos y Política Ambiental.  
Gobierno de la Provincia de Tucumán.

### 3.3.2.- Llanura Pedemontana

**Zona 4 - Sin Cohesión:** este grupo (Figura N° 20) está integrado por rocas sedimentarias, (conglomerados, fanglomerados, gravas fluviales, areniscas friables gruesas y finas, loess retrabajado, limos y arcillas), constituyendo los denominados “terrenos sin cohesión” (Suayter, 1997) o “Piedemonte” (Sayago et al, 1998).

Estas rocas forman parte de la formación cuaternaria, (Formación Tucumán). (Bonaparte y Bobobnikov, 1974) que constituyen el pedemonte adyacente a las principales elevaciones montañosas del Oeste y Noreste de la provincia.

Como elementos morfogénicos se destacan: pedimentos, cuevas, glacis (de erosión y cubiertos), paleoconos y valles fluviales – como el caso estudiado del Río Salí (Sayago et al, 1998). La expansión de las fronteras agrícolas hacia el Este, como al Oeste, (escalando el pedemonte y la llanura al Este del Río Salí); han producido un incremento de la erosión hídrica que afectó un total de 103.000 hectáreas; de las cuales más de 15.000 corresponden a esta zona, (zona 4) y se catalogan como de alto riesgo. Esta zona de Llanura Pedemontana, se caracteriza por suelos de origen aluvial y loésico. Guido y Sayago, (1987), García, (1988) y Zuccardi et al, (1988).

En la zonas aledañas a la urbanización se destacan las formaciones de cárcavas en terrenos que han sufrido explotación agrícola de caña de azúcar, citrus y hortalizas, (García, 1988), (Gamundi et al, 1993), (Urdaneta et al, 1994). Así se han identificado procesos de: remoción de masa, aluvionamientos, soliflucción, reptación de suelos y erosión eólica – en sectores límite con la llanura deprimida, (Sayago et al, 1998). Debemos aclarar que el valor soporte de los suelos es  $\sigma < 0,5 \text{ kg/cm}^2$  y el riesgo sísmico es moderado, (Suayter, 1991 – 1997), (Fernández, 2001 – 2002).

### **3.4.- RIESGOS AMBIENTALES CONSIDERADOS**

Tomando en cuenta los riesgos que se presentan con más frecuencia e importancia la provincia de Tucumán son:

1. *El riesgo de erosión hídrica.*
2. *El riesgo de remoción de masa.*
3. *El riesgo de inundación, (con flujos torrenciales y elevación de napas asociados).*
4. *El riesgo de desertificación.*
5. *El riesgo de salinización.*

Teniendo en cuenta, ahora, los *riesgos*, que con preponderancia afectan la zona 4 del mapa de la Figura 20 y más específicamente el Área de influencia del Proyecto, (Figura 14). Estos son los tres primeros de la lista anterior. Desde el punto de vista metodológico, la caracterización de los riesgos indicados, se hizo a nivel de unidad geomorfológica, la cuales se representan en el mapa de la Figura 21.

#### **3.4.1.- Riesgo de Erosión Hídrica**

El agua llega al suelo en forma de lluvia, por la condensación de la humedad atmosférica. Cuando empieza a llover, en el suelo, se producen efectos que dependen de si éste tiene cobertura vegetal, las características de la misma o si se encuentra sin ésta. En el primer caso la primera lluvia que cae se evapora, o queda detenida por la vegetación. La que llega a continuación alcanza al suelo y se infiltra en su totalidad. Si sigue lloviendo, la cantidad de agua que cae supera la capacidad de infiltración y una parte de ella queda retenida en el terreno y la otra escurre sobre el terreno. Este proceso se tiene en cuenta en el balance hídrico, el que se trató oportunamente. También se estableció que el agua de escorrentía es una fracción pequeña de la precipitación; sin embargo, es el factor esencial del modelo aluvial, que es el más importante de nuestro planeta. (Iriondo, 2007).

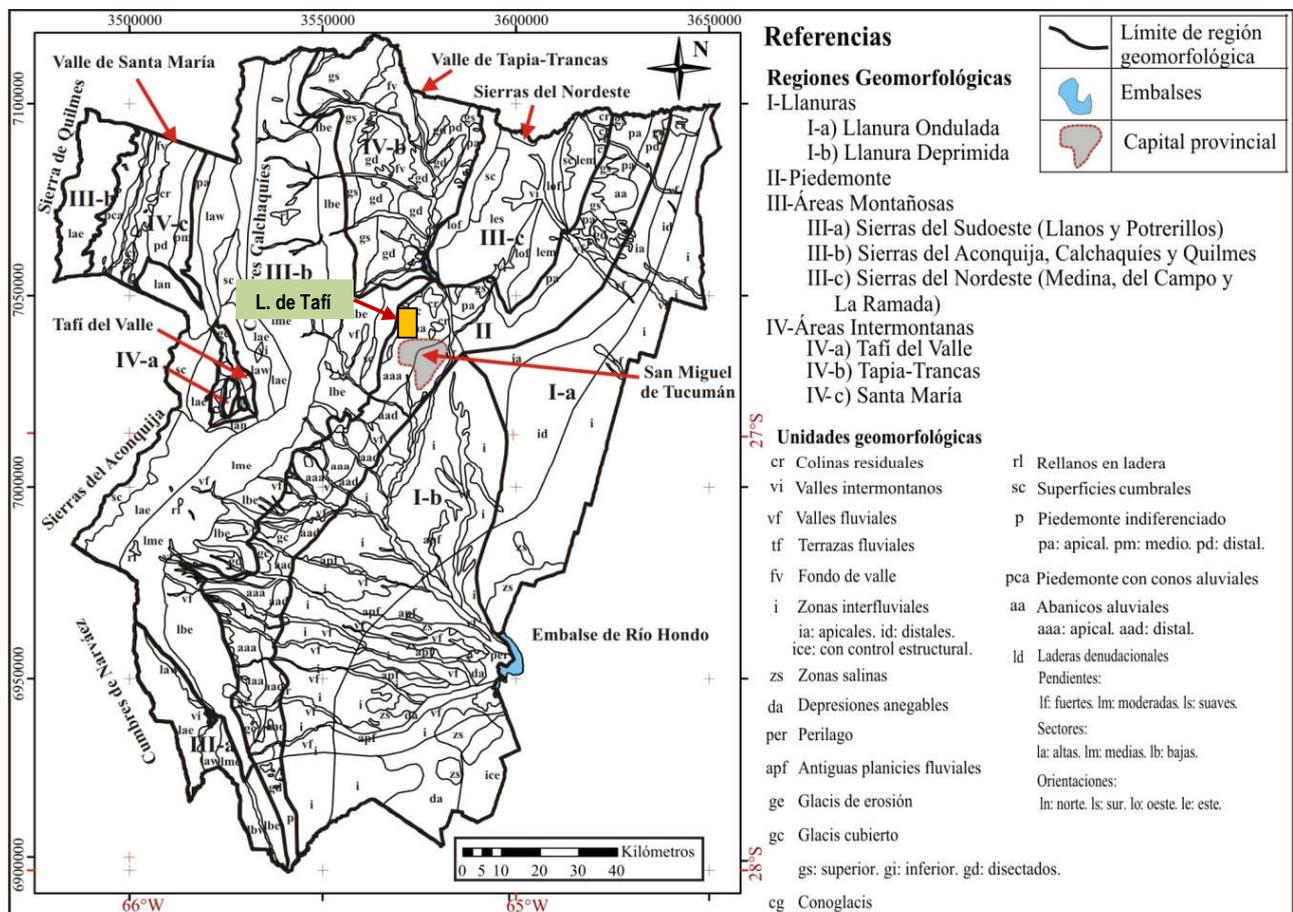


Figura 21: Mapa Geomorfológico a nivel de Regiones y Unidades Geomorfológicas. Tomado de: Busnelli et al 2009. Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

En el caso de cambio del uso del suelo con extracción de la cobertura vegetal natural, la erosión hídrica es un proceso morfodinámico que involucra la denudación de la superficie por parte del agua de lluvia, desde el momento en que precipita sobre el terreno hasta que se encauza y formar el sistema de drenaje fluvial. Se inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre suelos desnudos, produciéndose la destrucción de la estructura del suelo e incrementando la capacidad erosiva de los flujos. El exceso de lluvia infiltra, (proceso paulatino a través del tiempo), en alguna medida dependiendo del nivel de saturación del suelo y simultáneamente es almacenada en microdepresiones, antes de que el proceso de escurrimiento mantiforme tenga lugar. Cuando éstas llegan al estado de saturación, da comienzo el escurrimiento o erosión laminar que transporta las partículas más finas hacia las

áreas deprimidas, produciéndose un rebajamiento de la superficie afectada. La concentración e incisión de los flujos laminares, (a los cuales se suman la acción de flujos subsuperficiales y la remoción en masa), da lugar al desarrollo de otra forma de erosión hídrica, con surcos, cárcavas y barrancos, siendo estos últimos, manifestaciones extremas de degradación de los suelos (Bergsma 1983; Bergsma et al. 1996).

Como ya se expresara, la erodabilidad de un suelo está dada por sus características intrínsecas tales como la granulometría, la permeabilidad y el contenido de materia orgánica, destacándose la granulometría limosa por su extrema susceptibilidad erosiva (Bergsma 1983). Precisamente, dicha fracción es el componente granulométrico principal de loess, material transportado por los vientos de S-SE durante el Pleistoceno y Holoceno (Sayago, 1995; Sayago et al, 2005), y ampliamente distribuido por la provincia de Tucumán, ya sea como depósito de loess típico, en algunos sectores de los cordones del Aconquija, Cumbres Calchaquíes y Sierras Subandinas australes o incorporados a sedimentos de diverso origen, (lo cual no reduce su elevada susceptibilidad erosiva), en el resto del área de montaña y valles intermontanos. (Sayago 1995; Sayago et al. 2005), (Fernández 2005).

Lo expresado se comprueba cuando se analiza el comportamiento de los factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (USLE - Wischmeier y Smith 1978) que expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo, en toneladas métricas por hectárea y año,  $\left[ \frac{tn/ha}{año} \right]$ .

La ecuación es la siguiente:

$$A = R . K . L . S . C . P$$

Donde:

*A* - es la pérdida de suelo por unidad de superficie, medida en tn/ha/año.

*R* - es el factor de erosividad de la lluvia; es el producto acumulado para el período de interés (normalmente un año), con cierta probabilidad de ocurrencia. Se incorporan nuevos mapas de isolíneas para el índice de erodabilidad;

*K* - es el factor erodabilidad del suelo;

*L* - (adimensional) es el factor de longitud en función de una referencia.

*S* - (adimensional) es el factor de la pendiente.

*C* - (adimensional) representa la cobertura vegetales, el uso y gestión de suelos.

*P* - (adimensional) es el factor que tiene en cuenta las prácticas mecánicas de apoyo; incluye consideraciones de prácticas agrícolas.

La aplicación de la USLE, sumada a la información satelital y a la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (ILWIS), permitieron obtener la cartografía temática de cada factor, cuya posterior información dio como resultado el Mapa de Riesgo erosivo de la Figura 22, en la cual se establece la intensidad del riesgo erosivo en toda la provincia, tomando como base las determinaciones efectuadas por Sayago (1985) y Busnelli et al. (2009).

Si bien el cárcavamiento presenta menor extensión areal que el caso de erosión laminar en zonas de bajo gradiente, frecuentemente alcanza la magnitud de barrancos de erosión en el pie de las lomadas cercanas al piedemonte y al costado de las rutas principales. Como ocurre al oeste de la zona estudiada (Sayago et al 1998); (Ferrari, 2006).

En el piedemonte, las mayores pendientes y el clima subtropical determinan que el riesgo erosivo alcance una intensidad severa a grave. En respuesta a la desaparición de gran parte del horizonte superficial de los suelos, antaño cubierto por bosque de las Yungas, Sayago et al (1998) expresan que si bien el reemplazo del cultivo de la caña de azúcar por el citrus, en algunos sectores, atenuará en principio el proceso erosivo, no impedirá en el futuro la intensificación del degradamiento de las tierras al menos que se apliquen medidas de mitigación y conservación. Ejemplo: construcción de terrazas en los márgenes de la línea de plantación.

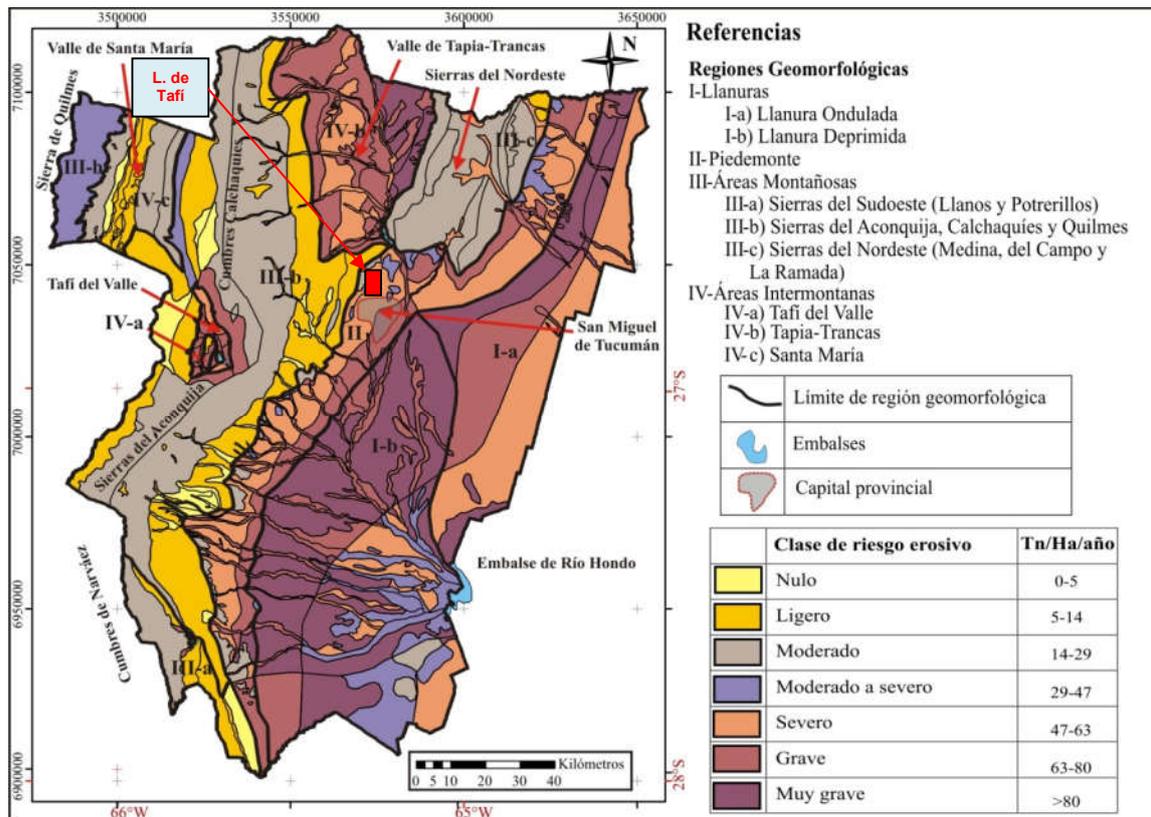


Figura 22: Mapa de Riesgo Erosivo de la provincia de Tucumán. Tomado de Busnelli et al. 2009. Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

En el Oeste y Noroeste de Lomas de Tafi, que comprende la ladera oriental de la Sierra de San Javier y específicamente en Villa Carmela y Nueva Esperanza, se pueden apreciar procesos erosivos que se manifiestan con distinta gravedad, dependiendo de la pendiente, las características del lugar y de las medidas preventivas aplicadas en las zonas de cultivo.

### 3.4.1.1.- Zona Suroeste: Villa Carmela

Durante el verano, en el límite de las plantaciones de limón con la zona fitogeográfica del bosque montano previo a la Yunga, y luego de lluvias de cierta intensidad, se pueden observar procesos erosivos en callejones de fincas (Figuras 23 y 24). Éstos se manifiestan con mayor intensidad en la dirección Oeste - Este, en el sentido más pronunciado de la pendiente.

Aguas abajo, hacia el Este, los arroyos que surcan los barrios Islas Malvinas, Vial II, de Villa Carmela que tiene dirección Oeste – Este, y de Norte a Sur, a ambos lados de la Ruta N° 315. (Figuras 25 y 26) y (Figuras 27 y 28).



Figura 23: Erosión y desmonte en el límite con la yunga



Figura 24; Erosión en el callejón de una finca



Figura 25: Puente sobre Ruta 315 que cruza A° Quebrada 6. Derecha, A° paralelo a la Ruta 315.



Figura 26: A° Quebrada 6, a continuación de la obra de arte de la figura anterior

El arroyo de la Quebrada 6 ingresa por el Oeste a Lomas de Tafí, es canalizado y se junta al canal Muñecas. (Figuras 29 y 30).

En mayo se reparan los daños causados por la erosión producidas por la lluvia de verano en caminos que deben transitar los vehículos, como camiones, colectivos, (que transportan cosecheros), camionetas y tractores, para levantar la cosecha. Se construyen terraplenes transitorios sobre el cauce del A° Cainzo y los de menor porte y se emparejan

tramos de dichos cauces para transitarlos y acceder a las plantaciones que colindan con bosque montano (Figuras: 31 y 32).



Figura 27: Escuela N° 113, Dr. Joaquín V. González. A orillas de la barranca de A° Q. 6



Figura 28: Puente del Ferrocarril Belgrano C/base descalzada sobre A° Quebrada 6



Figura 29: Junta del A° Quebrada 6 con el Canal Muñecas en Lomas de Tafí



Figura 30: Suelo con materia orgánica en Canal Muñecas

Esta infraestructura se mantiene en condiciones hasta las primeras lluvias importantes en noviembre o diciembre y son utilizadas por explotadores de áridos. Se pudo observar además el avance de los cultivos de limón (plantines que no tienen un año), sobre el nivel inferior de la selva (Figuras N° 33 y 34).



Figura 31: Terraplén y camino en el lecho del Río Caínzo



Figura 32: Calzada para transitar sobre el cauce del Río Caínzo. Explotación de áridos.



Figura 33: Plantaciones recientes de limones



Figura 34: Predio desmontado.

En Villa Carmela, entre los Barrios Islas Malvinas y Vial II, pasa el A° de la Quebrada 6 que nace en la sierra de San Javier, aproximadamente a 1100 msnm y corre en sentido Oeste–Este (Ferrari 2006). Este arroyo, además recibe el drenaje de agua de lluvia de fincas ubicadas del lado norte del cauce como así también de arroyos que tienen traza de norte a sur, uno de ellos, es paralelo a la Ruta N° 315 y tiene muros transversales con saltos para reducir la velocidad del agua y nace cerca de la esquina de esta Ruta N° 315 y calle Juan Manuel de Rosas de la Ciudad de Tafí Viejo. Figuras 25, 26, 27 y 28.

### 3.4.1.2.- Zona Noroeste: Nueva Esperanza

Desde cerca de la cumbre de Taficillo en la línea que une los puntos de coordenadas  $26^{\circ} 41'$  de latitud Sur -  $65^{\circ} 20'$  de longitud Oeste y  $26^{\circ} 43'$  -  $65^{\circ} 21'$ , respectivamente, desde una altura de unos 1800 msnm nacen arroyos, que son afluentes del A° Taficillo. Figuras 32, 34 y 35, avanza por la zona Norte de Tafí Viejo en sentido Oeste a Este a través de fincas, y cruzan la Ruta N° 9. Otros arroyos convergen en el A° Nueva Esperanza. Figuras 35, 36 , 37 y 38.



Figura 35: A° Taficillo. Desciende de la zona Norte del Taficillo.



Figura 36: Arroyo afluente del N. Esperanza



Figura 37: Barranca producto de la erosión del A° Taficillo



Figura 38: Otra toma de A° Taficillo.

El primer grupo de arroyos ingresa por el Norte de fincas, produciendo importante erosión en ambas márgenes (Figura 37 y 38); atraviesa las fincas y cruza la Ruta N° 9 por una serie de alcantarillas entre los km 1305 – 1309. (Figuras 39 y 40). Luego circula por la

banquina Este de la ruta atravesando Los Nogales de Norte a Sur y luego en el km 1303, cruzan nuevamente la ruta de Este a Oeste por dos alcantarillas de mayor porte. Figuras 8 y 9



Figura 39: Alcantarilla (c) Ruta 9



Figura 40: Alcantarilla (d) Ruta 9

Cuando la lluvia no es importante y las alcantarillas de retorno están limpias, el agua circula por el lado Este de la ruta; en caso contrario, se inunda parte de la Comuna de Los Nogales con gran cantidad de agua y material sólido arrastrado de las fincas por las que cruzan los cauces.

El A° Nueva Esperanza tiene un recorrido prácticamente perimetral al casco urbano de la ciudad de Tafí Viejo. En los primeros tramos de la canalización por el Norte sufrió daños considerables por la energía del agua, la que además produjo una significativa erosión (Figuras 41, 42, 43, y 44).



Figura 41: Canal N. Esperanza con una pared descalzada por la erosión y cargado con áridos.



Figura 42: Canal Nueva Esperanza con borde erosionado



Figura 43: Canal N. Esperanza con destrucciones y proceso erosivo.

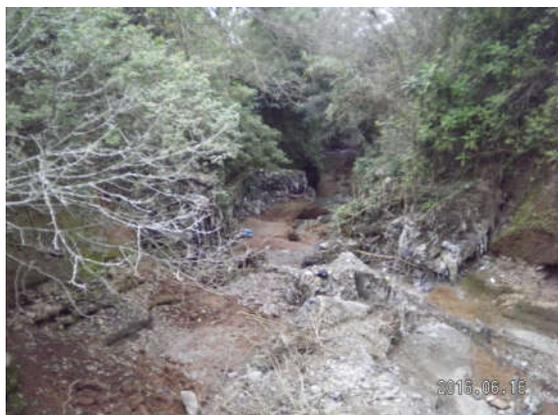


Figura 44: Canal N. Esperanza, (Salto a la salida del puente Norte), erosión significativa

El trazado del mencionado arroyo ingresa por el lado Oeste - Norte canalizado, (Canal Nueva Esperanza), a la ciudad de Tafí Viejo por la calle Camino del Perú Norte y dobla al Este dos cuadras antes de calle José Colombres hasta calle Reconquista. Sigue paralelo a esta por tres cuadras, luego dobla a la derecha por un callejón diagonal, retoma su cauce natural, cruza la Av. Constitución y se une al A° Tafí antes de ingresar al Canal Norte.

En el caso del A° Tafí, que recibe las aguas de los A° Las Cañitas y el A° Los Tarcos cruza por el sur de la ciudad de Tafí Viejo de Oeste a Este, ingresando por un costado de la calle Juan Manuel de Rosas. Luego cruza la Ruta N° 315, las vías del Tren (Ferrocarril Belgrano) que ingresa a los talleres y luego por el autopista Raúl Lechesi, se une al A° Nueva Esperanza, antes de descargar sus aguas en canal Norte. Figuras 45 y 46.



Figura 45: cruce del A° Tafi con Ruta 314



Figura 46: Encuentro del A° Tafi y Canal Norte

### 3.4.2.- Riesgo de Remoción de Masa

En la provincia de Tucumán, el desarrollo de los procesos de remoción de masa se debe habitualmente a factores tales como el clima, relieve, litología – estructura, sismicidad y actividades humanas, en general (cambio del uso de la tierra, obras de infraestructura, etc.). También se generan macro y micro deslizamientos estacionales, aunque el riesgo mayor está dado por la *ocurrencia de flujos detríticos, de gran energía y carácter catastrófico, cuando coinciden con las lluvias de gran intensidad y corta duración.*

En períodos seco se aridifica el suelo, se incrementa la presencia de todo tipo de remoción de masa con poca presencia de agua, (reptación de suelos y detritos, desplomes y caídas, flujos de tierra y detritos) (Sayago et al. 1998).

El proceso se da tanto en laderas resguardadas del sol, las cuales conservan altos niveles de humedad en el suelo, como en aquellas laderas secas, las que por su exposición opuesta a los vientos húmedos, carecen de una cobertura vegetal suficientemente protectora (Collantes 2001).

En el piedemonte tanto bajo clima húmedo como árido, los contrastes pluviométricos estacionales de la región tucumana generan flujos densos de detritos rocosos (cuya granulometría es condicionada por la energía de la tormenta, el relieve y la litología de la cuenca de aporte), los que luego se transforman en típicos aluviones al alejarse de la montaña. Por otra parte, también se pudo observar procesos de remoción de masa de escala

espacial reducida, asociados a procesos de erosión hídrica y fluvial activa, como ser el desplome por erosión lateral de cauces y eliminación del sustento basal en los principales sistemas pluviales y en las paredes y/o cabeceras de cárcavas y barrancos de erosión. Esta situación se repite en la llanura oriental, en donde los procesos de remoción de masa son localizados y de moderada magnitud, apareciendo generalmente como desplomes y deslizamientos en las orillas de los cauces, producto del zapamiento lateral fluvial (Sayago et al. 1998).

Todas las formas de remoción de masa se intensifican por la influencia antrópica, ya sea al inducir el desequilibrio de las laderas con la construcción de caminos u obra hidráulicas o a través del degradamiento de los suelos por desmonte o sobrepastoreo, especialmente en los valles de altura y áreas cumbreales.

La ocurrencia de diferentes tipos de procesos de remoción de masa, en rutas de la provincia y su interrelación con las características geológicas y geotécnicas de los materiales afectados por estas obras viales, fueron documentadas por Mon et al. (2003).

A partir de la generación de una base de datos organizados en un Sistema de Información Geográfica, Busnelli, (2012) define la amenaza por remoción de masa para los grandes ambientes geomorfológicos de toda la provincia, a partir de la obtención e integración de la siguiente cartografía temática:

Mapa geomorfológico, mapa de pendientes, Mapa litológico, Mapa de suelos, Mapa tectónico – estructural, Mapa sísmico, Mapa climático, Mapa de cobertura vegetal, Mapa de uso de la tierra, Mapa de la red de drenaje y geomorfología fluvial.

En la Figura 47 se sintetizan las clases de riesgos de remoción de masa en cada región geomorfológica y los principales procesos asociados. Así, en las áreas montañosas hay un grave a muy grave riesgo de desarrollo de macro-deslizamientos y flujos densos encauzados con el consecuente aluvionamiento en el piedemonte o margen del valle, dependiendo del factor exposición de las laderas y grado de cobertura.

En el resto de las regiones geomorfológicas, el riesgo varía de ligero a severo, dependiendo de las características fisiográficas y del grado de interacción con procesos de erosión hídrica y fluvial.

Teniendo en cuenta las limitaciones cartográficas, la valoración preliminar a pequeña escala de las clases de riesgo (Figura 47) permite detectar las áreas de mayor susceptibilidad al desarrollo de procesos de remoción de masa.

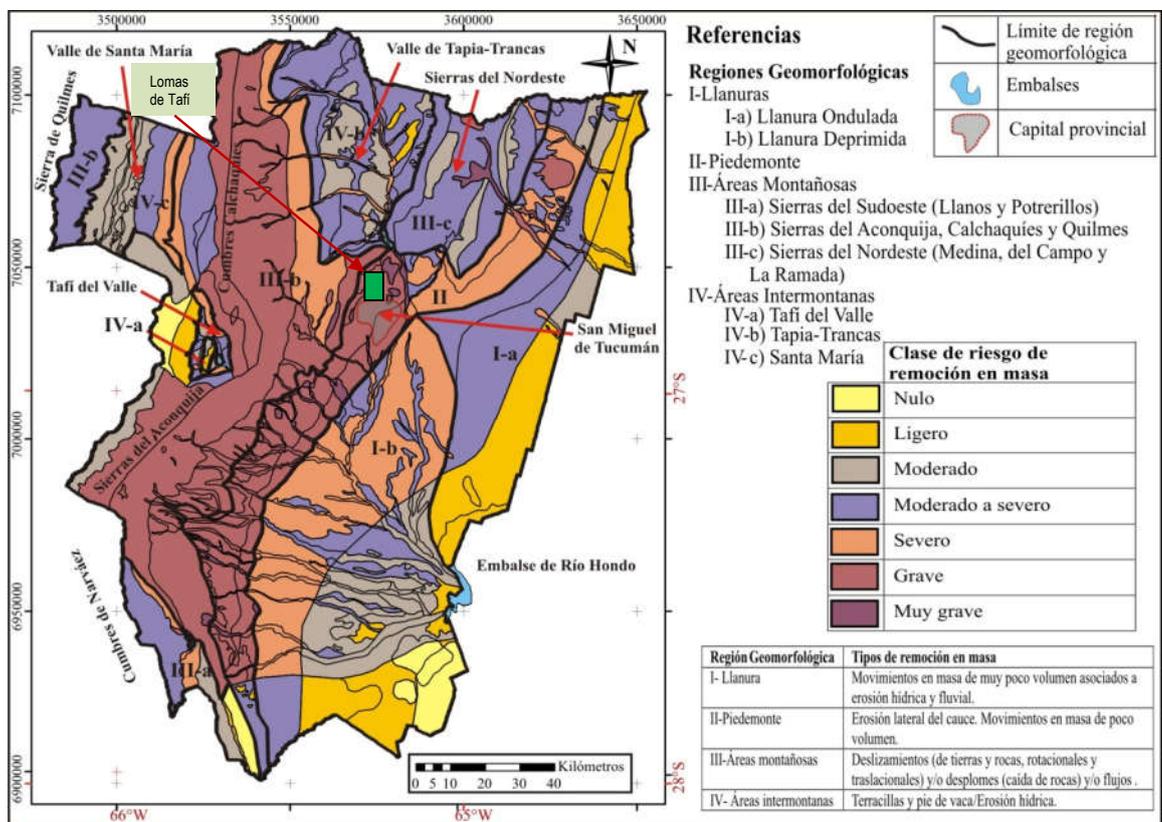


Figura 47: Mapa de Riesgo de Remoción en Masa de la provincia de Tucumán. Tomado de Busnelli 2012. Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

### 3.4.2.1.- Ladera Oriental y Piedemonte

Si se ubica en el Mapa de Riesgo de remoción de masa, (Figura 47) el área que influye e interactúa con la urbanización Lomas de Tafi, se puede inferir que está en la **Regiones**

**Geomorfológica II - Piedemonte**, que corresponden a la **Clase de Riesgo severo**, esto es así, en términos generales, sin tener en cuenta casos puntuales, como geoformas, obras, usos del suelo, entre otros. Un caso se puede observar en la ladera oriental de la Sierra de San Javier, a unos 800 msnm, con pendientes superiores al 15 %. (Figura 23 y 24) en donde se inicia el proceso erosivo por la eliminación de la yunga. Otro tanto ocurre con la incisión vertical y lateral que produce el aumento de velocidad del agua en el Canal Nueva Esperanza. (Figuras 41, 42, 43 y 44); como así también con los arroyos que descienden del Taficillo. (Figuras 35, 36, 37 y 38).

Este proceso de erosión (destrutivo) que realiza el agua con una carga importante de material sólido se traslada aguas abajo provocando cárcavas de distinta importancia, como la cárcava a orillas de la Escuela N° 113 y el descalce de las bases del puente del ferrocarril Belgrano que cruza el A° Quebrada 6. (Figuras 27 y 28).

Esta dinámica de la corriente produce una remoción en masa en los períodos de lluvia depositando el material sólido arrastrado en un gradiente de tamaño proporcional a la pendiente, dejando el tamaño menor y detritos, compuestos por arcilla, limo y restos de vegetación para enlamar los canales construidos aguas abajo, a pesar de la pronunciada pendiente que tienen (promedio 5 ‰), y descargando una importante cantidad en el Río Salí. (Figuras 26, 27 y 48).



**Figura 48:** Canal Muñeca con depósito de partículas pequeñas y detritos con material orgánico.

### 3.4.3.- Riesgo de Inundaciones

Causas: Las inundaciones en la provincia de Tucumán, en general se producen por el desborde de cursos fluviales y canales, por drenaje e infiltración deficitarios lo cual favorece la inundación o anegamiento pluvial durante tormentas intensas, por saturación del suelo y afloramiento de las aguas de las napas y por ascenso de los niveles en lagos y embalses, inundando las áreas adyacentes, cuando se exceden los niveles normales.

Los elementos que explican el incremento de la vulnerabilidad ambiental y social frente a las inundaciones en la provincia, según (Laymond, 2009), son:

1. Retroceso del bosque y expansión agrícola.
2. Crecimiento urbano descontrolado, principalmente, concentración demográfica en las ciudades de piedemonte, aumentando el impacto de las inundaciones urbanas.
3. Obras hidráulicas mal planificadas o no mantenidas.

A estos tres elementos se agrega la impermeabilización del suelo por la urbanización, sin la correspondiente red de desagües.

Al estudiar la problemática de las inundaciones se debería tener en cuenta, que las cuencas de drenajes constituyen un sistema abierto que depende de diversos factores, que son: clima, relieve, geología, suelo, vegetación, que están interrelacionados y se modifican constantemente.

En el caso de las cuencas de la provincia, interactúa conjuntamente el subsistema hidrológico, el agropecuario, urbano - industrial y el socioeconómico, de manera tal que cualquier alteración en uno de ellos se traduce automáticamente en una modificación de la dinámica y morfología de los cauces y en la composición biogeoquímica de sus aguas. En tal sentido, la preservación de los sistemas fluviales, a partir de un manejo integrado y sostenido de todas las cuencas, constituye una innegable prioridad.

Las crecidas de los ríos en el piedemonte se manifiestan en la llanura ondulada a través de inundaciones de moderada extensión areal y recurrencia multianual, del tipo torrencial con elevados caudales sólidos y líquidos, de corta duración pero elevados daños. Generalmente este proceso es influido por acciones antrópicas localizadas, como deforestaciones,

canalizaciones, desviación de cauces naturales, extracción de áridos, entre otros, que potencian los efectos de la inundación ante la falta de medidas de control, y sistematizaciones a nivel de cuenca (Sayago et al. 1998).

El progresivo aluvionamiento y elevación del nivel de los cauces en el piedemonte y la llanura, generan un aumento de la capacidad de desbordamiento y consecuentemente de los cambios de curso e incremento del riesgo de inundación aluvial y anegamiento.

Paralelamente, la elevación del nivel de base local debida al aumento de la sedimentación de los embalses, contribuye a la elevación de la napa freática, con la consecuente inundación de zonas topográficamente deprimidas, favoreciendo la salinización de suelos, en áreas con balance hídrico negativo durante algunos meses del año (Sayago y Toledo 2000; Toledo et al 2001; Prat y Sayago 2006).

En el piedemonte, el riesgo de inundación está relacionado tanto a la variabilidad pluvial estacional y multianual, como al desequilibrio hidrológico promovidos por las acciones antrópicas. Es así que cuando al impacto del cultivo irrestricto, al desmonte, al pastoreo y al turismo, sobre estas regiones se suman precipitaciones de gran intensidad, el riesgo de inundación se intensifica poniendo en peligro a centros poblados y sus habitantes, es decir, adquieren carácter de desastre (Sayago et al. 1998, Toledo 2005).

En el Gran San Miguel de Tucumán, las inundaciones se producen principalmente a partir del desborde de canales, como: Norte, San José, Oeste y Sur y ríos durante lluvias excepcionales o muy intensas, especialmente en los municipios de Tafí Viejo, Yerba buena y Banda del Río Salí (Pereyra et al, 2002).

En la Figura 49, se representa la intensidad del riesgo de inundación en cada región geomorfológica, en función de lo expresado.

El sistema de drenaje pluvial en el área de estudio fue detallado en el Capítulo 1, en el título "Hidrografía" y Figura 6. La localización de la superficie pluviométrica en la Figura 14.

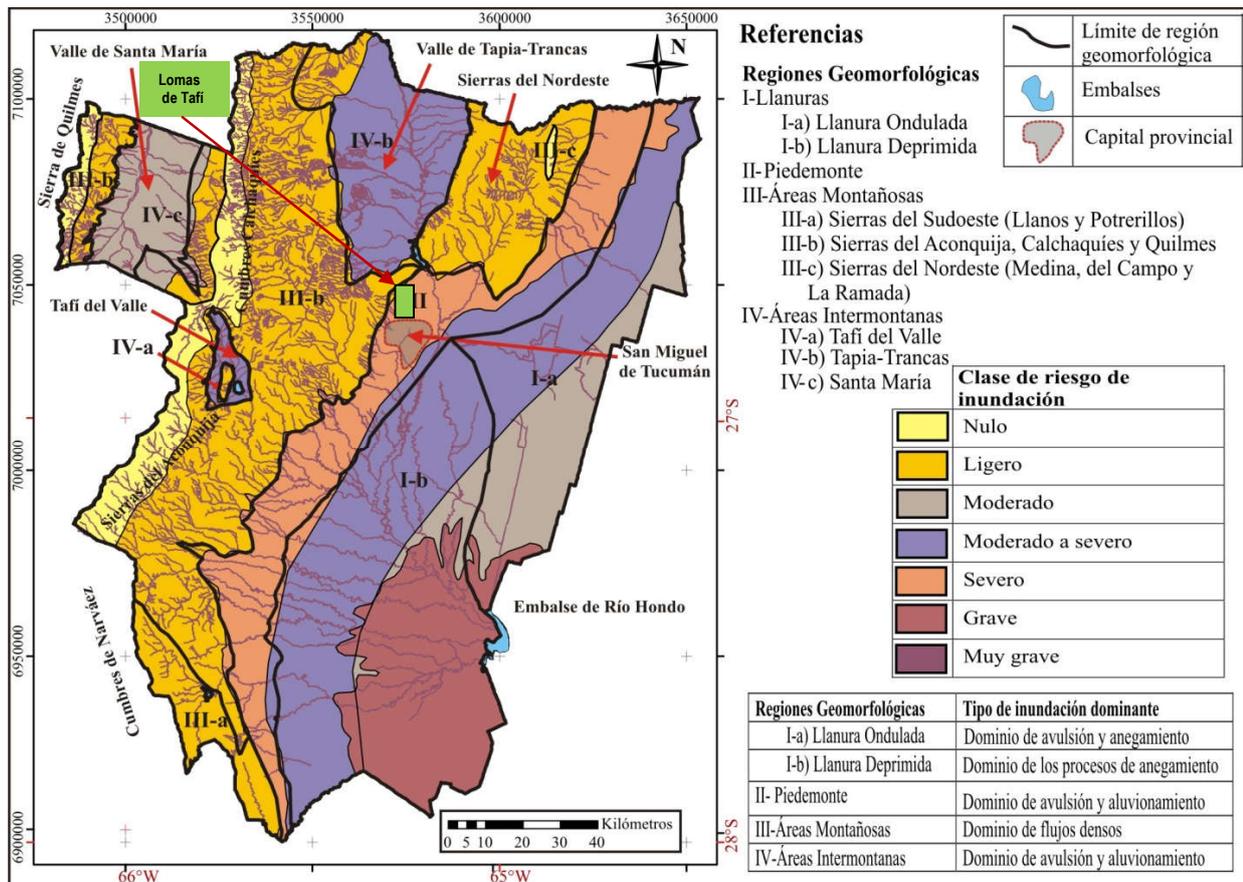


Figura 49: Mapa de Riesgo de Inundación de la provincia de Tucumán. Tomado de Sayago et al. 1998. Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

En esta última figura se puede ver el parque, ubicado en la Sierra de San Javier, propiedad de la Universidad Nacional de Tucumán, es un área con un bosque autóctono y actúa como un amortiguador natural y evita que la pendiente le transfiera la energía del agua al suelo en los episodios de lluvias intensas, pero a partir de los 750 msnm, cuando la pendiente aún es importante, el agua no encuentra resistencia y adquiere el poder erosivo de destrucción de las riveras de los arroyos, cárcavamiento, y de remoción de masa que se manifiesta en distintas alturas de la ladera de la Sierra de San Javier.

Las corrientes torrenciales de corta duración descienden desde el Taficillo por fincas situadas al Norte de la ciudad de Tafi Viejo, cruzando la Ruta N° 9 y anega Los Nogales, dejando depósitos de barro, cuando drene el agua, proveniente del suelo erosionado de las fincas por las que atraviesa el agua. (Figuras 32, 33, 34 y 35).

Otro caso es la micro cuenca Nueva Esperanza que aguas abajo, tanto la quebrada Cochuchal como Nueva Esperanza se unen aportando sus torrentes al Canal Nueva Esperanza. Esta obra sufre la falta de mantenimiento, la que sumada al deterioro de las micro-cuencas aportantes, se puede observar su estado de colmatación (Fernández R. 2011).

Más al Sur están las micro cuencas Tafi y Cañitas que presentan fuertes efectos de erosión lateral, ya que son de regímenes torrenciales y sus riveras no están suficientemente protegidas por un bosque rivereño desarrollado. En la misma zona del Oeste de la urbanización de Tafi Viejo debe mencionarse los efectos nocivos de la quebrada del Tala, microcuenca que nace al Oeste de la Hostería Municipal. Sus aguas descienden por el predio de la Hostería y luego de atravesar algunas propiedades privadas se encaminan por las calles Bolívar y Uttinger, arterias en las que se manifiestan procesos erosivos (Fernández, 2011).

Esta situación fue mitigada por la construcción del Canal de Cintura Sur, que capta las aguas de la Quebrada del Tala y las trasvasa al Canal Tafi.

### **3.5.- ASPECTO LEGAL DE LOS SUELOS.**

#### **3.5.1.- Introducción**

Desde el punto de vista de la economía, los recursos naturales son valiosos para la humanidad, los cuales satisfacen necesidades y contribuyen a su bienestar y desarrollo de manera directa. (Materias primas, minerales, alimentos, energía) o indirecta (servicios y más). Desde este punto de vista, los recursos naturales, en general, tienen una demanda que crece a una tasa superior al crecimiento poblacional.

El suelo es uno de los principales recursos que brinda la naturaleza. La formación de los suelos depende de un largo y complejo proceso continental. Es lentamente renovable cuando se genera de manera permanente a través de procesos naturales y por el manejo adecuado que los habitantes hacen del mismo.

Desde un punto de vista político institucional, el territorio es el espacio físico donde el estado organizado desarrolla su poder público con el fin satisfacer necesidades de sus habitantes, por medio de una administración razonable de este recurso.

#### **3.5.2.- Ley de Provincial de Suelos N° 6290/1991**

En el terreno jurídico, el suelo puede ser abordado desde dos puntos de vista: desde una perspectiva económica, como un insumo de procesos productivos, o desde planteamientos medioambientales, en su consideración como uno de los elementos del ecosistema que requiere normas jurídicas de protección.

Estas dos perspectivas no resultan necesariamente contrapuestas entre sí, por el contrario, el atender a las funciones que el suelo cumple en el ecosistema conlleva consecuencias económicas positivas; igualmente pero en sentido opuesto, la mejora o la conservación de la capacidad productiva, inteligentemente concebida, refuerza el rol ambiental y lo protege de su deterioro (Sayago, 2014).

La Ley N° 6290 tiene como objeto la conservación de los suelos agrícolas, entendida esta, como el mantenimiento y la mejora de su capacidad productiva. El Art. 3 impone al productor la obligación, al adquirir, arrendar o usufructuar alguna fracción de terreno de interés

agropecuario, a realizar en el mismo las prácticas conservacionistas que permitan aprovecharlo, sin alterar su potencial productivo. Si realiza contrato de locación a cualquier título está obligado a incluir, en el mismo, una cláusula referida a la conservación del suelo (art. 7). Además debe:

- a) Informar a la Dirección de flora, fauna silvestre y suelos de la provincia de Tucumán la existencia de evidentes procesos de degradación de los suelos.
- b) Efectuar o exigir los trabajos necesarios para la conservación y / o recuperación del suelo, para evitar la propagación o agravamiento de los procesos de degradación.
- c) Permitir las inspecciones que disponga la autoridad competente.

La Ley N° 6290 en su Art. 7.- Prohíbe expresamente la alteración de la capacidad de uso natural del suelo o su degradación, en cualquiera de las formas siguientes:

- a) Por obstrucción o desvío de aluviones o avenidas de agua provocada por precipitaciones intensas, sin autorización de la Dirección de Conservación de S.
- b) Por obstrucción de cursos naturales o artificiales cualquiera fuera su naturaleza.
- c) Por trasvasamiento de cuencas o desvíos de cauces artificiales, sin estudios previos que demuestren su eficiencia en cuanto a recuperación del área.
- d) Por desmonte o desforestación de los suelos de clase V, VI, VII y VIII (art. 12).
- e) Por sobrepastoreo de campos.
- f) Por la no aplicación de prácticas conservacionistas de la clase agrícola N° II (art.12).
- g) Por el uso irracional del agua de riego.

El (art.10) especifica, a los fines de la aplicación del régimen de conservación de suelos delimita el territorio provincial en nueve regiones naturales, basada en criterios de fisiografía. Tabla N° 9. El (art. 11), identifica distintos factores limitantes de la producción, en orden de importancia, aplicables en cada una de las regiones. Tabla 11.

Tabla 11: Regiones Naturales de la Provincia de Tucumán. Ley N° 6290.

<b>Regiones (art. 10)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Factores Limitantes de la producción (art.11)</b>
<b>Región I</b>	a) Pedemonte húmedo.	Factores topográficos, climáticos y edáficos.
	b) Pedemonte seco – sub húmedo.	
<b>Región II</b>	Llanura Chacopampeana subhúmeda – húmeda.	Factores climáticos, topográficos y edáficos
<b>Región III</b>	Llanura Chacopampeana seca – subhúmeda y semiárida del Este.	Baja estabilidad estructural, propensos a erosión hídrica.
<b>Región IV</b>	Llanura Chacopampeana seca subhúmeda – Salina.	Presencia de sales y sodio
<b>Región V</b>	Llanura deprimida.	Capa freática elevada.
<b>Región VI</b>	Cuenca Tapia – Tranca y Altivalles.	Suelo poco desarrollado, con problemas de salinidad por sectores
<b>Región VII</b>	Llanura Chacopampeana seca – subhúmeda del Sur.	Factores climáticos
<b>Región VIII</b>	Llanura Chacopampeana semiárida salina del Sur.	Factores climáticos y presencia de sales
<b>Región IX</b>	Área montañosa.	Solo aptos para actividades pecuarias o forestal, por sectores.

El (art.12) establece normas conservacionistas, así como posibles usos de los suelos en función de una clasificación agrológica. Tabla N° 10.

El área que interactúa con la urbanización de Lomas de Tafí, corresponde, de acuerdo a los tres últimos artículos, (Tablas 9 y 10):

Art. 10: Region I, a) Pedemonte húmedo.

Art. 11: Los Factores limitantes de la producción, son: Factores topográficos, climáticos y edáficos.

Tabla 12: Clasificación Agrológica de los Suelos. Ley N° 6290, (art. 12).

<p>a) Suelos apropiados para cultivo:</p>	<p><b>Clase I:</b> Apropriados para cultivos, sin métodos especiales de conservación.  <b>Clase II:</b> Apropriados para cultivos con métodos sencillos de conservación y en forma permanente, como ser: riego, fertilización, cultivo en contorno, en fajas, rotación de cultivos, etc. Menos del 3 % de pendiente.  <b>Clase III:</b> Apropriado para cultivos con métodos intensivos de control de erosión: terrazas, fajas estrechas, desagües, canales de guardia, etc. Pendientes del 3% al 15 %</p>
<p>b) Suelos apropiados para cultivos ocasionales o limitados</p>	<p><b>Clase IV:</b> Apropriado para cultivos que protejan el suelo en forma permanente, no así para cultivos de escarda, con uso limitado y métodos intensivos de control de erosión. Pendientes del 3 % al 15 %, pero más pobre que el anterior, o llanos, o con drenaje imperfecto. Se pueden desmontar solo para pasturas.</p>
<p>c) Suelos no apropiados para cultivos, pero adecuados para vegetación que proteja al suelo permanentemente:</p>	<p><b>Clase V:</b> No son apropiados para cultivos, pero resultan aptos para vegetación que protege el suelo en forma permanente. Pedregoso o seco.  <b>Clase VI:</b> Se puede usar para pastoreo o aprovechamiento general de los bosques. Pendientes mayores al 15 %. Secos, arenosos o con manchones salitrosos.  <b>Clase VII:</b> Co severas restricciones cuando se los dedica a pastoreo o bosques; el pastoreo debe ser ocasional por temporada, siendo preferible dedicarlos a bosques permanentes. Suelos arenosos, secos o salitrosos, más escarpados que la clase anterior.</p>
<p>d) Suelos no apropiados para explotación agropecuaria o forestal.</p>	<p><b>Clase VIII:</b> Por lo general suelos demasiados escarpados, arenosos, húmedos o áridos, no apropiados para agricultura, pastoreo o silvicultura, pero pueden ser útiles como reserva de flora y para animales de vida silvestre.</p>

Art. 12: a) Suelo apropiado para cultivos. Clase III: Apropriado para cultivos con métodos intensivos de control de erosión: terrazas, fajas estrechas, desagües, canal de guardia. Etc. Pendientes del 3 % al 15 %. Tabla N° 10.

### **3.5.3.- Ley Provincial N° 8304/2009:**

#### **Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo**

Esta ley da cumplimiento a la Ley Nacional N° 26.331, de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para el Ordenamiento Territorial de los Bosque Nativos, reglamentada por el Decreto N° 091 de 2009, que otorgó a las jurisdicciones provinciales el plazo máximo de un año, a partir de su sanción, para realizar el Ordenamiento de sus Bosque Nativos de acuerdo a los criterios de sustentabilidad expresado en el anexo de la ley, estableciendo la diferentes categorías de conservación (Tabla N° 11), en función del valor ambiental de las distintas unidades de bosque nativo y de los servicios ambientales que éstos presenten. Los bosques nativos son definidos en el art. 2.1. como ecosistemas forestales naturales compuestos predominantemente por especies arbóreas nativas maduras, con diversas especies de flora y fauna asociadas rodeadas por el medio ambiente: suelo, subsuelo, atmósfera, clima, recursos hídricos en equilibrio dinámico y que brinda diversos servicios ambientales a la sociedad. Se incluye tanto a los bosque de origen primario (donde no intervino el hombre), como los secundarios (donde se desmontó), y que luego fueron recompuestos o restaurados en forma natural o voluntaria. Quedan exceptuados los terrenos con superficies menores a las 10 hectáreas que sean propiedad de comunidades indígenas o pequeños productores.

El objeto de la ley es el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos y de los servicios ambientales que estos brindan a la sociedad.

Los diez criterios de sustentabilidad ambiental para la zonificación están establecidos en la Ley Nacional N° 26.331 y replicados en el Anexo I de la Ley Provincial N° 8.304. No son independientes entre sí, por lo que un análisis ponderado de los mismos permitirá una estimación del valor de conservación de un determinado sector:

- 1) Superficie.
- 2) Vinculación con otras comunidades naturales.
- 3) Vinculación con otras áreas protegidas e integración regional.
- 4) Existencia de valores biológicos sobresalientes.
- 5) Conectividad entre eco regiones.
- 6) Estado de conservación.
- 7) Potencial forestal.
- 8) Potencial de sustentabilidad agrícola.
- 9) Potencial de conservación de cuencas.
- 10) Valor dado por las Comunidades Indígenas y campesinas. La norma provincial agregó el undécimo criterio.
- 11) Pendiente: los contrastes del relieve.

Este último criterio de sustentabilidad fue tenido en cuenta en forma particular para la provincia de Tucumán surgido de las tareas de análisis preliminar de los aspectos condicionantes de la erosión hídrica y fluvial como así también en los procesos de remoción en masa que condicionan fuertemente la degradación de los suelos ante perspectivas potenciales de desmonte.

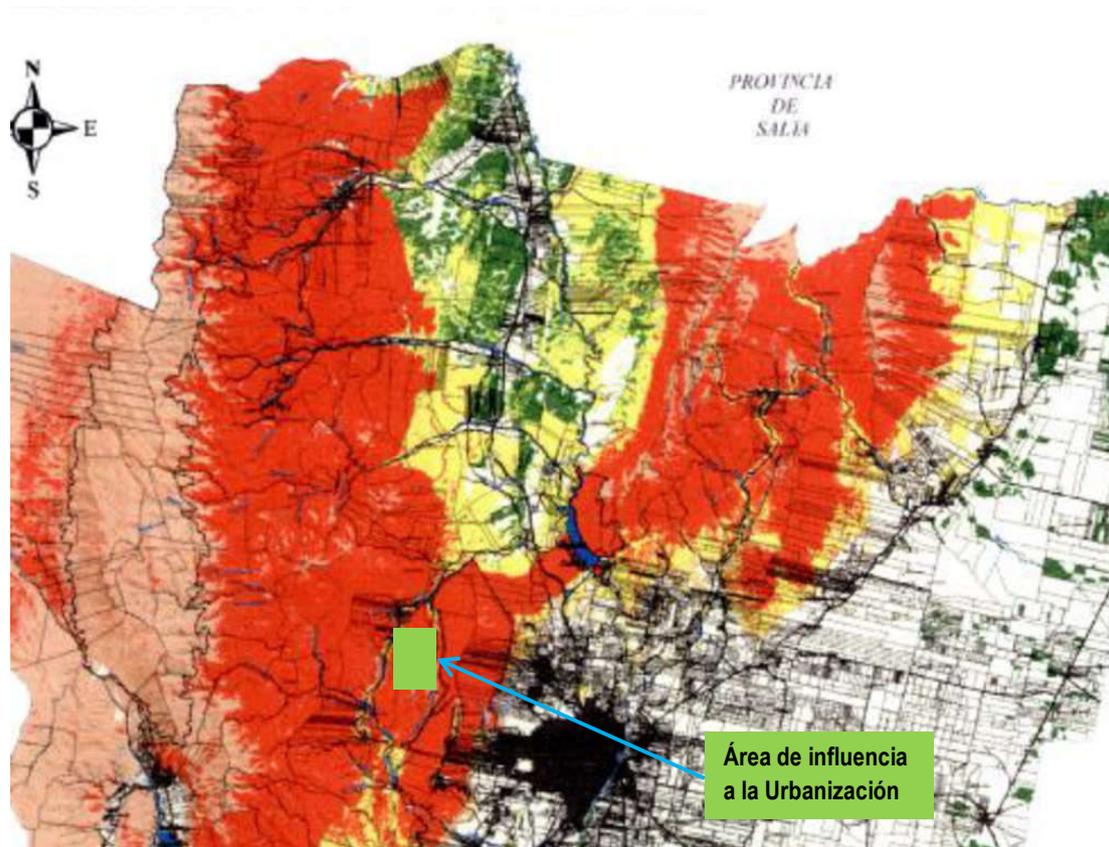
Las zonas complementarias fueron delimitadas con color marrón en el soporte cartográfico y son sectores adyacentes a los bosques nativos en los cuales se deben integrar a la conservación y mitigación de la presión antrópica sobre las mismas.

Categoría Complementaria de Mayor Integración Territorial (Marrón oscuro): son los sectores adyacentes a las zonas de bosques nativos con categoría de conservación I (Rojo) y II (Amarillo). Son zonas donde no existe el bosque, pero donde se debiera reconstruir.

Categoría Complementaria de Menor Integración Territorial (Marrón claro): sectores sin bosque nativo que se encuentran adyacentes a las zonas con bosques y categoría de conservación III (Verde).

**Tabla 13: Categorías de conservación de los suelos de las leyes provincial y nacional**

Categorías complemen. Ley N° 8.304	Categorías de conservación (art. 9 de la Ley N° 26.331) I (rojo), II (amarillo), III (verde)	
		Sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse. Valor de conectividad, valores biológicos, protección de cuencas. Pueden ser hábitat de comunidades indígenas y ser objeto de invest. científica
		Sectores de mediano valor de conservación, que puede estar degradado. A juicio de la autoridad de aplicación se puede restablecer su valor. Aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica
		Sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad aunque dentro de los criterios de la ley.



**Figura 50: Cartografía de la Ley Nacional N° 26.331, art.9**

El área de influencia a la urbanización comprende, en la zona Occidental, color rojo, a un sector de muy alto grado de conservación que pertenece a parte de la reserva Parque de San Javier, un área protegida de 14.174 Has creada en 1974, a partir de la Resolución Universitaria 001030/73. En una franja media orientada de Noreste a Suroeste, color amarillo a un sector de mediano valor de conservación y el resto del área corresponde a urbanizaciones: ciudad de Tafí Viejo, barrios aledaños y Lamas de Tafí.

### **3.5.4.- Ley Provincial N° 7696/2005 – Bienes en Zonas Inundables**

#### TÍTULO I: Objeto y Alcance

Esta ley crea el régimen de uso de bienes en zonas inundables dentro de la jurisdicción provincial, el que queda sujeto a las disposiciones de la presente ley.

En el art. 2.- a fin de delimitar distintas áreas, la Autoridad de Aplicación procederá a realizar la definición y la delimitación en cartografía conforme a la siguiente clasificación:

Área I: Corresponde a los cauces naturales y artificiales, paleocauces y cuerpos de agua permanente.

Área II: Corresponde a las vías de evacuación de crecidas y áreas de almacenamiento.

Área III: Corresponde a las áreas con riesgo de inundación, no incluidas en las áreas I y II.

Área IV: Corresponde a las áreas en cuya superficie la forestación resulta de carácter obligatorio a los fines de controlar la delimitación del área III.

#### TÍTULO II: De la autoridad de Aplicación

Art. 3.- La Autoridad de Aplicación ES el Ministerio de Desarrollo Productivo a través de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente.

#### TÍTULO III: De la Cartografía.

Art. 6.- La Dirección General de Catastro procederá a confeccionar la cartografía de las áreas descriptas en el art. 2, o actualizar las existentes, siguiendo las pautas de esta ley, su

reglamentación y la metodología que establezca la autoridad de aplicación previa consulta a la Dirección General de Catastro.

#### TÍTULO IV: Del Régimen de Uso

Art. 11.- Conforme al art. 2611 del Código Civil, el Poder ejecutivo dictará las normas que serán de aplicación obligatoria a todos los bienes de propietarios, ocupantes y habitantes de los inmuebles ubicados en las áreas definidas en el

Art. 2 de la presente.

Art. 12.- Prohibiciones de uso. Área II. No pueden realizarse obras, actividades ni emprendimientos públicos o privados que impidan el escurrimiento natural de las aguas. La Autoridad de Aplicación autorizará los proyectos a que se refiere este artículo.

1.- No obstaculice el escurrimiento natural de las aguas.

2.- Se adopten las previsiones necesarias para anular el riesgo de inundación o sea compatible con el riesgo.

Art 16.- Luego de la publicación de la cartografía, se aplicará el siguiente régimen:

1.- La construcción de obras en las áreas prohibidas en las Áreas I y II generan para el particular la obligación de demoler o destruir y el pago de la multa que en el caso determine la Autoridad de Aplicación.

2.- En el caso de que particulares o entidades públicas ocupen, construyan o desarrollen actividades no permitidas conforme lo establecido para cada área, el Estado Provincial no procederá durante el plazo de dos (2) años a ejecutar obras de infraestructura básica de defensa ni protección de inundaciones, en beneficio directo de los bienes propiedad de los infractores; ni otorgará créditos o subvenciones durante un plazo no menor a dos (2) años por sí o a través de entidades financieras públicas.

El área de influencia a la urbanización responde a las siguientes características descritas en la ley 7696:

Área II: Corresponde a las vías de evacuación de crecidas y áreas de almacenamiento.

Área IV: Corresponde a las áreas en cuya superficie la forestación resulta de carácter obligatorio a los fines de controlar la delimitación del área III.

En el Gran San Miguel de Tucumán, las inundaciones se producen principalmente a partir del desborde de canales, como: Norte, San José, Oeste y Sur y ríos durante lluvias excepcionales o muy intensas, especialmente en los municipios de Tafí Viejo, Los Nogales, Yerba buena y Banda del Río Salí.

## **CAPÍTULO 4: LOCALIZACIÓN DE ÁREAS CON MAYOR FRAGILIDAD**

### **4.1.- RIESGOS GEOAMBIENTALES**

Sin perder de vista la dimensión regional y provincial, así como su interrelación, se realiza una división en cuatro sectores en el área de influencia de la urbanización (Figura 51) y se construye una matriz para determinar la zona con mayor fragilidad en función de los aspectos ambientales y las actividades antrópicas, teniendo en cuenta las distintas pendientes a distintas alturas del pedemonte. Tabla 14.

Las características de dicha matriz son las siguientes:

El diseño de la tabla que responde al Método de la Variable Pesada, utilizado en Administración de Empresas y otras disciplinas afines para evaluar alternativas que ofrece el mercado para la localización de una unidad productiva, la compra de un bien de capital, u otra operación, teniendo en cuenta en cada alternativa los distintos aspectos de interés y que tienen distinta importancia relativa para la organización que está en la etapa de factibilidad.

Teniendo en cuenta la influencia que tiene la pendiente en el escurrimiento y la fuerza erosiva del agua en la superficie para suelos con distinta cobertura vegetal, se utilizan el criterio de Tricart (1978) con rangos adaptados al área de influencia de la urbanización.

Tabla 3

Teniendo en cuenta la Ley Provincial N° 8304/2009: Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo, que agrega un criterio de sustentabilidad a los diez expresados en la ley Nacional N° 26.331, el mismo corresponde a la pendiente: los contrastes de relieve, el cual es una adaptación para la topografía y tipos de suelos de la provincia de Tucumán.

La matriz tiene entradas en dos direcciones. Una superior con cuatro columnas individualizadas por los cuatro sectores A, B, C y D, con sus rangos de pendientes y un indicador de peso en función de estas.

Estas cuatro columnas, a su vez están divididas, cada una de ellas, por cuatro factores ambientales en los que impactan las actividades antrópicas realizadas en los distintos sectores: aire, agua superficial, agua subterránea y suelo.

La entrada horizontal está precedida por las acciones antrópicas y cuando ésta incide en un factor ambiental se identifica con 1, pero este valor está afectado por el peso que depende de la pendiente.

La hipótesis para adoptar el indicador es que el incremento de la fragilidad producido por cualquier actividad antrópica es directamente proporcional a la pendiente del sector, es decir, la pendiente le agrega peso relativo o incidencia a la actividad considerada, de esta manera se busca relacionar la vulnerabilidad del paisaje con las distintas actividades humanas.

Con esta metodología se pudo individualizar el sector con mayor fragilidad aunque el valor numérico no represente una referencia, para otros estudios.

Por otro lado, este resultado está en línea con los hallazgos en el campo, por lo que se puede concluir que el riesgo erosión hídrica, el riesgo de remoción de masa, así como el riesgo de inundación son críticos en el sector B debido a la actividad antrópica.

**4.1.1.- Matriz de Riesgos Geoambientales**

**Tabla 14: Matriz para identificar el sector con mayor fragilidad**

	Sectores del Área de Estudio															
Pendientes	A > 15 %				B: (5 – 15) %				C: (2 – 5)%				D. (1 – 2) %			
Indicador de Peso relativo	(8)				(6)				(4)				(2)			
Aspecto Ambiental	Aire	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Aire	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Aire	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Aire	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo
Acción Antrópicas																
Desmante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agricultura					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Urbanización					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ext. áridos	N/A					1		1		1		1		1		1
Cerámicas Ext. de Suelos	N/A					1		1		1		1		1		1
Construcción de rutas		1		1		1		1		1		1		1		1
Citrícolas	N/A				N/A				1	1	1		1	1	1	
Criaderos de aves	N/A				1	1	1		1	1	1		1	1	1	
Índice	6. (8) = 48				21. (6) = 126				24. (4) = 96				24. (2) = 48			
Consecuencia					Erosión hídrica Remoción de masa				Flujos torrenciales Inundaciones Deposito de suelo				Flujos torrenciales Depósito de suelos			
Observaciones	Buena amortiguación por la masa vegetal				Área de Mayor fragilidad Por presión al ecosistema				Sufré las consecuencias por falta de planificación integral				Desbordes del canal Norte			

#### 4.1.2.- Mapa de Riesgos

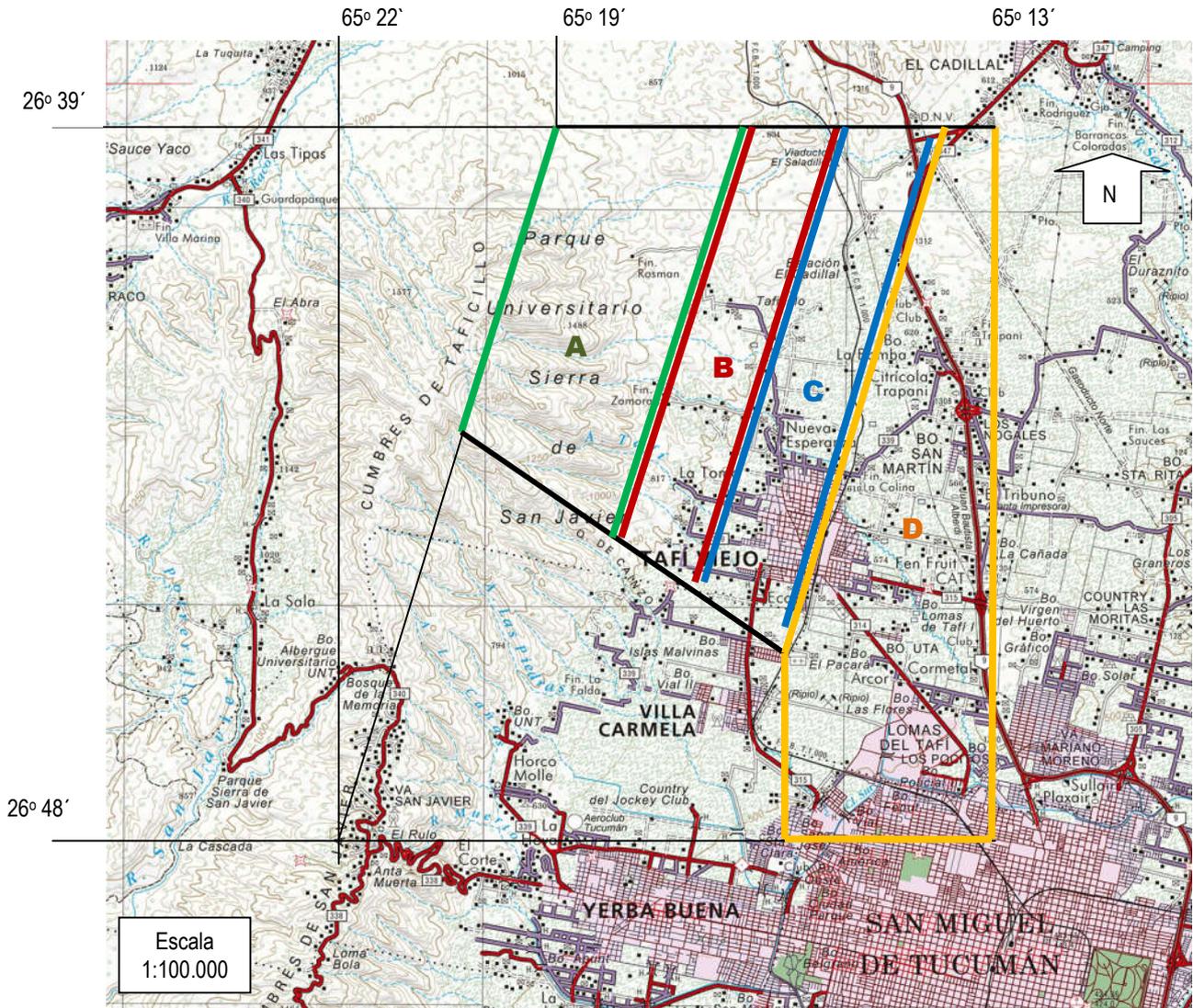


Figura 51: Mapa de riesgos en el área de influencia de la urbanización

#### 4.1.3.- Análisis de los Resultados Obtenidos en la Matriz de Riesgos

Los resultados obtenidos en la matriz de riesgos se los describe por zona:

**Zona A, (48):** Es la zona que posee el mayor rango de pendientes: (30 – 40) %, por lo que se le asignó el mayor indicador (8) pero esta influencia adversa está compensada por la protección que brinda El Bosque de Yunga de la Sierra de San Javier, a partir, aproximadamente de los 750 msnm, hasta los nacimientos de los arroyos entre las cotas de

1440 1860 msnm. Esta selva protege de manera eficaz al suelo de las fuertes lluvias de verano. Por otra parte se observaron intervenciones antrópicas localizadas de bajo impacto, como sendas, rectificación de arroyos en zonas limítrofes con fincas y otras actividades relacionadas con la agricultura a pesar de ser un área protegida.

**Zona B, (126):** Es una zona crítica con alta presión sobre el ecosistema por la pendiente aún considerable, entre el 5 y el 15 % y las múltiples actividades productivas, la más importante es la agrícola, que además construye galpones para desarrollar la actividad utilizándolos como depósitos, talleres, protección de maquinarias, tractores y automotores. Hay otros galpones para criaderos de aves. Se pudo observar además viviendas dispersas y agrupadas, extracción de áridos, cría de caballo, entre otras. Algunas de estas actividades se encuentran en expansión, como la producción de limón.

**Zona C, (96):** Con pendientes entre 2 y el 5 %, en esta zona se encuentra la ciudad de Tafi viejo hasta las vías de ferrocarril que acceden a los talleres de Tafi Viejo, desde el Norte y desde el Sur. También se encuentran los barrios del Oeste de la ciudad, la hostería, Alpapuyo, entre otras actividades. En el Norte de la ciudad se encuentran fincas de las cítricas, dándole continuidad a la actividad principal de la zona B, la comuna de Nueva Esperanza y desarrollos inmobiliarios con barrios privados. Por el Sur ingresa la ruta provincial 315 y en ambos lados se localizan barrios periféricos.

Esta zona sufre las consecuencias de las alteraciones producidas en la zona B. Se pueden observar cárcavas de aproximadamente 6 m de profundidad, por 4 m de ancho, inundaciones en distintos sectores de la ciudad de Tafi viejo, así como la remoción de masa.

**Zona D, (48):** con pendientes bajas, entre el 1 y 2 % y lomadas que pueden superar las mismas, toma la parte Oriental de la ciudad de Tafi Viejo. En la Figura 51 se puede observar un tramo de 5 km de la ruta N° 9 así como la ruta provincial 314 o autovía Raúl Lechesi, que une S. M. de Tucumán con la ciudad de Tafi Viejo. En el Norte de la Ruta 9 se observaron áreas cultivadas y hacia el Sur de dicha ruta se encuentran fincas de la cítrica Trapani, Los Nogales, el barrio San Martín que pertenece al municipio de Tafi Viejo y al Sur Los Pocitos en donde se encuentra la urbanización Lomas de Tafi emplazada en el extremo Sureste del área de estudio.

#### **4.2.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE QBR DE LOS ARROYOS TAFICILLO Y NUEVA ESPERANZA.**

De la ladera oriental de la Sierra de San Javier descienden numerosos arroyos los cuales tienen algunas características en común, entre la cuales se puede mencionar:

- ✓ Son de flujo temporario que descienden con mucha energía cuando llueve con cierta intensidad.
- ✓ Estos arroyos, en su mayoría, son afluentes de otro de mayor importancia.
- ✓ Tienen pendientes pronunciadas, superiores al 5 % en su curso medio.
- ✓ Suelo loésico limo arcilloso con material grueso
- ✓ Las aguas se desplazan en un recorrido rectilíneo y con fuertes pendientes en sus cabeceras.
- ✓ La fuerza erosiva del agua se manifiesta en la gran cantidad de árboles, de distinta envergadura, caídos que se observan en los cauces, especialmente en su curso medio (Figura 53).
- ✓ Los drenajes de estos arroyos se encuentran controlados desde sus cabeceras hasta los 700 msnm, aproximadamente en donde termina la selva y empieza la actividad agrícola.

En este sistema natural de drenaje pluvial SE HA empleado el índice QBR, (Calidad del Bosque de Ribera) en dos arroyos representativos y que afectan directa o indirectamente el área de estudio: el Arroyo Taficillo y Arroyo Nueva Esperanza (Figuras 52 y 63).

##### **4.2.1 Fundamentación**

El uso de esta metodología se complementa con otras que evalúan Riesgos Naturales, entre ellos el IVA (Índice de Vulnerabilidad Ambiental), IRN, (Índice de Riesgos Naturales) y de EIA, que en su mayoría no realizan previsiones para una futura gestión hídrica, para evitar inundaciones y/o aluviones con pérdida del bosque de ribera. Es notable la relación que tiene la mala calidad riparia en las orillas del río donde fueron objeto de pasadas inundaciones, así como de potenciales desbordes en el futuro.

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 *et al* 2006). Así de acuerdo con las propuestas efectuadas por la Comunidad Económica Europea CEE-COM (1997), sobre la calidad de ecosistemas ribereños; Munné *et al* (1998,2002) elaboraron el Índice QBR (Qualitat de Bosc de Ribera, en catalán), que tiene por objetivos simplificar estudios complejos y costosos que aumentan considerablemente el número de variables para la medición de calidad y biodiversidad. Como herramienta de trabajo, es un Índice rápido para evaluación de los Ecosistemas de Ribera, y tiene las ventajas que siguen: 1) Puede ser fácil y rápidamente calculado en el campo y 2) También puede ser usado junto con indicadores biológicos de calidad de las aguas, para la determinación del estado ecológico de los ríos.

Los atributos o variables se agrupan en cuatro apartados que pondera el índice QBR y que están detallados en la hoja de campo. Estos apartados:

- 1) *Grado de cobertura de la vegetación de ribera, (%)*: conectividad del bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente.
- 2) *Estructura o grado de madurez de la vegetación*: interconexión entre árboles y arbustos, presencia de halófitos, uniformidad, complejidad.)
- 3) *Calidad de cubierta, naturalidad de la vegetación*:
  - a) perfil de las márgenes: tipo de desnivel (terrazas) y forma.
  - b) tipo geomorfológico, en función de los tipos de riberas.
  - c) potencialidad de soportar una masa vegetal de ribera.
  - d) especies diferentes de árboles autóctonos.
- 4) *Grado de alteración del canal fluvial*: modificación del canal del río

Así 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 aporta la información necesaria del estado de salud del bosque ribereño (Fernández,2010,2011). El uso del índice QBR como indicador de riesgo de inundaciones se usó anteriormente en la provincia en trabajos de Fernández (2010, 2011). Debemos hacer

mención también a los trabajos de Sirombra y Fernández (2005) y Sirombra (2011) que analizaron la Cuenca del Arroyo Tafi, al sur de la zona de este estudio.

#### 4.2.2.- Niveles o Rangos de Calidad de Ribera

La puntuación final permite establecer el grado de calidad del sistema de ribera comparándola con los niveles que se definen a continuación. Así Munné *et al* (1998,2002) distinguen cinco niveles de calidad representados por diferentes colores, que permiten indicar en el mapa los rangos de calidad de forma estándar (Tabla 15) y en el futuro hacer comparaciones con otros lugares o constatar la evolución en una misma estación georeferenciada o punto de muestreo, frente a las distintas perturbaciones naturales (riadas) o por influencias antrópicas (Fernández, 2003, 2010 y 2011).

**Tabla 15: Rango de Calidad de los Ecosistemas de Ribera.**

QBR	CALIDAD	COLOR
≥ 95	Ribera sin alteraciones, estado natural	<b>Azul</b>
75 – 90	Ribera ligeramente perturbada, calidad buena	<b>Verde</b>
55 – 70	Inicio de alteración importante, calidad aceptable	<b>Amarillo</b>
30 – 50	Alteración fuerte, calidad mala	<b>Naranja</b>
0 – 25	Degradación extrema, calidad pésima	<b>Rojo</b>

#### 4.2.3.- Aplicación del Método en la Zona de Estudio

Los relevamientos se realizaron en varios tramos de los dos arroyos que descienden de la ladera Oriental de la sierra de San Javier con dirección Oeste – Este. Ambos cauces que cruzan el Camino del Perú al Norte de la ciudad de Tafi Viejo en distintas localidades, se estudiaron mediante la utilización de 6 (seis) transectas.

En cada transecta se relevaron las márgenes derecha e izquierda evaluándose las características expresadas en la hoja de campo correspondiente al método original. Así para establecer el largo conveniente de la transecta a utilizar, se tomó como referencia, el valor de 50 metros que sugieren los autores del índice para arroyos o ríos pequeños de tipo subtropical (Muneé *et al*, 1998, 2002, Fernández, 2011 y Sirombra, 2011).

*El Arroyo Taficillo*, así denominado por lugareños, cruza el Camino del Perú Norte, por medio de un badén, en las coordenadas, 26,69 de latitud Sur y 65,27 de longitud Oeste a una altura de 729 msnm. Este punto quedó localizado entre las transectas 4 y 5, (Figura N° 72). Aguas arriba, avanzando por el cauce 660 m, se marcó la transecta 1. (Figuras 52 y 72). A partir de ese punto, aguas abajo y en forma sucesiva se marcaron las transectas 2, 3 y 4, antes de que el arroyo cruce el Camino del Perú Norte. (Figuras 54, 58 y 59). A partir de que el arroyo cruza el Camino del Perú Norte, siguiendo por el cauce se marcan las transectas 5 y 6. Figuras 60 y 62. El arroyo continúa su recorrido, a través de fincas de limón ubicadas al Norte de la ciudad de Tafí Viejo, cruza la Ruta N° 9 a través de alcantarillas, a la altura del km 1306, inundando con agua, barro y RSU la localidad de Los Nogales en el área circundante a la Ruta mencionada.

Este siniestro es especialmente grave cuando se dan dos circunstancias:

1 - crecidas de gran magnitud con volumen de agua extraordinarias.

2 - se tapan con residuos ramas y (RSU) las alcantarillas, a la altura del km 1303, por la que debiera retornar el agua al Oeste de la Ruta N° 9, para luego juntarse con los aportes de los Arroyo Nueva Esperanza y Tafí y descargar en el Canal Norte.

Los sucesos mencionados, que ocurren en período estival en Los Nogales configuran el actual escenario de riesgo hídrico existente. Estos desbordes han costado pérdidas de bienes de los habitantes y áreas productivas agrícolas de dicha Comuna Rural; como así también la inaccesibilidad temporaria, a distintas áreas de la población.

Sobre la ladera oriental de la Sierra de San Javier, al sur del Arroyo Taficillo, se encuentran cinco pequeñas cuencas que dirigen el curso de sus aguas hacia la ciudad de Tafí Viejo. Su natural funcionamiento ha provocado (y aún lo hace), problemas de inundaciones en

distintos puntos de la ciudad. Estas cuencas llevan por nombre Nueva Esperanza, Cochuchal, Tafí, Tala y Cañitas, dispuestos en ese orden de Norte a Sur, cuyas cabeceras de cuencas están situadas entre las cotas de 1440 1860 msnm, en el Parque Sierra de San Javier, perteneciente a la Universidad Nacional de Tucumán. La presencia del “Bosque de Yunga” en el macizo rocoso, beneficia ecológica e hidrológicamente a las cuencas ya que desde las cabeceras hasta la altura de 800 msnm descienden controladas y protegidas.

De acuerdo con la descripción de Fernández (2006) el suelo de la cuenca superior es de material rocoso suelto, fácilmente erosionable debido a las pendientes, las cuales oscilan entre los 30 % y 40 %. En la zona media el material rocoso se envuelve en una matriz arcillosa. Asimismo, la zona inferior de la cuenca es de lomadas bajas y suaves, donde el agua discurre a través de un glacis que conecta a la llanura pedemontana, en su zona de derrame.



Figura 52: A° Taficillo a 900 msnm. Transecta 1



Figura 53: Fuerza erosiva del arroyo. Entre T. 1 y T.2



Figura 54: Meandro del arroyo. T. 2



Figura 55: Suelo en el margen del A° Taficillo.  
Luego de la T. 2



Figura 56: Una de las cantera en A° Taficillo. Entre T. 2 y T. 3



Figura 57: Excavación del suelo rodeando ejemplares de bosque nativo. Entre T. 2 y T. 3



Figura 58: Vista panorámica de accesos a la quebrada, con cauce alterado. T. 3



Figura 59: Panorámica de ingreso a la quebrada, con deposito de RSU en margen alterado del cauce del A° Taficillo. Transecta 4



Figura 60: Deposito de RSU, escombros y otros residuos. Antes de la T. 5



Figura 61: El arroyo se introduce en una finca de limón. T5. (Sin material grueso, a diferencia de la F. 48)



Figura 62: El arroyo a través de fincas. Ribera angosta con pocos árboles y arbustos. T. 6.

El suelo superior está constituido por humus poco profundo en zonas de pendientes marcadas, aumentando su espesor en las pequeñas hondonadas entre las lomas debido a la deposición. El interior de la capa con material orgánico está compuesto por suelo limo – arcilloso, con abundante materia orgánica, muy erosionado por la ocupación agraria (Fernández, 2015) (Figura 55).

*Arroyo Nueva Esperanza: se puede acceder* aguas arriba desde el Camino del Perú Norte, doblando hacia el Oeste por un camino consolidado, que corre paralelo al arroyo, e ingresa a la quebrada 3 km. A partir de allí, antes de unirse a tres afluentes, se marcó la transecta 1 (Figuras 63 y 73). A partir de ese punto se fueron marcando transectas sucesivas cada 600 m. Esto es la 2, 3, 4. (Figuras 64, 65 y 66).

En la transecta 5 el arroyo cruza el Camino del Perú por medio de un badén e ingresa al Canal Nueva Esperanza. (Figura 67). Este cruce se produce en las coordenadas 26,71 de latitud Sur y 65,26 de longitud Oeste a una altura de 717 msnm. La transecta 6 muestra una cascada de unos 20 m producidos por la erosión severa del agua con abundante carga sólida, la que destruyó una obra de arte que se mantuvo hasta el verano de 2013 y consistía en un terraplén de áridos en el fondo del canal para rellenar el sustrato erosionado y varios gaviones dispuestos en forma de escalones en los bordes del cauce. (Figura 71).

El arroyo Nueva Esperanza ingresa al área urbana por el Noroeste, dobla al Este dos cuadras antes de calle José Colombres hasta calle Reconquista. Sigue paralelo a ésta por tres cuadras, luego dobla a la derecha por un callejón diagonal, retoma su cauce natural, cruza la Av. Constitución y se une al A° Tafí antes de ingresar al Canal Norte.



Figura 63: Arroyo Nueva Esperanza a 900 msnm. T. 1



Figura 64: Cauce con erosión lateral. T. 2



Figura 65: Cauce ensanchado, recibió el aporte de tres afluentes. Actividad agrícola. T. 3



Figura 66: Muro de H° A° para proteger el camino lateral, RSU, Actividad agrícola y urbana T. 4



Figura 67: El ingreso del A° N. Esperanza al canal. T. 5



Figura 68: Canal Nueva Esperanza colmatado y muro descalzado. Entre T. 5 y T. 6



Figura 69: Vista panorámica del primer tramo de Canal Nueva Esperanza. Riberas urbanizadas. A la izquierda, Camino del Perú Norte. Entre T.5 y T. 6



Figura 70: Junta del Canal Nueva Esperanza con el del cuarto afluente que desciende de la sierra. Próximo a la T.6

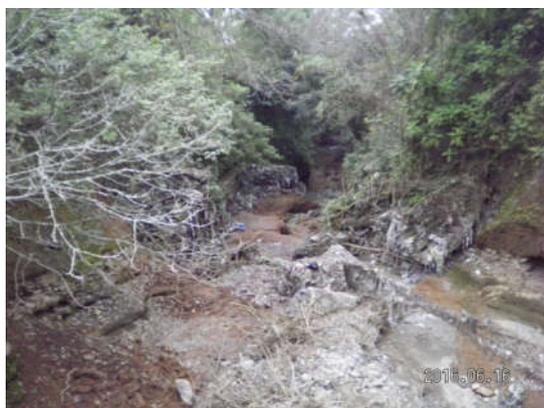


Figura 71: Formación de una cascada con erosión muy severa, luego de la junta. T. 6

Las escalas de las figuras 72 y 73 están especificadas y los tramos analizados son muy distintos. En el caso del Arroyo Taficillo el tramo analizado tiene una longitud de 500 m y las transectas están distanciadas 120 m. Figura 68. En el caso del Arroyo Nueva Esperanza el tramo analizado tiene una longitud de 3000 m. y las transectas están distanciadas 600m. (Figura 69).



Figura 72: Arroyo Taficillo, tramo elegido para evaluar el índice QBR

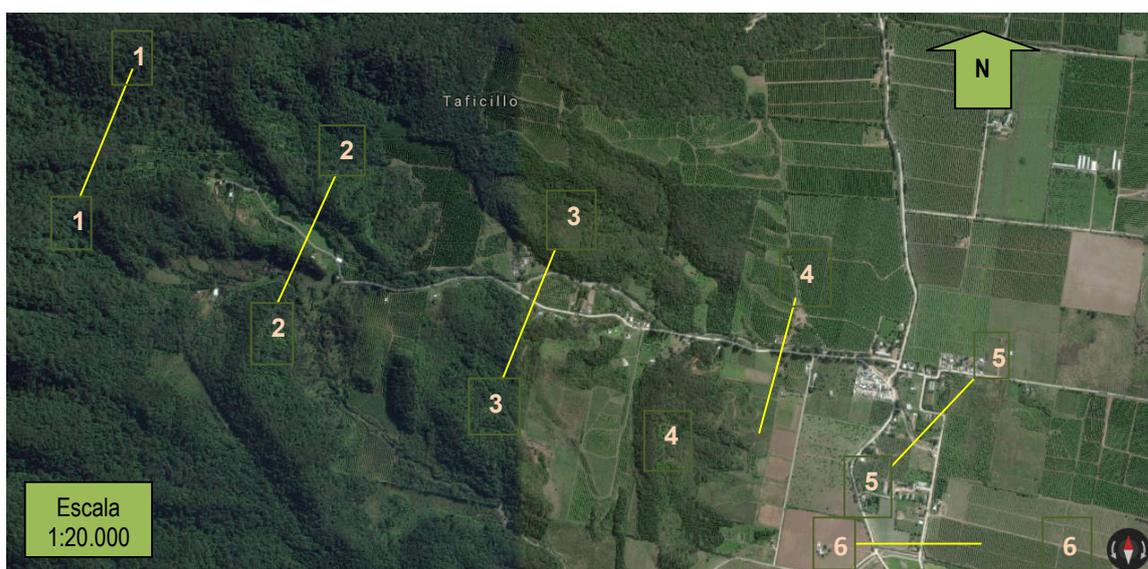


Figura 73: Arroyo Nueva Esperanza, tramo elegido para evaluar el índice QBR

#### 4.2.4.- Resultados Obtenidos y Discusión

En el campo, a partir de la observación detallada de las riberas de los arroyos en los tramos seleccionados en cada caso, complementada con imágenes satelitales de Google Maps (Figuras 72 y 73) y representadas con más detalle, a través, de las imágenes capturadas en los documentos fotográficos (Figuras 52 a 71), se elaboraron las Tablas 16 y 17 con las puntuaciones de los índices y subíndices detallados en la planilla de campo. En el caso del Arroyo Taficillo se estudió un trayecto de 600 m con 6 transectas, 5 tramos de 120 m una de otra y en el Arroyo Nueva Esperanza, se estudió una longitud de 3000 m con 6 transectas, 5 tramos de 600 m.

Por referencia bibliográfica, la calidad del ecosistema ripario de los arroyos que descienden de la ladera Oriental de la Sierra de San Javier hasta los 700 msnm mantiene, por ahora, una estructura de bosque autóctono en buen estado de conservación.

#### Arroyo Taficillo

Tabla 16: Puntuación de índice QBR en el Arroyo Taficillo

Aspectos considerados por apartados	Puntuación por Transecta					
	1	2	3	4	5	6
1) cobertura de la vegetación de ribera.	20	20	10	10	5	5
2) estructura o grado de madurez de la vegetación.	20	20	10	10	5	5
3) complejidad y naturalidad de la vegetación.	---	---	---	---	---	---
a) perfil de los márgenes.	5	5	5	3	5	5
b) tipo geomorfológico.	8	8	5	5	5	5
c) potencialidad de soportar masa vegetal.	2	2	4	4	2	2
d) especies diferentes de árboles autóctonos.	10	5	5	5	0	0
4) grado de alteración del canal fluvial.	25	25	10	10	10	10
Puntuación total por transecta	90	85	49	47	32	32

**Arroyo Nueva Esperanza****Tabla 17: Puntuación de índice QBR en el Arroyo Nueva Esperanza**

Aspectos considerados por apartados	Puntuación por Transecta					
	1	2	3	4	5	6
1) cobertura de la vegetación de ribera.	20	10	10	5	5	5
2) estructura o grado de madurez de la vegetación.	20	10	10	5	5	5
3) complejidad y naturalidad de la vegetación,	---	---	---	---	---	---
a) perfil de los márgenes.	3	3	3	3	3	3
b) tipo geomorfológico.	5	5	5	5	5	5
c) potencialidad de soportar masa vegetal.	2	2	2	2	2	2
d) especies diferentes de árboles autóctonos.	5	5	5	0	0	0
4) grado de alteración del canal fluvial.	25	25	10	10	5	0
Puntuación total por transecta	80	60	45	30	25	20

La tala progresiva e indiscriminada desde mediados del siglo XX llegó hasta los 750 msnm (Fernández, 2010, 2011). Para el estudio del QBR se ha definido un tramo crítico de esa transición para poner en evidencia la degradación del ecosistema por la actividad antrópica.

**4.2.4.1.- Arroyo Taficillo**

Las riberas en la transecta 1 muestran una muy buena calidad, con una buena conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal, el cauce del arroyo tiene tramos con diseño rectilíneo y puede observarse una vegetación arbórea y arbustiva fuertemente enraizada y un grado de cobertura vegetal entre el 70 y 80 %.

En la transecta 2, se mantiene en buen estado la masa vegetal y algo erosionado el cauce (Figuras 54 y 55), por influencia de la extracción de áridos, para lo cual se realizó una tala localizada, entre la transecta 2 y 3 (Figura 55, 56, 57 y 72). En este tramo se excavaron ambos márgenes del cauce y se realizó una playa para acopio (stock piles) y carga de

camiones. Esta actividad altamente impactante afectó el grado de naturalidad del canal fluvial en ese tramo y el siguiente, entre las transectas 3 y 4. (Tabla N° 16).

Se pueden observar alteraciones en la margen y fondo del cauce, en el cual se realizó un terraplén para entrada y salida de camiones. Figuras 58 y 59. En este mismo tramo se va perdiendo la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal por el avance de la actividad agrícola. Figura 72. En la transecta 5 luego de cruzar el Camino del Perú Norte y depósitos de RSU, el arroyo ingresa en fincas de limón, el perfil del canal se restablece en alguna medida, hay vegetación incluso árboles en los bordes del cauce, que tienen un ancho de unos 2 a 3 m (Tabla N° 16).

#### **4.2.4.2.- Arroyo Nueva Esperanza**

Las riberas en la transecta 1 muestran una muy buena calidad; el arroyo tiene tramos con diseño rectilíneo a ligeramente curvado y puede observarse una vegetación arbórea y arbustiva autóctona, aunque un grado de cobertura vegetal menor que en el caso anterior, entre el 50 y 60 %. (Figuras 63, 64 y 72). (Tabla 17)

En la transecta 2 se mantiene en buen estado la masa vegetal en la ribera izquierda, pero en la derecha se desmontó y hay actividades agrícola y caballar. (Figuras 64 y 73). En las transectas 3 y 4, la actividad agrícola se intensifica, en ambas riberas, éstas mantienen una masa vegetal de un ancho variable entre 1 y 4 m; se ensancha el cauce de arroyo por el aporte de otros tres arroyos que nacen en distintas quebradas, (Figuras 65 y 66). En la transecta 5 luego de cruzar el Camino del Perú Norte, el arroyo ingresa en el canal Nueva Esperanza, por lo que las riberas son de mala calidad y el área es periurbana. (Figura 63). (Tabla 17)

Antes de llegar a la transecta 6, vemos que el canal está colmatado, y en parte destruido (Figura 68, 69 y 70). A continuación el arroyo canalizado se junta con el cuarto afluente que cruza el Camino del Perú por abajo del puente. El canal Nueva Esperanza se interrumpe y se produce un salto de unos 20 m. (Figura 71). (Tabla 17)

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1.- CONCLUSIONES

El Objetivo General planteado en la tesis considera que la morfología de las cuencas desde donde desciende el agua pluvial, no permanente en época de lluvias, tiene gradientes de alturas considerables en la ladera Oriental de la Sierra de San Javier y es concentrada por quebradas en arroyos que descienden distribuidos en el área que interactúa con la urbanización. Es así que se han identificado los Arroyos Taficillo, Nueva Esperanza, Cochuchal, El Tala, Tafí, La Cañitas, Los Tarcos, Cazorra, La Quebrada N° 6 y el Canal Muñecas, en donde hubo monte con características de dos áreas solapadas; el piedemonte y la llanura Chaqueña.

En la actualidad en ese entorno se pudieron observar daños de distinta consideración debido a los *riesgos naturales* existentes en la zona, especialmente entre en arroyo Taficillo al Norte y el Rio Tafí, al Sur; incluyendo los desbordes del A° Cainzo, el cual se encausa por la Quebrada 6 ingresa desde el Oeste a la urbanización Lomas de Tafí. El área afectada incluye el piedemonte donde se encuentra la ciudad de Tafí Viejo y al Sur de ésta, la urbanización Lomas de Tafí.

El *riesgo natural* mencionado está sensiblemente incrementado por la interferencia con los *riesgos antropogénicos*, por acción u omisión expresadas a lo largo de este trabajo citando a distintos autores.

En cuanto al riesgo asociado a la construcción del mega emprendimiento habitacional hay una alteración añadida por el incremento de la rapidez de escurrimiento del volumen de agua pluvial debido a las siguientes causas:

- 1.- Impermeabilización de más del 50 % de las 400 Ha que ocupa el predio.
- 2.- Incremento de la velocidad de escurrimiento, que se inicia en los cordones cunetas de las calzadas.
- 3.- Sistema de desagüe secundario: construidos por conductos subterráneos, llegando hasta 1,80 m de diámetro, en el caso de los colectores del sistema.

4.- By pass por canales de gran envergadura, que atraviesan la obra y descargan en el Canal Norte (Figura 19).

### **5.1.1.- Obras de Mitigación Realizadas y Recomendadas en el Predio**

Pozos de drenaje: son cuatro y están ubicados en el Barrio 600 Viviendas, el cual se inicio unos 3 años antes, que el mega emprendimiento, ya que esta obras se realizaron por etapas en función de los flujo de dinero del gobierno nacional. Estos pozos se escavaron hasta una profundidad de 10 m. El proyecto preveía que se llenarían con agua pluvial a través de imbornales cercanos a cada uno, ubicados en el cordón cuneta. Estos pozos se construyeron de acuerdo a los pliegos de condiciones generales y particulares elaborados por el IPV y DU, de acuerdo a los requisitos establecidos en la factibilidad emitida por la SAT y aprobados por la Dirección Provincial de Agua. Entre estos requisitos no fue previsto el aforado de los pozos, ni la prueba de funcionamiento y cuando llueve, el agua acumulada en el pozo infiltra muy lentamente debido a las características del suelo tales como heterogeneidad y baja permeabilidad, dadas por su alto contenido de limo y arcilla y materia orgánica. Esta experiencia confirma la caracterización de suelo que realiza (Papetti Villada 1978 y Sal 1996).

Lagunas de retención: estas obras fueron realizadas para retardar el escurrimiento de agua al Canal Norte, alojando en tres lagunas el volumen contenido en las mismas, vertiendo éstas a una calzada aguas abajo durante una hora y media para evitar el desborde del canal mencionado, el que ya funcionaba al límite de su capacidad, luego de una tormenta importante, antes de realizar la obra (Ferrari R. 2005). Este retardo tiene un efecto neutro, porque las aguas de la laguna llegan al canal Norte a las dos horas cuando el caudal de la cuenca está en pleno ascenso, como muestra el Gráfico de Caudales (Figura 18).

Esto demuestra que las lagunas de retención no cumplen el propósito para las que fueron construidas: evitar el desborde del Canal Norte.

En cuanto a los *Objetivos Específicos* expresados en el capítulo 1 de esta tesis con sendas hipótesis planteadas en cada caso, éstas fueron confirmadas:

Se pudo verificar por medio de ortofotos y fotos, tomadas durante el trabajo de campo, la correcta relación entre el área en la que se construyó la urbanización y el área de influencia por medio de la vinculación que tiene la morfología del relieve y la red de Ríos y Arroyos que nacen en la ladera, atraviesan el predio y zonas aledañas y descargan sus agua en el Canal Norte.

Se hizo un análisis en función de datos retrospectivos de días de máximos volúmenes de lluvias caídos de cada mes durante el período de 50 años, (1963 – 2013), datos provistos por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, EEAO.

En cuanto a la capacidad de infiltración del suelo, a la profundidad de 10 m, se confirmó la información aportada por la morfogénesis y sus características. Por otra parte, se hizo un contraste con perfiles estratigráficos de 44 pozos perforados para la provisión de agua potable caracterizados por Sal (1988) en su trabajo “Características Hidrogeológicas de la Ciudad de Tafí Viejo y sus Alrededores”. De estos se eligieron cinco que están próximos a la línea que pasa de Norte a Sur por el centro del predio de Lomas de Tafí con coordenadas cartográficas son:  $26^{\circ} 47'$  -  $26^{\circ} 43'$  de latitud sur y  $65^{\circ} 14'$ , de longitud oeste de Greenwich.

## **5.2.- RECOMENDACIONES**

El estado de situación expresada en las CONCLUSIONES, las que están determinadas por la combinación de Riesgos Naturales y Riesgos Antrópicos, se puede definir como un proceso sistemático que produce una degradación del ecosistema progresivo y que si no se toman medidas de control atinadas, puede convertirse en un pasivo ambiental irreversible.

Hay impactos notables como la pérdida del bosque, que no tienen una solución factible en base a medidas de restitución o restauración de los mismos, porque implicaría expropiar las fincas colindantes con la Yunga hacia el Este para recuperar dicho ecosistema. Esta medida afectaría a la sociedad, el sistema productivo agropecuario de la provincia y al estado, produciendo un alto impacto de distinta naturaleza, entre otros, el costo social, por la precarización, (pérdida de empleo, desarraigo); tiempo de recuperación del ecosistema, (período de restauración de la estructura productiva de la provincia); recursos económicos, (costo de sustitución, inversiones en nuevas infraestructuras, acondicionamiento de suelos e instalaciones y puesta en marcha del nuevo sistema); y por último el político.

Esta situación pone de manifiesto el necesario e ineludible ordenamiento territorial, por medio de una planificación regional y provincial en donde coexistan la naturaleza, con sus paisajes, el desarrollo urbano y la actividad productiva, que realizan sus habitantes, evitando de esta manera la *interferencia*, que se refiere al solapamiento de la actividad humana con la naturaleza.

### **5.2.1.- Medidas Conservacionistas a Corto y Mediano Plazo**

Hasta estos días se está actuando en las consecuencias esto es, transportar grandes caudales de agua en pocos episodios anuales de 12 horas cada uno con las consecuencias conocidas referidas a la seguridad, al ambiente y en donde algunos habitantes ribereños pierden sus bienes. No resulta práctico ni conveniente desde el punto de vista social, y económico la construcción de una infraestructura de gran envergadura en canales para contener un proceso que es progresivo.

Estos grandes canales tienen otros aspectos negativos, que se enumeran a continuación:

- 1.- Son utilizados como vaciaderos circunstanciales, para arrojar todo tipo de residuos. (especialmente RSU (urbanos) y RCD (Residuos de Construcción y Demolición).
- 2.- Algunas citrícolas arrojan sus efluentes a partir del viernes a las 18,00 hs, durante el fin de semana, hasta la madrugada del lunes. Estos derrames producen olores pestilentes no solo para los habitantes de las riberas sino también para los habitantes de barrios cercanos, dependiendo de la dirección del viento.
- 3.- Pueden ser causantes de accidentes de distinta consideración, con o sin agua.
- 4.- No están bien mantenidos por el estado provincial ni los municipios.
- 5.- El mantenimiento es costoso porque su limpieza requiere el uso de maquinaria de gran envergadura.

Como medida de conservación se recomienda, en primer lugar, actuar en las causas que generan los riesgos señalados en el CAPÍTULO 3 y 4. Estas causas son, la falta de contención y control de caudales considerables de agua que descienden con gran capacidad de erosión y transporte de masa lo que provoca daños en fincas, calzadas, en la ciudad de Tafi Viejo y en canales construidos para el transporte de las mismas, pero son desbordados y destruidos, porque no pueden contener la velocidad y volumen de las mismas. En este trabajo se considera atinado realizar obras de contención y control las que consisten en humedales al pie de las quebradas en donde se alojan los arroyos más caudalosos, como el Taficillo, el Nueva Esperanza, el A° Tafi, así como a algunos de sus afluentes, con el objeto de disipar la energía que traen el agua de los mismos.

El humedal tiene además la propiedad de retener el agua en superficie y su posterior infiltración, lo que produciría la recarga de las napas, diluiría las sales de sus aguas para su posterior extracción y utilización a través de los pozos de bombeo existentes. Por otro lado el humedal es un activo ambiental estratégico en donde se genera un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.



**Bibliografía:**

- Alderete M. 1998. Unidades Fisiográficas. En Gianfrancisco, M.; Puchulo, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. Geología de Tucumán, 2º edición, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Aguirre Murúa, G. 2005. La Valoración de los Riesgos en la Ordenación del Territorio. Metodología Práctica. Boletín de la AGE, N° 40.pp.393-405. Madrid. España.
- Atlas Tucumán 100K. 2014. Cartografía, Topografía y de Imagen. Escala 1:100.000 y Ortofotos de San Miguel de Tucumán, Escala 1:20.000. IGN: Instituto Geográfico Nacional, CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales, UNT: Universidad Nacional de Tucumán. Republica Argentina.
- Azevedo Neto, J. M. y Acosta Álvarez, G. Manual de Hidráulica. Segunda Edición.
- Barton, N.; Lien, R. y Lunde, J. (1974) "Engineering Classification of Tock Masses for design of Tunnel Support", Rock Mechanics, Vol. 6, N° 4, p. 189 – 236.
- Barton, N. (1988) "Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using the Q- System".
- Bergsma, E. (1983) Rainfall erosion surveys for conservation planning. ITC journal (2): 166-174.
- Bergsma, E.; Charman, P.; Gibbons, F.; Hurni, H.; Moldenhauer, W. C. and Panichapong, S. (1996). Terminology for soil Science, Sub Commission C, Soil and Water Conservation, 313 p. The Netherlands.
- Bieniawski, Z. T. (1973) "Engineering Classification of Jointed Rock Masses", Transations of the South African Institution of Civil Engineering.
- Bieniawski, Z. T. (1974) "Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses and Applications in Tunneling Proceeding". Third International Congress on Rock Mechanics.
- Bonaparte, J. F. & Bobobnicov, J. (1974) Algunos fósiles pleistocénicos de la provincia de Tucumán, Municipalidad de Tafi Viejo, (Inédito) pp. 35. Tucumán.
- Bonaparte, J. F.; Salfity, J. A.; Bossi, G. E. y Powell, J. E. 1977. Hallazgo de dinosaurios y aves cretácicas en la Formación Lecho de El Brete (Salta). Próximo al límite con Tucumán.
- Bossi, G. E. 1969. Geología y Estratigrafía del Sector sur del Valle de Choromoro.
- Busnelli, J. 2012. Mapa de amenaza de remoción de masa de la provincia de Tucumán según diferentes escenarios de cambio climático. Acta Geológica Lilloana 24 (1-2):4-33.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, A. L. (1976).
- Carrizo, G. L. (1996). Compilación de Legislación Ambiental en el NOA. Pp191. S. M. de Tucumán.
- Castany, M. 1971. Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas. Ediciones Omega, Barcelona.
- Castany, M. 1982. Hidrogeología y Aguas Subterráneas. N° 8

- Chanson, H. 2002. Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos. MC Graw Hill.
- Conesa Fernández, Vitora V. 1997. Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental.
- Domínguez, E y H.R: Fernández. 1998 Calidad de los Ríos de la cuenca Salí, (Tucumán Argentina).
- Duran, D. (1998). La Argentina Ambiental (Introducción). Pp. 7 – 8. Ed-LUGAR. Buenos Aires.
- Facorro Ruiz, L. A. Hidráulica y Maquinas Hidráulicas. Decima Edición. 2009.
- Fernández, D. S., Lutz, M. A., García, M. G., Hidalgo, M., Pereyra, F. y Tchilinguirian, P. 2008. Carta de Líneas de Base Ambiental. San Miguel de Tucumán.
- Fernández, R. I. Suayter L. E. (2005). Glosario Geoambiental. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Instituto de Riesgos Geológicos y Sistematización Territorial. Tucumán. Argentina.
- Fernández, R. I. (2001). Bases para la Gestión Ambiental de un Tramo del Río Salí, entre Canal Norte y Municipio Las Talitas, provincia de Tucumán. Argentina
- Fernández R. I. (2007). Valoración de Riesgos Naturales y Tecnológicos. CEE.
- Fernández, R.I. (2005). Aportes al mapa de riesgo Geoambiental de la Provincia de Tucumán. República Argentina. Sub. Rec. Hídricos y Pol. Ambiental. Gob. Provincia. de Tucumán pp.70.S.M. de Tucumán.
- 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 – FCNIML. (UNT): 20 – 44. Tucumán. Argentina.
- Fernández, R. I. (2015). Propuesta de gestión ambiental para la cuenca de Río Muerto, Departamento Tafí Viejo y Yerba Buena, Provincia de Tucumán. Republica Argentina. IX Jornada Interdisciplinaria de Estudios Agrarios y Agroindustriales 2 al 6 – 11 (pub. CD). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires. (UBA).
- Fernández, R. I. & Lanza Colombres, J. (1983) La influencia de Fallas Activas, como Factor de Riesgo en el diseño y construcción de caminos de montaña en la provincia de Tucumán.
- Fernández, R. I. (2011). Mapa Preliminar de Riesgo Ambiental de la Ciudad de Tafí Viejo. Provincia de Tucumán. República Argentina. Pub. CD.VI I Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales CIEA, Facultad de Ciencias Económicas, UBA. Buenos Aires .Argentina.
- Ferrari R. R. y otros. 2006. EsIA Emprendimiento Habitacional Lomas de Tafí, Tafí Viejo, Tucumán. Certificado de Aptitud Ambiental por Resolución N° 39/2006 de la Dirección de Medio Ambiente de Tucumán. Tucumán. Argentina.

- Gamundi, C.; Rigazio, G. y Trinca, C. (1993) Evaluación de depósitos limo-arcillosos en el Departamento Tafi Viejo, Provincia de Tucumán. Acta XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza. Argentina.
- García, J. R. (1988) Provincia de Tucumán. En "El Deterioro del Ambiente en la Argentina" pp. 172. Pub. Espec. PROSA-FECIC. Buenos Aires.
- Gómez Orea, Domingo 1999. Evaluación de Impacto Ambiental. Ed. Agrícola Española, Madrid.
- González del Tanago, M.; García 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*, N° 1-12.Madrid.España.
- Guevara, M.E. 1986. Teoría del Flujo Libre. Universidad de Cauca. Colombia.
- Guido, E. Y. y Sayago, J. M. (1987) Determinación del área incorporada al cultivo (1973 – 1981) en la provincia de Tucumán (Argentina), mediante interpretación de imágenes Landsat. 10 Congreso Geológica Argentino. San Miguel de Tucumán.
- Halloy, S.; González, J. A. y Grau, A. (1994). Importancia de la vegetación en la estabilidad de los suelos y rutas en la Sierra de San Javier. *Misceláneas*, 99: 1-11.
- INDEC. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. 2010.
- INDEC. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. 2001.
- Iriondo, M. H. Introducción a la Geología. Tercera Edición. 2006.
- Laymond, P. (2009). Las inundaciones en la cuenca del río Salí. En Sayago, J. M. y Collantes, M. M. (eds.) *Geomorfología y Cambio Climático*, INGEMA (Instituto de Geociencias y Medio Ambiente), Capítulo 1: 9-24. MAGMA Ediciones, S. M. de Tucumán.
- Minetti J. L. (1973). Características de las precipitaciones en San Miguel de Tucumán.
- Minetti, J. (1973). Régimen Pluviométrico en la Provincia de Tucumán. *Miscelánea 48. I Parte.- Cartas Isoyetas del período 1916 – 1971*. EEAOC, Tucumán.
- Minetti, J. (1973). Régimen Pluviométrico en la Provincia de Tucumán. *Miscelánea 49. II Parte.- Características de las precipitaciones en San Miguel de Tucumán*. EEAOC, Tucumán.
- Minetti, J. (1975). Régimen Pluviométrico en la Provincia de Tucumán. *Miscelánea 57. III Parte.- Análisis del régimen pluviométrico de la Provincia de Tucumán*. EEAOC, Tucumán.
- Minetti, J. (1975) *Miscelánea N° 86*. Facultad de Agronomía y Zootecnia UNT.
- Mon, R.; Eremchuk, J.E. y Minetti J. L. (2003). Características geológicas y geotécnicas de la vertiente oriental andina en la provincia de Tucumán. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*.

- Mon, R. y Mansilla, N. y Mansilla, N. 1998. Estructura Geológica del Territorio Tucumano. En: Gianfrancisco, M.; Puchulu, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. (eds.) Geología de Tucumán. Pub. Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Mon, R. y Salfity, J 1995. Tectonic Evolution of the Andes of Northern Argentina. En: Tankart, A. Suarez Soruco, R. y Welsinki, D. (eds.), Petroleum basins of South American. AAPG Memoris.
- Mon, R. y Suayter, L. 1973. Geología de la Sierra de San Javier (Provincia de Tucumán, República Argentina).
- Morales, J. M.; Sirombra, M. G. & A.D. Brown. 1995. Riqueza de árboles en las Yungas argentinas.
- Moreno, J. P. 1974. Un Problema de Geología Aplicada, las inundaciones y la erosión hídrica en Tafí Viejo, Tucumán. Misceláneas 50. Fundación Miguel Lillo.
- Moyano, S.; Puchulu, M. E.; Fernández, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; y Nieva, S. (eds). Geología de Tucumán 2014. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Munné, A.; Solá, C. & Prat, N. (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.; Solá, C.; Bonada, N.; & Rieradevall, M. (2002) A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: A QBR index. *Aquatic Conservation Marine Freshwater. Ecosystems*. 13: 147–163. USA.
- Netto J. M. y Álvarez G. A. 1992. Manual de Hidráulica.
- Norderson, T. J. 1968. Preparación de Mapas con Coordenadas de Precipitaciones, Desagües y Evaporación. (WMO – IHD reporte N° 6.
- Pereyra, F.; Lutz, M.; Valladares, H. y Fernández, D. (2002). Carta de Peligrosidad Geológica 2766 – II Tucumán. Subsecretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR – IGRM, Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, 90 p. Buenos Aires.
- Porto, J. C. 1970. Geología de las Cumbres del Taficillo, Sierra de San Javier Septentriona. Provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* 11(2): 27 – 58. Tucumán
- Prat, M. C. y Sayago, J. M. (2006). Riesgos ambientales y desafíos en el Gran San Miguel de Tucumán, Noroeste de Argentina. En: Aquino, A. L.; Collantes, M. y Mon, R. (eds.). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. S. M. de Tucumán.
- Puchulu, M. E. y Fernández, D. 2006. Los suelos del sudeste tucumano y su relación con la geomorfología e hidrología regional. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

- Puchulu, M. E.; Sesma, P.; Guido, E. (2010). Geología de la Ladera oriental de la Sierra de San Javier, Soporte físico para la gestión territorial. En: Ecología de una interface natural – urbana. La Sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán.
- Puchulu, M. E. y Fernández, D. S. (2014). Características y Distribución Espacial de los Suelos de la Provincia de Tucumán. En Moyano, S. Puchulu, M. E.; Fernandez, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; y Nieva, S. (eds.). Geología de Tucumán 2014. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Ruiz Huidobro, O. 1966. Contribución a la geología de las Cumbres Calchaquíes y la Sierra del Aconquija (Tucumán Catamarca).
- Schutz, C. R. y Okun, D. 1990. Tratamiento de las Aguas Superficiales para países en desarrollo. Primera edición.
- Sayago, J.; Collantes, M. y Toledo, M. 1998. Geomorfología. En Gianfrancisco, M.; Puchulo, M. E.; Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. Geología de Tucumán, 2ª edición, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Sayago, J. M. (1992) El deterioro del Ambiente en el Noroeste Argentino.
- Sayago, J. M.; Collantes, M. & Toledo, M. (1998). Geomorfología. En Geología de Tucumán. Publicación Especial. Colegio de Graduados, Ciencias Geológicas de Tucumán. Gianfrancisco, M.; Puchulu, M. E.; Durango, J. de Cabrera y Aceñolaza G. F. (Eds.). San Miguel de Tucumán.
- Sayago, J. M.; Collantes, M. M. (2006). Cambio climático y riesgos ambientales en la fachada oriental de los cordones pre andinos del noroeste argentino.
- Sayago, J. M. y Toledo, M. (2000). Rainfall increase, land use and morphodynamic changes in northwestern Argentina as indicators of the effects of future climatic changes. In: Slaymaker, O. (eds.) Geomorphology and human activity: their role in global Environmental Changes, Chapter 8: 185-195. England.
- 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*, Nº 3: IRGYST-FCN IML (UNT):20-44. Tucumán. Argentina.
- 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)*, pp.156.
- Sokolov, A.; Chapman T. C.; Heras, Rafael. 1982. Instituto de Hidrología de España/UNESCO.

- Suayter, L. E. (1997) Zonificación general del riesgo geológico y geotécnico en la provincia de Tucumán. Actas Asoc. Arg. Apl. Ing. Buenos Aires.
- Suayter, L. E.; Fernández, R. I. & Moreno, J. P. (1998) Río Chirimayo: Una cuenca sin sistematización y sin prácticas ecológicas. Provincia de Tucumán. Argentina. I Congreso Internacional Sobre Patrimonio Histórico e Identidad Cultural. (1998). UNSTA, San Miguel de Tucumán.
- Suayter, L. E. (1991a) Mapa de Riesgo Geotécnico y Geológico. Dirección Provincial de Minería. Gobierno de la provincia de Tucumán. (Inédito). San Miguel de Tucumán.
- Suayter, L. E. (1991b) Mapa Geotécnico de la Provincia de Tucumán. Actas II Jornadas de Geología Aplicada a la Ingeniería. Córdoba, Argentina.
- Thornthwaite, C. W. 1955. Instrucciones y Tablas para Determinar la Evapotranspiración Potencial y el Balance Hídrico.
- Toledo, M. A.; Fernández, R. I. y Sayago, J. M. (2001). El Embalse Río Hondo como geo- indicador del creciente deterioro ambiental de sus cuencas de aporte. 3<sup>o</sup> Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación de Territorio del Área del Mercosur. Mar del Plata. Argentina. Formato digital.
- Toselli, A. J., Godeas, M. y Rossi, J. 1975. Contribución al conocimiento petrográfico del basamento esquistoso de la Sierra de San Javier. Tucumán. Revista de Mineralogía, Petrología y Sedimentología.
- Toselli, A. J. y Rossi de Toselli, J. N. 1984. Metamorfismo de las Cumbres Calchaquíes II: Petrología de basamento esquistoso entre La Angostura y Tafí del Valle, Tucumán.
- Toledo, M. A. 1992. Geomorfología de las subcuencas Tafí y Cañitas (Sierra de San Javier Septentrionales) y su aplicación en corrección de torrentes. Dpto. Tafí Viejo – Prov. de Tucumán.
- Tricart, J. 1978. Propuesta para una Clasificación Climática Basada en la Fisiografía.
- Turner, J. C. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacentes. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 41: 163 – 196.
- Turner J. C. y Mon, R. 1979. Cordillera Oriental. En: Turner J. C. Geología Argentina. Publicación Especial Academia Nacional de Ciencias Córdoba.
- Urdaneta, A.; Gamundi, C.; Rigazio, G. & Girbau, M. (1994) Explotaciones de limo-arcilla. Reordenamiento y preservación del entorno ambiental. Las Talitas Dpto. Tafí Viejo. Provincia de Tucumán. Argentina. Acta IV Congreso El NOA y su Medioambiente. S. F. del Valle de Catamarca.
- Vargas Graña, E. (1995 – 1997) Informe sobre el Destino Final de Residuos Patogénicos de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Informe inédito. Dirección General de Saneamiento Básico (SIPROSA). San Miguel de Tucumán.

- Vargas Graña, E. & Fernández R. I. (1999) Prospección y aprovechamiento agroindustrial de nuevas áreas para emplazamiento de rellenos sanitarios en la provincia de Tucumán. Primeras Jornadas interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Fac. Ccias. Económicas, UBA, Buenos Aires. Argentina
- Zuccardi, R. B. & Fadda, G. (1975). Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán.
- Zuccardi, R. B.; García, J. R.; Molina, C.; Cáceres, M.; Giménez, D.; Sarzano, G A. (1988). La expansión de la frontera agropecuaria y los impactos sobre el ecosistema de la provincia de Tucumán.

### **Trabajos Consultados**

- DOT – (IPDU), (1994) Directrices para la ordenación de territorio de la provincia de Tucumán. Public. Espec. pp. 186. Convenio entre el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (España), Gobierno de la provincia de Tucumán y Universidad Nacional de Tucumán (UTN) S. M. de Tucumán. Gobierno de la Provincia de Tucumán. 2009.
- Fernández Ortiz, A. Geología de la Cuenca Río Muerto. Provincia de Tucumán. 1978. Gobierno de la Provincia de Tucumán. 2009.
- Lineamientos Estratégicos para el Desarrollo de la Tucumán 2007 – 2016 – Documento Preliminar. Tucumán Argentina.
- Papetti Villada, L. E. Geología, Geomorfología e Hidrología de la Subcuenca de Cainzo - Las Piedras. Sierra de San Javier. 1978. Gobierno de la Provincia de Tucumán. 2009.
- Sal, T. Características Hidrogeológicas de la Ciudad de Tafi Viejo y sus alrededores. 1996.

### **Legislación Ambiental Consultada**

Constitución Nacional 1994. Art. 41, 43 y 124.

Ley General del Ambiente N° 25675/2002.

Constitución Provincial. Art. 41.

Ley General de Ambiente N° 6253

Ley provincial N° 7139 y su modificatoria 7140: Agua.

Ley provincial N° 6290: Suelos.

Ley provincial N° 8304/2009: Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo.

Ley provincial N° 7696: Bienes en zonas Inundables.

**Páginas Web Consultadas**

[https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo\\_ambienta](https://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo_ambienta).

[www.cotalyd.com/home.html](http://www.cotalyd.com/home.html)

[www.es.wikipedia.org/wiki/Departamento\\_Tafi\\_Viejo](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Departamento_Tafi_Viejo)

[www.geofisica.cl/Meteorol.htm](http://www.geofisica.cl/Meteorol.htm)

### SIGLAS

DAMI: Programa de Desarrollo del Área Metropolitana del Interior.

DCTyMA: Dirección de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

DPA: Dirección Provincial del Agua.

DOT: Directrices para la Ordenación del Territorio de la Provincia de Tucumán.

DOT-(IPDU), (1994) Directrices para la ordenación de territorio de la provincia de Tucumán. Publicación Espec. pp. 186. *Convenio entre Ministerio de Obras Públicas y Transporte (España), Gobierno de La Provincia de Tucumán y Universidad Nacional de Tucumán (UNT) S.M. de Tucumán. Argentina.*

DRM (SEMA): Dirección de Recursos Mineros. Secretaria de Estado de Medio Ambiente.

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental.

EsiA: Estudio de Impacto Ambiental.

EDAMET: Estudio de Diagnostico de Área Metropolitana de Tucumán.

EEAOC: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombre.

ENARGAS: Ente Nacional Regulador del Gas.

ENOHSa: Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento.

EPRET: Ente Provincial Regulador de Energía de Tucumán.

ERSACT: Ente Regulador del Servicio de Agua y Cloacas de Tucumán.

ERSEPT: Ente Único de Control y Regulación de los Servicios Públicos de la Provincia de Tucumán.

EsiA: Estudio de Impacto Ambiental

GSMT: (Gran San Miguel de Tucumán). Área conformada, como resultado del crecimiento espacial y poblacional que comprende a localidades perteneciente a 5 departamentos de la provincia, no todos de manera completa sino algún municipio y/o jurisdicciones menores de gobierno local. Estos departamentos son: Capital, Lules, Cruz Alta, Tafi Viejo y Yerba Buena.

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censo

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IPV y DU: Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano.

IRAM: Instituto Nacional de Normalización, (ex, Instituto de Racionalización de Materiales)

N/A: No aplicable

OMM: La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es un organismo especializado de las Naciones Unidas. Es su portavoz autorizado acerca del estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con los océanos, el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos.

ONU: Organización de Naciones Unidas.

RSU: Residuos Sólidos Urbanos.

SAT: Sociedad Agua del Tucumán

SEGEMAR: Servicio Geológico Minero Argentino.

SEMA: Secretaria de Estado de Medio Ambiente.

UTN – FRT: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán.

### Glosario Geológico - Ambiental

**Acuífero:** zona subterránea impregnada de agua. En ocasiones aflora al exterior y da lugar a manantiales.

**Acuicludo:** es una formación geológica poco permeable, que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite, por lo tanto no es posible su explotación. Generalmente los acuicludos son depósitos subterráneos de arcilla.

**Agua meteórica:** es el agua que penetra por arriba en las rocas; p. ej., lluvia, rocío, pedrisco, nieve, y también el agua de los ríos y corrientes.

**Abiótico** –ca: *adj.* Sin vida; se aplica a cada uno de los **factores** físico-químicos de un ecosistema.

**Algas:** llamadas plantas inferiores (en contraposición a las plantas superiores o plantas terrestres), su definición significa que son eucariotas, no plantas terrestres (ni animales ni hongos), con capacidad de realizar fotosíntesis y obtener el carbono orgánico con la energía de la luz del sol. Pueden ser unicelulares o multicelulares, y casi siempre viven en un medio acuático.

**Alóctono**-na: *adj.* *Antónimo: autóctono.* Que tiene su origen en un lugar diferente a aquel en que vive o se encuentra: rocas *alóctonas*; *especies animales alóctonas*.

**Aluvión:** Sedimentos arrastrados por una corriente de agua, que quedan depositados en un terreno.

**Aluvial:** *adj.* Se aplica al terreno que se ha creado por aluvión de materiales arrastrados por las corrientes de agua.

**Ambiente ripario:** Vegetación típica de las riberas de ríos y arroyos. Jalonando los cursos de agua, esta vegetación da lugar a formaciones lineales de interés paisajístico y climático. Transversalmente se distinguen zonas de vegetación que van desde las plantas parcialmente sumergidas, hasta las formaciones arbóreas y arbustivas del bosque en galería.

**Anticlinal:** es un pliegue de la corteza terrestre en forma de lomo cuyos flancos se inclinan en sentidos opuestos.

**Arcilla:** *f.* MINERAL. y PETROG. Fracción de un suelo o roca compuesta por partículas inferiores a 0,002 mm. MINERAL. Los filosilicatos que componen las arcillas pertenecen básicamente a los grupos del caolín, montmorillonita, mica arcillosa y clorita. De grano muy fino (< 0,002 mm) y alta plasticidad. (V. edafología y suelo.)

**Arenisca:** roca sedimentaria formada por pequeños granos de arena compactados, cuya dureza depende del tamaño de los granos que la componen. Cuanto más pequeño es el grano de arena, mayor dureza y resistencia a la erosión tiene la arenisca.

**Aspecto ambiental:** elementos de las actividades, producto o servicio de una organización, (actividades antrópicas), que puede interactuar con el ambiente.

**Avenamiento:** sin. Drenaje, saneamiento, desagüe.

**Avulsión:** Sin. Abrasión, erosión. *f.* Erosión rápida o repentina, ocasionada por inundaciones. Geomorfología: abandono de un cauce viejo, de un río y creación de uno nuevo. Diversificación de cauces, etc. Se origina por tormentas. Derecho: pérdida repentina de la tierra por acción del agua.

**Basamento Paleozoico:** Las rocas más antiguas de la región, constituyen el "Basamento Metamórfico" o "Cristalino" y son los testigos de una historia de más de 2000 millones de años de antigüedad, pues su origen se remonta al Proterozoico temprano.

**Biosfera:** Capa constituida por agua, tierra y una masa delgada de aire, en la cual se desarrollan los seres vivos; comprende desde unos 10 km de altitud en la atmósfera hasta los fondos oceánicos. En la biosfera, la vida depende de la energía del Sol y de la circulación del calor y los nutrientes esenciales."

**Biótico/ca:** *adj.* BIOL. Característico de los seres vivos o que pertenece a ellos. Perteneciente o relativo a la biota.

**Cauce:** Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, un arroyo o una corriente de agua.

**Cono de deyección:** también llamado *cono* o abanico aluvial, es una forma de modelado fluvial que en planta se caracterizan por tener una silueta cónica o en abanico y una suave pendiente (entre 1 y 10 grados, dependiendo de la pendiente por la que se desliza). Este depósito de aluviones se generan cuando entran los torrentes a los valles, en las zonas de pie de monte, donde la pendiente de las laderas enlaza con una zona llana.

**Cono aluvial:** Se produce cuando la velocidad de la corriente fluvial disminuye porque la pendiente pierde inclinación, el río deposita su carga, así se producen cuando el río procedente de una zona elevada llega a unas tierras bajas. Tiene forma triangular, con el vértice superior en la boca del valle y el lado opuesto apoyado en las tierras bajas.

**Cuenca:** Sin. Cavidad. Extensión de terreno más ancha y menos profunda que un valle, cuyas aguas se vierten en un río, en un lago o en el mar.

**Cuenca:** Parte cóncava de una superficie.

**Cuesta:** Terreno en pendiente; especialmente el tramo inclinado de una calle, carretera o camino.

**Damero:** Tablero del juego de las damas. Puede referirse a urbanizaciones mal planificadas.

**Deforestar:** Eliminar o destruir el bosque y cobertura vegetal por causas naturales o por la actuación del hombre.

**Denudar:** (el suelo): Quitar, lo que en estado natural recubre a un suelo.

**Desecación:** Téc.: Eliminación de la humedad. Geología: acción y resultado de desecar un suelo que estaba húmedo

**Detritos:** *s. m.* Resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas. En geología, es el llamado material suelto o sedimento de rocas. Son los productos de la erosión, el transporte, la meteorización química y física y de los procesos diagenéticos (procesos geológicos externos). El material detrítico se acumula en zonas de topografía deprimida llamadas cuencas sedimentarias.

**Deyección:** Conjunto de materias arrojadas por un volcán o desprendidas de una montaña por disgregación de las rocas.

**Diaclasas:** *s. f.* Grieta o hendidura de una roca causada por los esfuerzos tangenciales de la superficie terrestre.

**Disturbado:** No turbado. Amansar, aplacar. Geol. No alterado.

**Drenaje:** en las tierras llanas, la densidad del drenaje es débil y la pérdida de agua, como consecuencia de la infiltración y de la evaporación, se ve favorecida por la suavidad del paisaje"

**Ecotono:** *m.* MED. AMB. Zona fronteriza entre dos medios naturales diferentes.

**Eluviación:** en el proceso de translocación, en una primera etapa se produce la **eluviación:** es la movilización, transporte y pérdida de materiales (se presenta en los horizontes superiores, sobre todo en los horizontes E, pero también en los A). La segunda etapa es la **iluviación**.

**Episodio:** Hecho o suceso que junto con otros, con los que está relacionado, forma un todo o un conjunto.

**Eón:** *s. m.* División principal del tiempo geológico.

**Epipedón mólico:** Son horizontes formados en la superficie del suelo y, por tanto, o son superficiales o se encuentran a pequeña profundidad y en el cual, la mayor parte de la estructura de la roca ha sido destruida. Está más o menos oscurecido por la materia orgánica.

**Erodable:** suelo sensible a la erosión.

**Esquistosidad:** Propiedad que presentan algunas rocas de romperse a lo largo de superficies aproximadamente paralelas. Tiene un origen tectónico.

**Estribaciones:** *s. f.* Conjunto de montañas laterales que derivan de una cordillera.

**Eutrofización:** Acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino o en un lago, laguna, embalse, etc., que causa la proliferación de ciertas algas.

**Facies:** Conjunto de características de una roca o terreno consideradas desde el punto de vista de su formación.

**Factores ambientales:** El ambiente y los seres vivos están en una mutua relación: el ambiente influye sobre los seres vivos y éstos influyen sobre el ambiente y sobre otros seres vivos. La forma en que ambos se influyen o condicionan se ha llegado a denominar como factores o condicionantes ambientales o ecológicos. La influencia del ambiente sobre los seres vivos es la suma de todos y cada uno de los factores ambientales. Estos factores determinan las adaptaciones, la gran variedad de especies de plantas y animales, y la distribución de los seres vivos sobre la Tierra.

**Fanglomerados:** Depositiones en forma de abanico de material rocoso indiferenciando características de regiones secas, son coladas de barro similares a las rañas (ver definición) que contienen materiales de todos los tamaños

en un completo desorden; deben su origen a lluvias muy fuertes que arrastran material de meteorización embebido de agua.

**Filita:** (Roca núcleo de la Sierra de San Javier), es un roca que representa una gradación en el grado de metamorfismo entre la pizarra y el esquisto. Sus minerales planares son más grandes que los de la pizarra, pero no lo bastante como para ser fácilmente identificables a simple vista. Aunque la filita parece similar a la pizarra, puede distinguirse con facilidad por su brillo satinado y su superficie ondulada. La filita, normalmente, muestra pizarrosidad y está compuesta fundamentalmente por cristales muy finos de moscovita, clorita o ambas.

**Fisiografía:** Geografía física. GEOL. Ciencia que estudia el relieve terrestre. La fisiografía está definida como la descripción de la naturaleza a partir del estudio del relieve y la litosfera, en conjunto con el estudio de la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera.

**Fluvial:** de los ríos o que tiene relación con ellos.

**Fluvio:** curso de agua natural, usualmente, agua dulce.

**Fósil:** vestigio, impresión o molde de una planta o animal preservado en una roca; se origina a lo largo de millones de años en los que se forman las rocas que contienen los restos mediante la acumulación de sedimentos en las cuencas de mares o lagos: *los fósiles pueden consistir en dinosaurios o en minúsculos restos de polen y bacterias.*

**Friable:** *adj.* Que se desmenuza fácilmente.

**Gaviones:** defensas que se coloca en un borde localizado, que se quiere proteger de la erosión, del cauce de un río, que consisten en una cesta de forma prismática rectangular, realizada con alambre tejido y rellena de piedra. Se colocan a pie de obra desarmados y, una vez en su sitio, se rellenan con piedras del lugar.

**Geoambiental:** La importancia de las ciencias geoambientales tiene mucho que ver en el uso de herramientas para zonificar ambientalmente un territorio.

Las ciencias Geoambientales: como La Geología, La Geomorfología, la Hidrogeología, La Geotecnia, la Edafología son ciencias que integradas con la Geografía y los "Sistemas de Información Geográfica", SIG ayudan a dar valoración a un territorio desde el punto de vista ambiental.

Los componentes como la vegetación, el clima y la fauna son importantes, pero muchas veces pasamos por alto las ciencias Geoambientales ya que nos ayudan a definir elementos como:

**Zonas de riesgo:** Áreas expuestas al Deslizamientos, Remoción en masa, Erosión del suelo, etc.

**Geofísica:** es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Al ser una disciplina experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo terrestre, mareas, terremotos, *tsunamis*, etc.) y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos y fenómenos sísmicos).

Dentro de la geofísica se distinguen dos grandes ramas: La geofísica interna y la geofísica externa.

**Geotécnica:** Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.

**Glacis:** terreno con una ligera pendiente, situado entre una montaña y una llanura y cubierto por una capa de cantos de diversos tamaños que son producto de la erosión.

Glacis de denudación: plano inclinado que trunca el material del basamento geológico y que tiene en superficie depósitos continuos de material dendrítico.. (Fadda, G. 2008)

**Grava:** conjunto de piedras pequeñas de tamaño más o menos uniforme que proceden de la fragmentación y disgregación de rocas. Piedra triturada que se usa para construir caminos y carreteras, para hacer hormigón, etc.

**Halófilo/a:** *adj.* Bot. Plantas que tienen afinidad de vivir en suelos ricos en sales minerales.

**Hidrogeología:** Parte de la geología que estudia el ciclo de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección.

Hidrología: I.- Estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera.

Hidrogeología: Parte de la geología que estudia el ciclo de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección.

Humedal: es una zona de tierras, generalmente planas, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente. Al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

La categoría biológica de humedal comprende zonas de propiedades geológicas diversas:

ciénagas, esteros, marismas, pantanos, turberas, así como las zonas de costa marítima que presentan anegación periódica por el régimen de mareas (manglares). Otro términos: s. m. Ecosistema que presenta superficies cubiertas de agua, permanentes o temporales, dulce o salada: en los humedales de nuestra geografía se concentra gran cantidad de aves acuáticas y migratorias durante el invierno.

Iluviación: es el proceso de acumulación en un horizonte del **suelo** de elementos procedentes de otro. La mayoría de las veces, la **iluviación** se debe al descenso de materias del horizonte A al horizonte B. En otros casos existe una migración ascendente o bien, si se trata de pendientes, oblicuas.

Infrayacente: Las rocas infrayacentes pueden haber sido erosionadas, plegadas o incluso metamorizadas, antes de que se vuelva a producir la sedimentación, originando un proceso de deposición con discordancias para los estratos superiores.

Isobara: Línea que en los mapas meteorológicos une los puntos de lugares de la superficie terrestre que tienen la misma media de presión atmosférica.

Isolíneas: (Amb.) Línea que une puntos que tienen el mismo valor en la representación gráfica de un fenómeno. .

Isopleta: La línea que une puntos de igual humedad en la atmósfera. O concentración en general.

Isoterma: En un plano cartográfico, una curva que une aquellos puntos que presentan las mismas temperaturas en una unidad de tiempo considerada.

Isoyetas: es una isolínea que une los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.

Iluviación: es el proceso de acumulación en un horizonte del suelo de elementos procedentes de otro. La mayoría de las veces, la **iluviación** se debe al descenso de materias del horizonte A al horizonte B. En otros casos existe una migración ascendente o bien, si se trata de pendientes, oblicuas.

Illita: es un mineral de la clase 9 silicatos, según la clasificación de Strunz, del grupo de las micas. Es una arcilla no expansiva, micácea. La illita es un filosilicato o silicato laminar.

Infiltración: es el paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, (permeabilidad, porosidad, tamaño de partícula), el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior.

Indisturbado: que no se puede disturbar o alterar.

Llanura aluvial: zona resultante de la sedimentación de un río. Las llanuras aluviales son amplias franjas de topografía llana y dimensiones que pueden ser de varios kilómetros, que se desarrollan sobre los aluviones depositados por cursos fluviales. Prácticamente siempre ocupan zonas que están o han estado relacionadas con episodios de subsidencia. En estas llanuras (también se las llama de inundación) el río corre por un canal y sólo las inunda esporádicamente, depositando de nuevo, al retirarse las aguas una nueva película de aluviones.

Constituyen terrenos fértiles, a los que en castellano se denomina vegas.

Lecho: cauce de un río, o depresión del terreno por donde corre un curso de agua.

Limolita: es una roca sedimentaria que tiene un tamaño de grano en el rango de limo más fino que la arenisca y más grueso que arcillas.

Litología: s. f. Parte de la geología que estudia las rocas. Sin. Petrografía.

Litosfera: Capa externa y rígida de la Tierra, de profundidad variable entre los 10 y los 50 km, constituida básicamente por silicatos e integrada por la corteza y parte del manto.

Loésico: El loess (del alemán de Suiza lösch) es un material geológico sedimentario eólico. Lo forman depósitos de limo originados por la deposición de partículas muy finas con tamaños que van desde los 10 a los 50 micrómetros y que son transportadas por las tormentas de polvo a lo largo de miles de años. Es de color amarillento, deleznable y carece de estratificación. Está formado principalmente por silicio, carbonato de calcio (piedra caliza), finísimos detritos orgánicos y arcillas. Constituyen un suelo de labor muy fértil y profundo.

Micrófitos: planta acuática, Hay variedad de ellas.

Manto: El **manto terrestre** es la capa de la **Tierra** que se encuentra entre la corteza y el núcleo (supone aproximadamente el 84 % del volumen del planeta). El manto terrestre se extiende desde cerca de 33 km de profundidad (o alrededor de 8 km en las zonas oceánicas) hasta los 2.900 km (transición al núcleo).

Meseta: es una planicie extensa situada a una determinada altitud sobre el nivel del mar (más de 500 m) provocada por fuerzas tectónicas, por erosión del terreno circundante, o por el emergimiento de una meseta submarina. También se genera por la convergencia de las placas tectónicas.

Metasedimento: es un sedimento o roca sedimentaria que muestra evidencias de haber sido sometida a metamorfismo. Un metasedimento es una roca metamórfica formada a partir de una roca sedimentaria.

Meteorización: conjunto de procesos externos que provocan la alteración de las rocas superficiales. La meteorización puede ser: mecánica o física, química y biológica. Procesos es la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y la biosfera.

Mota: s. f. Montículo que se eleva en el llano.

Monoclinal: *adj.* Se aplica a la formación de rocas que presenta una disposición inclinada en una sola dirección.

Morfogénesis: Creación o evolución de la superficie terrestre.

Orografía: Parte de la geografía física que se encarga del estudio, descripción y representación del relieve terrestre.

Paleoformas: (Geomorfología), relieve o modelado cuya morfología superficial ha sido generada por un sistema morfogenético antiguo. Casi todas las formas que se encuentran en la superficie terrestre son antiguas y reciben el término de heredadas. Las formas vivas o actuales son escasas.

Paragénesis: Asociación de minerales en series características con arreglo a su origen u orden de formación.

Pedimento: Llanura de roca firme erosionada (que puede o no cubrirse de una delgada capa de aluvial) que se encuentra en una región árida o semiárida y que se desarrolla entre áreas de montañas y cuencas. El pedimento constituye entonces una zona de transporte intermedia.

Pestilente: apestoso, nauseabundo. Que despiden mal olor.

Petrografía: Parte de la geología que estudia, describe y clasifica las rocas.

Pluvial: De la lluvia o relacionado con ella.

Régimen Hidrológico: Variaciones del estado, (caudal) y características de una masa de agua que se repiten regularmente en el tiempo y en el espacio y que son cíclicas, por ejemplo, estacionales.

Relicto: (Ej. Bosque), Remite a los remanentes sobrevivientes de fenómenos naturales, o a especies vivas con una distribución muy reducida por causas naturales o menos frecuentemente por causa del ser humano, comparada con la que anteriormente tuvieron. Las especies actualmente en peligro de extinción son en su inmensa mayoría especies convertidas en relictas por el ser humano.

Reptación: Geol. Movimiento de deslizamiento de los materiales situados en una pendiente.

Riada crecida repentina del nivel de las aguas de un río.

Riesgo Ambiental: Presenta un campo particular dentro del más amplio de los riesgos. Pueden clasificarse como **riesgos naturales**, debidos a los fenómenos naturales, y **riesgos antropogénicos**, debidos a las acciones humanas.

- **Riesgo Natural.** Ejemplos son los asociados a fenómenos geológicos internos, como erupciones volcánicas y terremotos, o la caída de meteoritos. Las inundaciones, aunque debidas a causas climáticas naturales, suelen ser riesgos dependientes de la presencia y calidad de infraestructuras como las presas que regulan el caudal, o las carreteras que actúan como diques, que pueden agravar sus consecuencias.
- **Riesgo Antrópico.** Son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. Un accidente como el Bhopal (el peor accidente químico ocurrido hasta el momento) o el de Chernóbil (el peor accidente nuclear ocurrido hasta la fecha) son antrópicos.

Riparia: (Vegetación riparia). Vegetación típica de las riberas de ríos y arroyos. Jalonando los cursos de agua, esta vegetación da lugar a formaciones lineales de interés paisajístico y climático. Transversalmente se distinguen zonas de vegetación que van desde las plantas parcialmente sumergidas, hasta las formaciones arbóreas y arbustivas del bosque en galería.

Solifluxión: proceso geomorfológico característico de zonas de clima periglaciario (aunque puede darse incluso en los trópicos), consistente en el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas o limosa – arcillosa causa de la plasticidad y fluidez adquirida por aquéllos cuando absorben gran cantidad de agua.

Soto: s. m. Lugar poblado de árboles y arbustos que se encuentran a la orilla de un río: el los sotos crecen álamos, hayas, fresnos y otros árboles que necesitan humedad.

Suelo: El suelo se clasificar según su textura: fina o gruesa, y por su estructura: floculada, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que permite una mayor o menor circulación del agua, y por lo tanto la existencia de especies vegetales que necesitan concentraciones más o menos elevadas de agua o de gases.

El suelo también se puede clasificar por sus características químicas, por su poder de absorción de coloides y por su grado de acidez (pH), que permite la existencia de una vegetación más o menos necesitada de ciertos compuestos.

Los suelos **no evolucionados** son suelos brutos, muy próximos a la roca madre y apenas tienen aporte de materia orgánica. Son resultado de fenómenos erosivos o de la acumulación reciente de aportes aluviales. De este tipo son los suelos polares y los desiertos, tanto de roca como de arena, así como las playas.

Los suelos **poco evolucionados** dependen en gran medida de la naturaleza de la roca madre. Existen tres tipos básicos: ránker, rendzina y los suelos de estepa. Los suelos ránker son más o menos ácidos, como los suelos de tundra y los alpinos. Los suelos rendzina se forman sobre una roca madre carbonatada, como la caliza, suelen ser fruto de la erosión y son suelos básicos. Los suelos de estepa se desarrollan en climas continentales y mediterráneo subárido. El aporte de materia orgánica es muy alto. Según sea la aridez del clima pueden ser desde castaños hasta rojos.

En los **suelos evolucionados** encontramos todo tipo de humus, y cierta independencia de la roca madre. Hay una gran variedad y entre ellos se incluyen los suelos de bosques templados, los de regiones con gran abundancia de precipitaciones, los de climas templados y el suelo rojo mediterráneo. En general, si el clima es propicio y el lugar accesible, la mayoría de estos suelos están hoy ocupados por explotaciones agrícolas.

Suelos cohesivos y No cohesivos: Una característica que hace muy distintivos a diferentes tipos de suelos es la cohesión. Debido a ella los suelos se clasifican en "cohesivos" y "no cohesivos".

Los suelos cohesivos poseen la propiedad de la atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

Suelos expansivos: son aquellos que presentan expansiones o contracciones, ó sea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua. Los materiales de arcilla, tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura, el agua produce el incremento del volumen en el material mencionado anteriormente y también una drástica reducción del volumen cuando el agua que retenía se seca.

Sustrato: 1.- Medio en el que se desarrolla una planta o un animal fijo. Ejemplo: la planta de hinojo vive en un sustrato rocoso. 1.- Capa de terreno que está por debajo de otra

Terminología: sinónimo, nomenclatura. Conjunto de términos o palabras propias utilizadas en una ciencia, técnica, o especialidad, o por un autor.

**Terraplén:** suelo con distinto tamaño de partículas que se agrega a un camino cuando la base estabilizada no compensa la caja que se hace para extraer el suelo orgánico. En la construcción de rutas es conveniente realizar un terraplén para que el nivel definitivo de la ruta quede más elevado que el nivel natural del terreno.

**Terraza:** depósitos que dejan los ríos en sus laderas al ahondarse el cauce por la erosión. Se produce por las variaciones en intensidad de la corriente del río.

**Terraza pluvial:** es una plataforma que se forma en un valle por los sedimentos de un río que se depositan a los costados del cauce en la zona donde la pendiente, (y por lo tanto, la capacidad de arrastre del agua), es menor.

**Textura del suelo:** es la proporción en la que se encuentran distribuidas variadas partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, puede clasificarse en 3 grupos básicos que son: la arena, el limo y las arcillas.

Dimensión de la partícula (mm)	Attemberg Sistema Internacional	U. S. Depto. de Agricultura
< 0,001	Arcilla	Arcilla
0,002		
0,005	Limo	Limo
0,01		
0,02		
0,05	Arena fina	Arena muy fina
0,1		Arena fina
0,2		Arena gruesa
0,5	Arena gruesa	Arena muy gruesa
1,0		
2,0	Grava fina	Grava fina
3,0		
5,0		
10,0	Grava	Grava
20,0	Grava gruesa y Piedras	Grava gruesa y Piedra
> 20,0		

**Toba:** roca calcárea poroso y esponjosa formada por la precipitación de cal que lleva el agua de los ríos y fuentes.

**Trasvase:** s. m. acción y efecto de pasar un líquido de un recipiente a otro.

**Turbación:** acción y efecto de turbar o turbarse. Confusión, desconcierto. Ver en este glosario disturbado, indisturbado.

**Xérico:** Relativo o perteneciente a un hábitat con suministro bajo de humedad, o relativo a un organismo que viva en él. Las formaciones secas xéricas y subxéricas se caracterizan por una alta distribución estacional de precipitaciones con períodos secos críticos de hasta seis meses.