



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO  
AMBIENTE

“ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA UN DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE DOS  
CUENCAS URBANAS EN JARDÍN AMÉRICA, MISIONES.”.

Hugo Ramiro PÁEZ CAMPOS

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2017

## **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la provincia de Misiones durante el período comprendido entre el 02 de Octubre del año 2015 y el 21 de febrero del año 2017 bajo la dirección del Dr. Pablo F. Dornes y la codirección del Dr. Carlos J. Schulz.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se expresa el agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de tesis:

- Dr. Pablo F. Dornes.
- Lic. Gabriela Dalmasso.
- Ing. Roberto Pochetti.
- Julia Ochoa.
- Lic. Mónica Castro.
- Dr. Carlos Schulz.
- Ing. Sofía Antonena.
- Lic. Natalia Sinsolo.
- Mg. Alba Ruth Perucca.
- Ing. Daniel Ligier.
- Jorge A. Olinuck.
- Sociedad en general de Jardín América.
- Municipalidad de Jardín América.
- Cooperativa de Servicios Públicos de Jardín América Ltda.
- El Vasco S.A.
- Casa Fuente S.A.
- Familia y amigos.

17 de Marzo de 2017

Hugo Ramiro Páez Campos

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## RESUMEN

Típicamente los centros urbanos en la provincia de Misiones utilizan recursos hídricos locales para el aprovisionamiento de agua de consumo. Considerando que la mayoría de las ciudades no poseen servicio cloacal y la disposición de efluentes se realiza *in situ*, existe un riesgo de contaminación para los sistemas hidrológicos y la población en general.

El objetivo de este trabajo consistió en diagnosticar la situación problemática mediante el análisis espacial del riesgo hídrico poblacional frente a la contaminación por efluentes urbanos dentro de dos cuencas hidrológicas drenadas por los arroyos Tulipán y Capilla de Jardín América, Misiones. Dicho riesgo se constituye por la amenaza de contaminación que se determinó evaluando la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la concentración del ion Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), y la vulnerabilidad social, para la cual se utilizaron datos censales del año 2010.

Se comprobó la existencia de un fenómeno de contaminación en proceso que resulta en un aumento de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el sentido del flujo subterráneo y en menor medida en el escurrimiento superficial, aunque no afecta significativamente la calidad del agua debido a la capacidad de depuración del sistema. Sin embargo, el riesgo poblacional se manifiesta diferencialmente, siendo los sectores más expuestos, los barrios periféricos localizados a la vera de los cauces. Tales características dificultarían la capacidad de respuesta de la población ante los efectos de la contaminación del agua. Así, este estudio contribuye a la planificación de políticas sanitarias y a la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: riesgo, contaminación, hidrología, Misiones

## ABSTRACT

Typically urban centers in the province of Misiones use local water resources for water supply. Whereas most cities have no sewage service and effluent disposal is carried out *in situ*, there is a risk of contamination for water systems and the population. The objective of this work was to diagnose the problem, through the spatial analysis of population risk to water pollution by urban effluent in two watersheds drained by Tulipán and Capilla creeks in Jardín América, Misiones. This risk is constituted by the threat of pollution that was determined by evaluating the intrinsic vulnerability of the aquifer and the concentration of nitrate ion ( $\text{NO}_3^-$ ) and social vulnerability, for which census data of 2010 were use. It was observed the existence

of a phenomenon of contamination on process that results in an increase in the concentration of  $\text{NO}_3^-$  in the direction of groundwater flow and to a lesser extent in surface runoff, although not significantly affected the water quality due to the system depuration capacity. However, population risk is expressed differentially, being the most exposed sectors, the suburbs located on the banks of rivers. Such characteristics would complicated the responsiveness of the population to the effects of water pollution. Thus, this study contributes to health policy planning and management of water resources.

Keywords: risk, pollution , hydrology , Misiones

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Teoría del Riesgo .....	1
1.2. La contaminación del agua por vertidos cloacales .....	2
1.3. El Riesgo Hídrico Poblacional por contaminación de aguas en América Latina .....	5
1.4. Provisión de servicios básicos en Argentina: El caso de Misiones .....	6
1.5. Objetivos e Hipótesis .....	7
1.5.1. Objetivo General:.....	7
1.5.2. Objetivos específicos: .....	7
1.5.3. Hipótesis: .....	7
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Área de estudio .....	8
2.1.1. Clima.....	9
2.1.2. Litología y topografía .....	10
2.1.3. Fisiografía y Geomorfología.....	11
2.1.4. Suelos.....	13
2.1.5. Hidrología .....	15
2.1.5.1. Hidrografía.....	15
2.1.5.1.1. Cuenca del Arroyo Tabay .....	16
2.1.5.2. Hidrogeología .....	17
2.1.6. Características del centro urbano .....	18
2.2. Determinación del Riesgo hídrico poblacional por radio censal .....	21
2.2.1. Vulnerabilidad social .....	22
2.2.2. Amenaza por contaminación .....	23
2.2.2.1. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero .....	24
2.3. Diseño experimental, recolección de datos a campo y análisis de laboratorio.....	26
2.4. Obtención y corrección del Modelo Digital de Elevación.....	27
2.5. Elaboración de Mapas.....	29
2.5.1. Mapas de índices por radio censal .....	29
2.5.2. Mapa de cuencas hidrográficas y red de drenaje .....	29
2.5.3. Mapas de superficie freaticométrica, profundidad del nivel freático y gradiente hidráulico .....	30
2.5.4. Mapas de concentración de $\text{NO}_3^-$ y Salinidad.....	30
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
3.1. Riesgo hídrico poblacional .....	31

3.1.1. Vulnerabilidad social .....	32
3.1.2. Amenaza por contaminación .....	36
3.2. Análisis complementarios .....	39
3.2.1. Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) .....	39
3.2.2. Caracterización hidrodinámica .....	40
3.2.3. Relación Agua subterránea – agua superficial.....	45
3.2.4. Caracterización hidroquímica .....	51
3.2.5. Evaluación de indicadores de contaminación orgánica .....	54
3.2.5.1. Nitrato, nitrito y amoníaco.....	54
3.2.5.2. Indicadores de contaminación bacteriológica.....	56
3.2.5.3. Salinidad .....	57
<b>4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
7.1. Análisis físico-químico de la muestra 116. Cuenca alta A° Capilla.....	70
7.2. Análisis físico-químico de la muestra 326. Cuenca alta, A°Tulipán .....	70
7.3. Determinaciones de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> y NH <sub>3</sub> .....	71
7.4. Determinaciones de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	72
7.5. Determinaciones de <i>Escherichia Coli</i> .....	73
7.6. Determinaciones de Coliformes fecales .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio, red de drenaje y delimitación del casco urbano. ....	8
<b>Figura 2.2.</b> Fotografías de los Arroyos Tulipán (a) y Capilla (b) en sus cuencas medias. ....	9
<b>Figura 2.3.</b> Régimen pluviométrico de la localidad de Jardín América, Misiones.....	10
<b>Figura 2.4.</b> Mapa fisiográfico de Paisajes de la provincia de Misiones. ....	12
<b>Figura 2.5.</b> Perfil típico de un suelo residual sobre una ladera. ....	13
<b>Figura 2.6.</b> Fotografías de dos suelos característicos de la unidades N° 3 (a) y N° 9 (b).....	14
<b>Figura 2.7.</b> Mapa edafológico de las cuencas de los arroyos Tulipán y Capilla, Jardín América, Misiones. ....	15
<b>Figura 2.8.</b> Ubicación geográfica y límites políticos de la localidad de Jardín América, Misiones.....	19

<b>Figura 2.9.</b> Pozos artesanales de extracción de agua del acuífero somero, para consumo humano.....	20
<b>Figura 2.10.</b> Letrina cercana al cauce del A° Capilla en su cuenca media. ....	21
<b>Figura 3.1.</b> Mapa de Riesgo Hídrico Poblacional (índice RHP).....	31
<b>Figura 3.2.</b> Mapa de Vulnerabilidad Social (índice VS). ....	32
<b>Figura 3.3.</b> Mapa de Vulnerabilidad social por tipo de disposición de excretas (índice VS <sub>DE</sub> ). .....	33
<b>Figura 3.4.</b> Mapa de Vulnerabilidad social por tipo de acceso al recurso hídrico (índice VS <sub>RH</sub> ). .....	34
<b>Figura 3.5.</b> Mapa de Vulnerabilidad social por densidad poblacional (índice VS <sub>DP</sub> ). ....	36
<b>Figura 3.6.</b> Mapa de Amenaza por contaminación orgánica (índice AC). ....	37
<b>Figura 3.7.</b> Mapa Vulnerabilidad intrínseca del acuífero (Índice EK <sub>v</sub> ) en la localidad de Jardín América, Misiones. ....	37
<b>Figura 3.8.</b> Mapa de distribución de la concentración de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) en la localidad de Jardín América, Misiones. ....	38
<b>Figura 3.9.</b> Mapa de porcentaje de Hogares con al menos un indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en la localidad de Jardín América, Misiones.....	39
<b>Figura 3.10.</b> Mapa piezométrico y vectores de flujo subterráneo con delimitación de subcuencas hidrográficas en la localidad de Jardín América, Misiones.....	40
<b>Figura 3.11.</b> Mapa piezométrico y vectores de flujo subterráneo con puntos de muestreo y delimitación del ejido urbano de Jardín América, Misiones. ....	42
<b>Figura 3.12.</b> Mapa de profundidad del nivel freático en la localidad de Jardín América, Misiones.....	42
<b>Figura 3.13.</b> Mapa de gradiente hidráulico y líneas equipotenciales en la localidad de Jardín América, Misiones. ....	43
<b>Figura 3.14.</b> Variación de la precipitación acumulada en intervalos de tres meses, en la estación meteorológica de El Vasco S.A. Jardín América, Misiones.....	45
<b>Figura 3.15.</b> Mapa de ubicación de las transectas de pozos de observación del nivel freático y Modelo Digital de Elevación del terreno MDE-Ar corregido en la localidad de Jardín América, Misiones.....	46
<b>Figura 3.16.</b> Transecta de observación del nivel freático “A”. Cuenca baja del A° Tulipán. .	47

<b>Figura 3.17.</b> Transecta de observación del nivel freático “B”. Cuenca media del A° Tulipán. .....	48
<b>Figura 3.18.</b> Transecta de observación del nivel freático “C”. Cuenca media del A° Tulipán. .....	48
<b>Figura 3.19.</b> Transecta de observación del nivel freático “D”. Cuenca media del A° Tulipán. .....	48
<b>Figura 3.20.</b> Transecta de observación del nivel freático “E”. Cuenca alta del A° Tulipán....	49
<b>Figura 3.21.</b> Transecta de observación del nivel freático “F”. Cuenca media del A° Capilla.	49
<b>Figura 3.22.</b> Transecta de observación del nivel freático “G”. Cuenca media del A° Capilla.	49
<b>Figura 3.23.</b> Transecta de observación del nivel freático “H”. Cuenca media del A° Capilla.	50
<b>Figura 3.24.</b> Transecta de observación del nivel freático “I”. Cuenca alta del A° Capilla.....	50
<b>Figura 3.25.</b> Transecta de observación del nivel freático “J”. Cuenca alta del A° Capilla. ....	50
<b>Figura 3.26.</b> Transecta de observación del nivel freático “K”. Cuenca alta del A° Capilla. ...	51
<b>Figura 3.27.</b> Mapa de valores de concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), <i>Escherichia Coli</i> , equipotenciales y vectores de flujo subterráneo en la localidad de Jardín América, Misiones.. .....	55
<b>Figura 3.28.</b> Mapa de salinidad en agua subterránea y superficial de Jardín América, Misiones. Se detallan los puntos de muestreo. ....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Determinaciones antecedentes de $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_4^-$ y $\text{PO}_4^{3-}$ en distintos ambientes dentro del Bosque Atlántico. ....	16
<b>Tabla 2.2.</b> Hogares por procedencia de agua para beber y cocinar según área de gobierno local.....	20
<b>Tabla 2.3.</b> Hogares por tipo de desagüe del inodoro según área de gobierno local.....	20
<b>Tabla 2.4.</b> Índices asociados a rangos de profundidad del nivel freático .....	24
<b>Tabla 2.5.</b> Índices asociados a rangos de profundidad del nivel freático .....	25
<b>Tabla 2.6.</b> Valores posibles del índice Ekv según el valor de sus componentes. ....	25
<b>Tabla 3.1.</b> Valores de variables utilizadas en la elaboración del índice $\text{VS}_{\text{DE}}$ para los radios censales categorizados como de índice $\text{VS}_{\text{DE}}$ Alto y Muy Alto, y % de viviendas sin cámara séptica.. ....	33



<b>Tabla 3.2.</b> Valores de variables utilizadas en la elaboración del índice $VS_{RH}$ para los radios censales categorizados como de índice $VS_{RH}$ Alto y Muy Alto. ....	35
<b>Tabla 3.3.</b> Profundidad de pozos, nivel freático, y espesor saturado. ....	44
<b>Tabla 3.4.</b> Análisis para la caracterización química del agua superficial en la alta cuenca del A° Capilla. ....	51
<b>Tabla 3.5.</b> Análisis para la caracterización química del agua superficial en la alta cuenca del A° Tulipán. ....	52
<b>Tabla 3.6.</b> Comparación de indicadores de contaminación orgánica en aquellos pozos y cursos de agua (*) donde se registró valores más altos de $NO_3^-$ y presencia de <i>E. Coli</i> en la primera campaña de toma de muestras (07/2015). ....	56

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Teoría del Riesgo

La Teoría del Riesgo se desarrolla como marco teórico para la prevención y mitigación de desastres ambientales (Lavell, 1996). Comúnmente se asocia el desastre a ciertos eventos de gran magnitud en donde un fenómeno de origen natural o humano afecta a una población determinada. Es esa afección negativa lo que determina que cierto evento se considere un desastre. Pero para que esa situación se manifieste existen condiciones previas tanto de la naturaleza como de la sociedad, que implican la existencia de un riesgo, una probabilidad de ocurrencia de un evento determinado (Wilches Chau, 1998). Se define así al desastre como el momento en el cual se hacen evidentes condiciones no sostenibles o de desequilibrio en la relación entre una comunidad humana y el ambiente, las cuales se extienden hacia adelante y atrás del momento de la emergencia. Así la Teoría del Riesgo consiste en la prevención y mitigación de los desastres a partir del análisis de las condiciones de la relación sociedad-naturaleza que desencadenan estas situaciones negativas. Sin embargo, el concepto de desastre sigue siendo ambiguo en tanto no se defina la magnitud y la temporalidad que debe tener un evento. Herzer y Gurevich (1995) equiparan el concepto de degradación con el de desastre, en tanto la degradación es también un fenómeno histórico producto de una desequilibrada relación sociedad-ambiente, que deja ver la existencia de un riesgo para la población. Estas problemáticas se integran espacial y temporalmente de manera fractal (Maskery, 1998), teniendo, un evento, en cada escala fractal (vivienda, barrio, ciudad, región) un efecto distinto según la configuración de factores sociales y físicos, lo cual complejiza el abordaje del Riesgo. Por otro lado, se define que los factores de riesgo que determinan a la relación sociedad-naturaleza, son la amenaza y la vulnerabilidad (David, 1978; Romero y Maskery, 1983). Estos factores están interligados, es decir, la amenaza equivale al disparador de una situación de riesgo para una población, mientras que la vulnerabilidad se refiere a la “exposición” (física, social, cultural, económica, política) de una población ante un factor de amenaza determinado. Particularmente, la vulnerabilidad social se define como la debilidad frente a una amenaza, y/o como la incapacidad de recuperación después de la ocurrencia de un desastre, también considerada así como resiliencia (Suarez *et al.*, 2004). En este estudio se tomará, por fines prácticos, el primer concepto.

Si bien la vulnerabilidad social es relativa a una amenaza, Suárez *et al.* (2004) explica que cuando un determinado agregado social es vulnerable a distintos tipos de amenazas, su situación de vulnerabilidad ya no se define como relativa sino como global o generalizada. Esta situación se encuentra íntimamente ligada a la pobreza y a la exclusión social, donde la población suele carecer de ciertos activos dinámicos como la reducción de la asistencia a la educación y la salud, acceso a la infraestructura social y económica, entre otros (Moser, 1995; Garros Martínez *et al.*, 2016). Por otro lado, la vulnerabilidad social es un producto de procesos históricos (Herzer, 1994 en Suarez *et al.*, 1994), que hacen necesaria la incorporación de la variante temporal en la Gestión del Riesgo.

Según Wilches Chaux, (1998) el factor amenaza hace referencia al evento que pone en riesgo a la población y de acuerdo a su origen se puede clasificar en: a) Natural, cuando no se tiene intervención sobre la ocurrencia del fenómeno, como terremotos, huracanes, etc., b) Socio-natural, cuando consiste en una amenaza que se da como respuesta del sistema natural a acciones antrópicas, como aluviones ocasionados por deforestación; c) Tecnológico, cuando no interviene la naturaleza sino que consiste en la realización de actividades o la presencia de infraestructura en condiciones inadecuadas, y d) Antrópicos, cuando son fácilmente atribuibles a la acción antrópica sobre la naturaleza, como el fenómeno de degradación y contaminación ambiental al que se aboca este estudio.

Como consecuencia de la aplicación de la Teoría de la Gestión del Riesgo a las problemáticas hídricas, y adecuando el concepto de Herrero (2006), se define Riesgo hídrico poblacional o Riesgo poblacional humano en relación al recurso hídrico, como la “potencialidad” de que un evento, que tiene como elemento eje al agua, impacte negativamente sobre la sociedad en todos o en algunos de sus componentes.

## **1.2. La contaminación del agua por vertidos cloacales**

La degradación de la calidad de los recursos hídricos es uno de los mayores problemas mundiales, puesto que afecta al desarrollo de las naciones, el cuidado del ambiente y por sobre todo, a la salud de las personas. Las enfermedades de origen hídrico aumentan los índices de morbilidad y mortalidad infantil, como así también, ocasionan problemas de desnutrición (Lentini y Brenner, 2012).

El crecimiento urbano altera el funcionamiento natural de los ecosistemas que le brindan soporte y recursos a la sociedad. Sin una adecuada planificación la dinámica de crecimiento

constituye una amenaza en sí misma, que degrada los recursos naturales y la calidad de vida de los habitantes (Suárez *et al.*, 2004). Entre estas alteraciones se destaca la modificación de los sistemas hidrológicos tanto en su dinámica como en la calidad del agua (Alsina, 2004).

La contaminación de las aguas, como problema puntual, admite al menos dos conceptos distintos, que serán utilizados complementariamente en este estudio: a) La contaminación consiste en la presencia de sustancias anormales o de concentraciones elevadas de sustancias normales en el ambiente Craig *et al.* (1996), b) la contaminación es un concepto legal relacionado a la calidad para distintos usos Margalef (1983). El segundo concepto es particularmente importante en la evaluación de la contaminación en sistemas de aprovechamiento humano, a través de estándares de calidad de agua, mientras que el primero permite identificar procesos de contaminación en desarrollo aunque no presenten aún un problema para su utilización.

Los procesos de contaminación pueden ser diferenciados como naturales o artificiales según el factor causal de los mismos. Se considera como natural, por ejemplo, la salinización de los acuíferos por contacto con sedimentos marinos o bien por disolución de sales evaporitas como el yeso, la contaminación provocada por yacimientos metalíferos naturales, o no metalíferos, radioactivos e incorporación de oligoelementos como flúor y arsénico a partir de sedimentos piroclásticos. La contaminación artificial, en cambio, es aquella que deriva de acciones antrópicas y se puede clasificar como directa o inducida (Herrero, 2004). La contaminación inducida es aquella ligada a la explotación de los recursos naturales, como la salinización de acuíferos por sobreexplotación, mientras que la contaminación directa implica (en el agua) el cambio de las condiciones naturales por el agregado, la modificación o eliminación directa de alguna característica física, química o biológica (Auge, 2004). A su vez, este tipo de contaminación se clasifica, de acuerdo al tipo de fuente como Puntual o Difusa según se pueda identificar concretamente o no la fuente del agente contaminante. En general, la contaminación puntual tiene un efecto sobre un área pequeña con altas concentraciones del contaminante, mientras que la contaminación difusa abarca extensas áreas con concentraciones relativamente bajas (Foster *et al.*, 2002).

Según las características anteriormente definidas, la contaminación con aguas residuales urbanas puede considerarse como directa y difusa cuando una ciudad no posee redes de saneamiento, ya que sus múltiples fuentes no son fácilmente identificables en grandes áreas urbanas, y las acciones de control son más difíciles de implementar (Foster *et al.*, 2002). Este

tipo de contaminación integra a las aguas fecales humanas, los residuos domésticos líquidos, los arrastres de lluvia por escorrentía e infiltración y los vertidos industriales. De todos estos componentes, las aguas fecales humanas son las más importantes por su composición, concentración y carga, sobre todo en ciudades sin redes de saneamiento, (Seoanez Calvo, 1996). El componente principal en las aguas fecales humanas, es la materia orgánica, la cual es la principal causa de la degradación de los cuerpos de agua que reciben estos vertidos, puesto que los microorganismos la utilizan como alimento (para lo cual necesitan consumir oxígeno) y contiene compuestos fácilmente oxidables, por lo cual grandes cantidades de materia orgánica en el agua puede causar anaerobiosis (falta de oxígeno) con las consecuentes pérdidas de biodiversidad en los mismos (García y López, 1985). Aproximadamente el 30% de la materia orgánica en efluentes cloacales está constituido por nitrógeno, el mismo se comienza a liberar como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en la descarboxilación de aminoácidos. El  $\text{NH}_3$  en presencia de oxígeno y gracias a la actividad de bacterias del tipo *Nitrosomonas* se oxida a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y este a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por acción de bacterias del género *Nitrobacter*. Si bien la forma más común, por su estabilidad y movilidad, del nitrógeno en agua es como  $\text{NO}_3^-$ , también se lo puede encontrar como amonio, amoníaco, nitrito, óxido nitroso y nitrógeno orgánico incorporado a sustancias orgánicas (Pacheco Avila *et al.*, 2002). La presencia de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  en agua de consumo es peligrosa para la salud humana, fundamentalmente debido a que puede producir metahemoglobinemia, una enfermedad mortal para los lactantes que afecta al transporte de oxígeno en sangre (Spalding y Exner, 1993). Aunque también se ha asociado su presencia al desarrollo del linfoma de no-Hodgkin, un tipo de cáncer que afecta a los linfocitos (Ward *et al.*, 1996). Por otro lado las aguas fecales pueden contener hasta cuatro tipo de organismos patógenos; huevos de helmintos, protozoarios, bacterias y virus. Los mismos causan numerosas enfermedades, tales como la Cólera, Fiebre tifoidea, Disenteria, Diarreas, Hepatitis, Poliometitis, entre otras (Lewis *et al.*, 1988). Las parasitosis intestinales representan una de las problemáticas socio-ambientales más difundidas en el mundo, están estrechamente ligadas a la falta de servicios sanitarios, provisión de agua potable y contaminación fecal del ambiente. Diversos estudios han registrado prevalencias de parasitosis en localidades del norte y del sur de Argentina por encima del 80 % de la población, mientras que en la zona central se han alcanzado porcentajes cercanos a 45% (Juárez y Rajal, 2013). Si bien existen numerosos tipos de bacterias en las aguas fecales, se considera que las bacterias Coliformes fecales, los estreptococos fecales y *Escherichia Coli* son exclusivamente

de origen fecal. Por lo cual son parámetros comúnmente utilizados como indicadores de este tipo de contaminación, considerando además que *E. Coli* es exclusiva de contaminación por excretas humanas (Seoanez Calvo, 1996). Estos tipos de indicadores deben ser tenidos en cuenta, fundamentalmente, como indicadores de contaminación puntual debido a que la presencia de los distintos tipos de bacterias es muy variable a pesar de que la carga por individuo sea alta (de hasta  $10^9$  bacterias por gramo de materia fecal) y la misma puede disminuir drásticamente en poca distancia gracias a la obstrucción de los poros, la eliminación de las bacterias y la filtración física en suelos de granulometría fina. Por estas razones su cuantificación no da cuenta del patrón espacial del proceso de contaminación (Caldwell y Parr, 1937).

### **1.3. El Riesgo Hídrico Poblacional por contaminación de aguas en América Latina**

La pobreza y la exclusión social son factores fuertemente influyentes en las pérdidas de activos dinámicos que acrecientan la vulnerabilidad social ante amenazas ambientales. En América Latina, a pesar de que los niveles de pobreza han decaído en las últimas décadas, la desigualdad social sigue siendo la más grande en el mundo y la pobreza, aunque con características muy disimiles entre países, sigue siendo elevada (CEPAL, 2015; Banco Mundial, 2016). En materia de políticas hídricas-sanitarias, desde el año 1960 al 2000 el porcentaje de población con acceso al agua potable se incrementó del 33% al 85%. Lo cual implica, por otra parte, que 77 millones de personas (15%) aún no poseen acceso a este servicio. En cuanto a servicios sanitarios el porcentaje de cobertura para el mismo período pasó del 14% al 49%, y al año 2000, 256 millones de personas siguen utilizando letrinas y fosas sépticas, y 100 millones no poseen servicio sanitario alguno. De las ciudades que cuentan con sistemas sanitarios centralizados, menos del 14% posee planta de tratamientos de las aguas residuales (World Water Council, 2006).

En el ambiente urbano, la desigualdad social se ha vuelto una característica distintiva de América Latina. Esta desigualdad trae aparejada un proceso de desgaste progresivo de la fuerza de trabajo en determinados sectores sociales, que resulta en un aumento de la vulnerabilidad social. A este proceso se lo conoce como expoliación urbana. En los procesos de urbanización previos a la década del '80 los flujos migratorios hacia las ciudades y la falta de planificación urbana fue generando una mayor vulnerabilidad asociada con la segregación residencial de población migrante hacia zonas de mayor exposición a amenazas ambientales

(CEPAL, 2014; Kowarick, 2002). En la actualidad, los procesos de expoliación aumentan, también, por factores como la privatización de los servicios públicos, aumentos en los costos de vida, la discriminación (étnica, racial, sexual, etc.), y la exclusión social. Por consiguiente, se produce un aumento de la vulnerabilidad global de ciertos sectores sociales que, sin embargo, no se encuentran en áreas de alta amenaza ambiental (CEPAL, 2014; Filgueira y Peri, 2004; Suárez *et al.*, 2004). Independientemente de los procesos de expoliación, son los sectores sociales desplazados en las ciudades los más expuestos a fenómenos de inundación en tierras bajas, de contaminación de cuerpos y cursos de aguas cercanos, y a la falta de servicios sanitarios y provisión de agua potable, sumado a la segregación residencial urbana que aumentan la vulnerabilidad global y el Riesgo ante amenazas ambientales.

#### **1.4. Provisión de servicios básicos en Argentina: El caso de Misiones**

En la Argentina, al año 2010, la cobertura de agua potable ascendía al 82,6% y la cobertura de red cloacal al 49%, lo que representa 32,8 y 19,4 millones de habitantes, respectivamente. Por consiguiente para el año 2010, en relación al año 2001, hubo un incremento del 4% en la cobertura de agua potable y 6% en el acceso a redes de saneamiento cloacal. Sin embargo, existen grandes diferencias entre las provincias en la cobertura de estos servicios, y en los incrementos de provisión registrados en la década del 2000. Los porcentajes de incremento de cobertura durante la década, fueron mayores para el saneamiento cloacal que para la provisión de agua potable, para todo el país, a excepción de Misiones, Formosa y Santiago del Estero (Lentini y Brenner, 2012; Capello *et al.*, 2011). En el caso de la provincia de Misiones, para el año 2010 los incrementos en la cobertura de agua potable y saneamiento cloacal desde el año 2001 fueron del 13% y el 5,5%, respectivamente. En el año 2010 la cobertura de agua potable llegó al 70,1% de la población total, que para ese año alcanzó 1.101.593 habitantes (Lentini y Brenner, 2012, IPEC, 2012). Lo que evidencia que el 29,9% de la población en esta provincia se abastece de fuentes de agua no potable (329.377 personas). En la provisión de saneamiento cloacal, la falta de cobertura es del 81,4%, (896.697 personas). Esta situación posiciona a la provincia como la más deficiente en la provisión de ambos servicios básicos en el país (Capello *et al.*, 2011).

Puntualmente en la localidad de Jardín América, que es la sexta ciudad más grande de la provincia, la falta de redes de saneamiento cloacal es total (IPEC, 2012) y las altas densidades poblacionales en el área urbana de la localidad sugieren la existencia de altas cargas

contaminantes al agua subterránea. Dentro de esta ciudad el sistema hidrológico considerado en este trabajo comprende a las cuencas que engloban al ejido urbano, y si bien en el mismo la cobertura de la red de agua potable es casi completa, muchas personas realizan un aprovechamiento directo del agua subterránea y superficial por medios artesanales. Esta situación motivó a realizar un diagnóstico de la ciudad a partir de la evaluación del Riesgo hídrico poblacional que se trata en este estudio.

## **1.5. Objetivos e Hipótesis**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Confirmar y evaluar la existencia del Riesgo poblacional ante la amenaza de contaminación hídrica por efluentes cloacales en Jardín América, Misiones.

### **1.5.2. Objetivos específicos:**

1. Elaborar el índice de Riesgo hídrico poblacional y evaluar su distribución espacial en el área de estudio.
2. Analizar la distribución espacial de los factores de vulnerabilidad social y amenaza ambiental.
3. Identificar las características sociales que determinan la condición de vulnerabilidad social frente la contaminación de las aguas naturales.
4. Determinar los factores naturales que condicionan el proceso de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por disposición *in situ* de efluentes cloacales, a través del estudio de la hidrodinámica y la hidroquímica del sistema hidrológico.
5. Determinar la aptitud para consumo del agua de pozos y arroyos, respecto de los indicadores de contaminación orgánica por efluentes cloacales.

### **1.5.3. Hipótesis:**

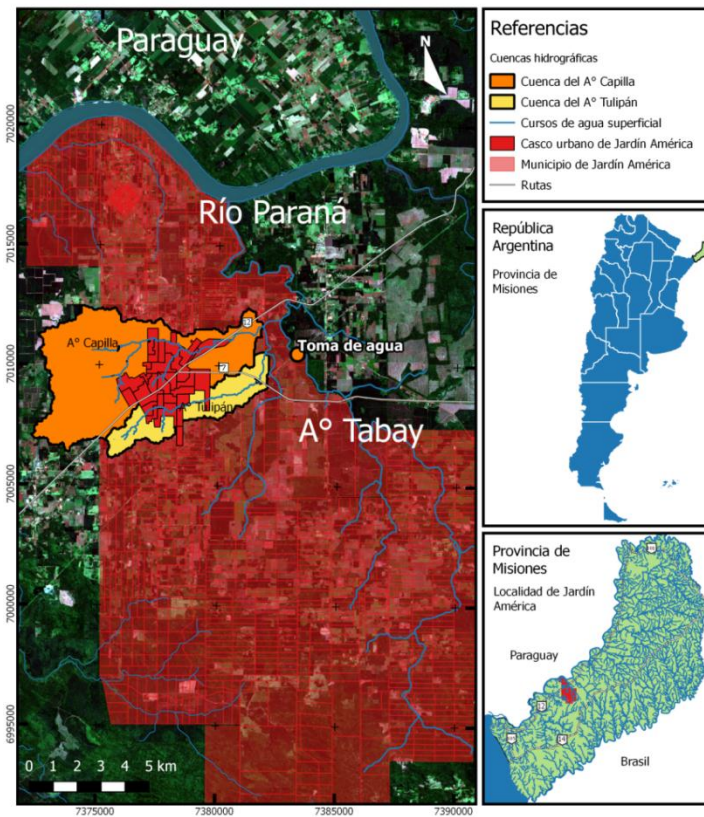
**a.** Existe un riesgo diferencial en la población de Jardín América debido a la contaminación por disposición *in situ* de efluentes cloacales sin tratamiento y por el aprovechamiento directo de los recursos hídricos subterráneos y superficiales.



## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Jardín América (27°2' 25" S; 55°13' 40" O), provincia de Misiones, Argentina (Figura 2.1). La misma cuenta 25.726 habitantes (INDEC, 2014), se encuentra 100 km al Noreste de la capital provincial sobre la Ruta Nacional Nro. 12 y aproximadamente a 10 km del Río Paraná. Para este estudio se delimitó el área de interés al sector de la localidad que corresponde a las cuencas hidrográficas de los arroyos permanentes Tulipán (Figura 2.2 a) y Capilla (Figura 2.2 b), que comprenden al casco urbano y a una porción de la zona rural aledaña. Ambas cuencas cubren en total 41 km<sup>2</sup> y pertenecen a la cuenca del arroyo Tabay que vierte sus aguas en el Río Paraná.



**Figura 2.1.** Mapa de ubicación del área de estudio, red de drenaje y delimitación del casco urbano.

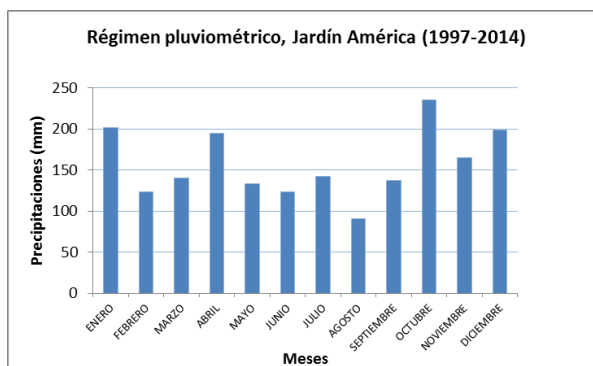


**Figura 2.2.** Fotografías de los Arroyos Tulipán (a) y Capilla (b) en sus cuencas medias.

### **2.1.1. Clima**

El clima de Misiones se define como subtropical húmedo de régimen pluviométrico isohigro, debido a que el mismo no posee estaciones bien marcadas y en cualquier momento del año pueden producirse sequías o abundantes lluvias (IPEC, 2012). Las precipitaciones medias anuales en el territorio provincial oscilan entre 1.600 mm y 2.000 mm incrementándose desde el Sur, el Oeste y el Norte hacia el Este. El territorio se encuentra bajo la influencia de centros ciclónicos continentales como así también del anticiclón del Atlántico Sur, del cual derivan vientos calurosos húmedos (Litwin y Molas, 1987).

En el área de estudio la precipitación media, obtenida de la tealera “El Vasco S.A.”, es de 1854 mm (serie 1997-2014). La Figura 2.3 muestra la variación de las precipitaciones en el área, la cual da cuenta de una alta variabilidad anual de la precipitación, sin una marcada estacionalidad. Sin embargo, se observa menores precipitaciones en Agosto y mayores en Abril, Octubre y los meses de verano en general, salvo Febrero. Esta variación se debe a la influencia de anticiclón del Atlántico Sur que produce el ingreso de aire cálido y húmedo por el norte y noreste durante todo el año, y a la perturbación de su desplazamiento meridional anual, por la irrupción de líneas de inestabilidad correspondientes a sistemas meteorológicos de mesoescala que se desplazan de sudoeste a noreste con gran actividad en octubre y abril, introduciendo vientos del sur de corta duración. Por otro lado desde el sudoeste irrumpen frentes de aire frío y seco mayormente en invierno, los cuales son los responsables de la marcada amplitud de la marcha anual de la temperatura y las fuertes heladas en invierno (Litwin y Molas, 1987).



**Figura 2.3.** Régimen pluviométrico de la localidad de Jardín América, Misiones.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por El Vasco S.A.

En cuanto a la temperatura y humedad relativa, el registro más cercano al área de estudio se obtuvo de la estación meteorológica de la localidad de Santo Pipó, a cargo del EEA Cerro Azul del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Los valores medios registrados de temperatura máxima, mínima y media anual son de 27,10° C; 15,18° C; y 20,99° C respectivamente, con valores menores durante el mes de Julio y mayores en Enero. La temperatura máxima absoluta anual en dicha serie es de 41° C y la mínima absoluta -4° C. Por otro lado la humedad relativa media mensual es mayor al 70% durante todo el año.

### 2.1.2. Litología y topografía

El área de estudio presenta una estratigrafía que comprende distintas formaciones geológicas, la más importante corresponde a la Gran Provincia Ígnea (GPI) Paraná-Etendeka-Angola (PEA), la cual con una extensión de 1.200.000 km<sup>2</sup> abarca el sur de Brasil, Paraguay, noreste de Argentina y Uruguay (INSUGEO, 2007). La misma se denomina Serie Sao Bentina (Bonarelli y Longobardi, 1929), Formación Serra Geral (White, 1908); Formación Solari, miembro Serra Geral (Herbst, 1971), Formación Curuzú Cuatiá, miembro Posadas (Gentili y Rimoldi, 1980), Formación Alto Paraguay (Harrington 1956; Putzer, 1962) o Formación Arapey (Bossi, 1966). Estos flujos lávicos se originaron como consecuencia de la actividad volcánica de la región durante el Cretácico inferior de la era Mesozoica (Turner *et al.*, 1994) y se consideran de un espesor variable de 37 a 90 metros (De Salvo, 1991). En la provincia de Misiones, ocupa el 90 % del territorio, aflorando en superficie o a escasa profundidad (INSUGEO, 2007). Se manifiesta fundamentalmente como coladas, y diques que cortan a las mismas (INSUGEO, 2007). Las coladas se disponen de manera horizontal y tiene un espesor

que varía entre pocos a varias decenas de metros y se intercalan con areniscas de la Formación Botucatu (Gonzaga de Campos, 1889), también conocida como Miembro Solari de la Formación Curuzú Cuatiá (Gentili y Rimoldi, 1980).

Los basaltos masivos por lo general se encuentran diaclasados y fracturados. Ambas estructuras tienen orientación horizontal a sub-horizontal, aunque también se encuentran fracturas verticales a subverticales. Los sistemas de fracturas horizontales a sub-horizontales se producen debido a fenómenos de descompresión, mientras que los sistemas verticales a subverticales son producto del enfriamiento lento en el centro de las coladas, confiriendo un hábito columnar característico de este tipo de litología.

En cuanto a las areniscas de la Formación Curuzú Cuatiá, aunque no existe un consenso generalizado de su edad, se puede estimar que se originaron entre el Triásico-Jurásico y el Cretácico superior. Estas areniscas se intercalan con las distintas coladas basálticas y afloran en algunas regiones de Rio Grande do Sul (Brasil), Uruguay, sobre la margen del Río Uruguay en territorio misionero hasta la zona de Concordia (Entre Ríos) y sobre la margen izquierda del Río Paraná en la localidad de San Ignacio, 40 km hacia el sureste del área de estudio de este trabajo. Los espesores de esta formación registrados en San Ignacio alcanzan los 180 metros con no menos de 9 intercalaciones finas de basalto. En la zona de Oberá se profundiza notablemente, encontrándose entre los 1.060 y 1.213 metros, también hacia el norte del área de estudio, aunque con menor profundidad, se encuentra entre los 628 y los 445 metros (en la ciudad de Eldorado) (INSUGEO, 2007). En términos hidrológicos a esta unidad estratigráfica se la conoce como Acuífero Guaraní, el cual se considera como la reserva de agua dulce más grande del mundo y se distribuye entre Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay de forma similar a la formación Serra Geral (Auge, 2004).

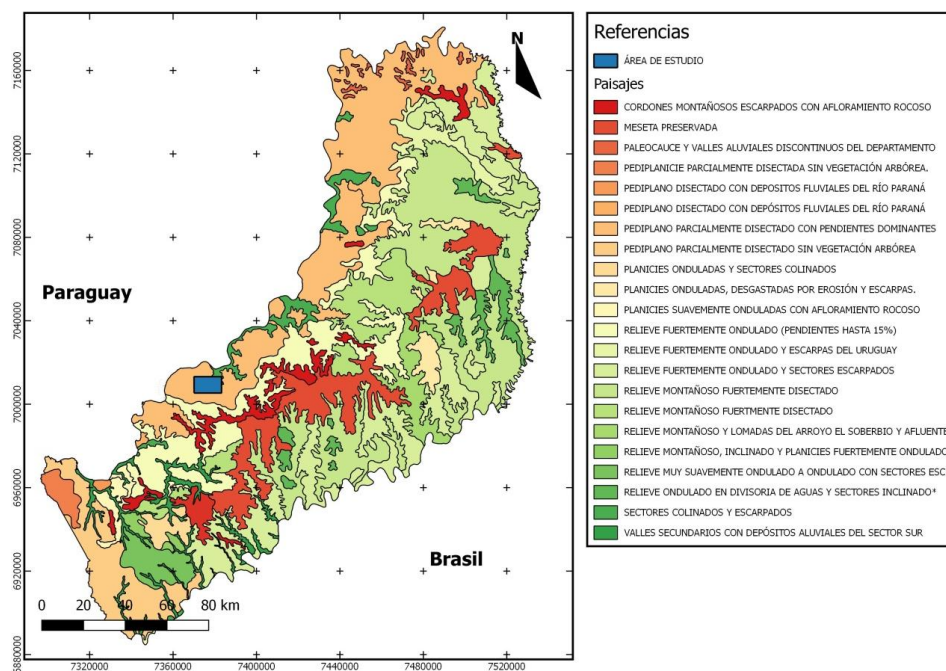
La formación Ubajay (Gentili y Rosenman, 1974), está integrada por una serie de pesfitas gruesas con una matriz arcillo-arenosa a limo-arenosa de color rojizo o amarillento. Aflora en distintos lugares del litoral argentino y en la provincia de Misiones se la ha encontrado entre las localidades de Posadas y Corpus, principalmente en el Valle de Garupá (Isla, 2013).

### **2.1.3. Fisiografía y Geomorfología**

Según la clasificación fisiográfica de la provincia (Ligier *et al.*, 2000), el área de estudio se encuentra entre el Paisaje del Pediplano parcialmente disectado con pendientes dominantes y los Sectores colinados y escarpados cercanos al Paraná (Figura 2.4). Ambos pertenecen al

Gran paisaje del Pediplano del Paraná, que se extiende sobre la franja lateral del río homónimo con 570.586 ha. En este pediplano predominan las lomas bien definidas con inclusiones de sectores escarpados de cortas pendientes que se dirigen hacia los cursos de agua superficiales que definen una red de drenaje subparalela. Al mismo tiempo, se diferencian dos sectores dentro de la misma unidad diferenciados por el grado dominante de las pendientes, uno al norte donde no superan el 5% y otro al sur donde las pendientes son mayores al 5% (el cual incluye al área de estudio).

Geomorfológicamente, el área de estudio corresponde al sector sudoccidental de la Cuenca Sedimentaria del Paraná caracterizada por un ambiente fluvial con control estructural. Este tipo de ambiente favoreció la ocurrencia de fuertes procesos combinados de meteorización, remoción en masa y erosión hídrica. Los diseños de avenamiento son típicamente de alta densidad y de diversos tipos, con predominancia de los meándricos encajonados que poseen una excavación lateral mínima. La característica del sustrato litológico (basaltos) le confieren, en condiciones naturales, poca carga a los cursos de agua, y combinada con las marcadas pendientes, una gran velocidad. Sin embargo, el cambio de la cobertura natural del suelo por cultivos y demás actividades antrópicas, ha alterado el equilibrio por sobrecarga de sedimentos en cursos de agua y podría llevar a cambios en la evolución fluvial del área (CFI, 1977).



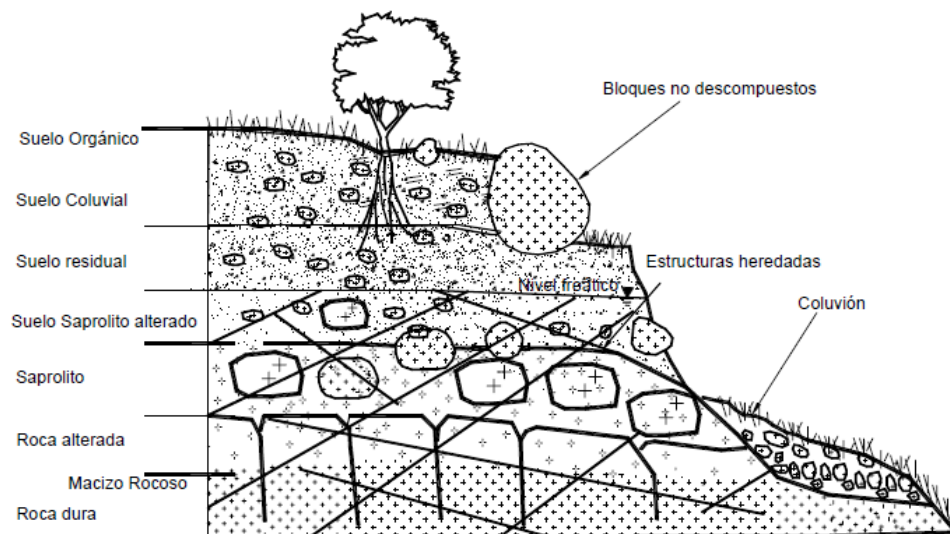
**Figura 2.4.** Mapa fisiográfico de Paisajes de la provincia de Misiones.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INTA, EEA Corrientes, Recursos Naturales.



#### 2.1.4. Suelos

Como producto de la meteorización de la piedra basáltica se han formado suelos lateríticos areno-arcilloso profundos de color rojizo, que según la clasificación del Soil Taxonomy se definen dentro de los órdenes de los Oxisoles, Ultisoles, Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles y Molisoles (Panigatti, 2010; Ligier *et al.*, 2000). Los tres primeros órdenes se los denomina genéricamente “Tierra colorada” y pueden considerarse como suelos residuales, por su formación in situ producto de una alta meteorización tanto física como química en condiciones tropicales húmedas (Reading, 1999). Los mismos son altamente heterogéneos en su estructura, fundamentalmente por la presencia de roca con diferentes grados de meteorización en profundidad (Saprolito), la formación de agregados de arcilla (clusters) o cristales de mineral meteorizado, y la herencia de discontinuidades propias del material parental (Suárez, 2013) (Figura 2.5). Esta característica origina una alta variabilidad de la conductividad hidráulica, tanto lateral como verticalmente, lo cual, junto con los distintos factores físicos, biológicos y antrópicos generan un comportamiento complejo de diversos procesos hidrológicos (Mendiondo y Tucci, 1997).

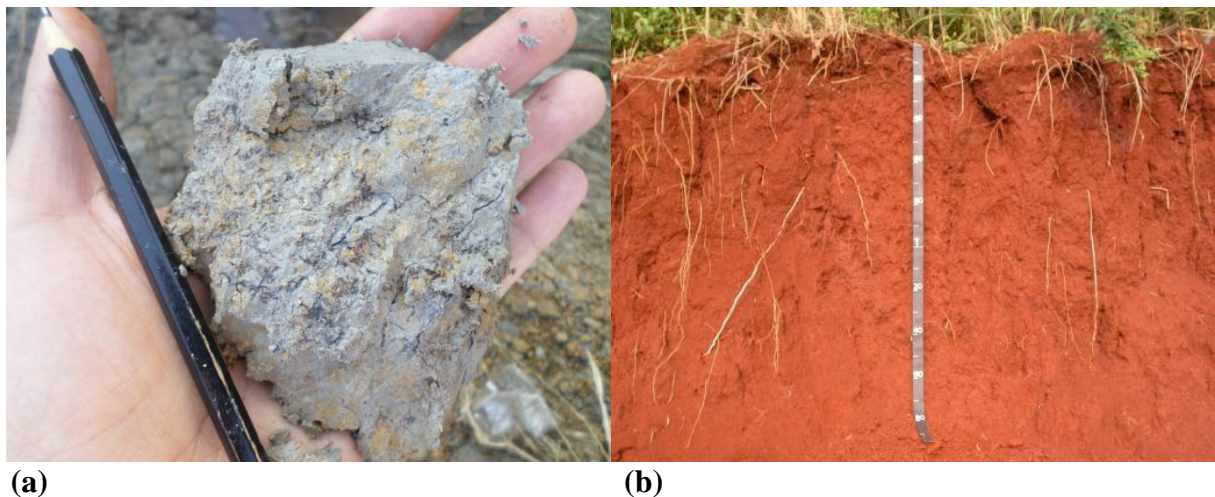


**Figura 2.5.** Perfil típico de un suelo residual sobre una ladera.

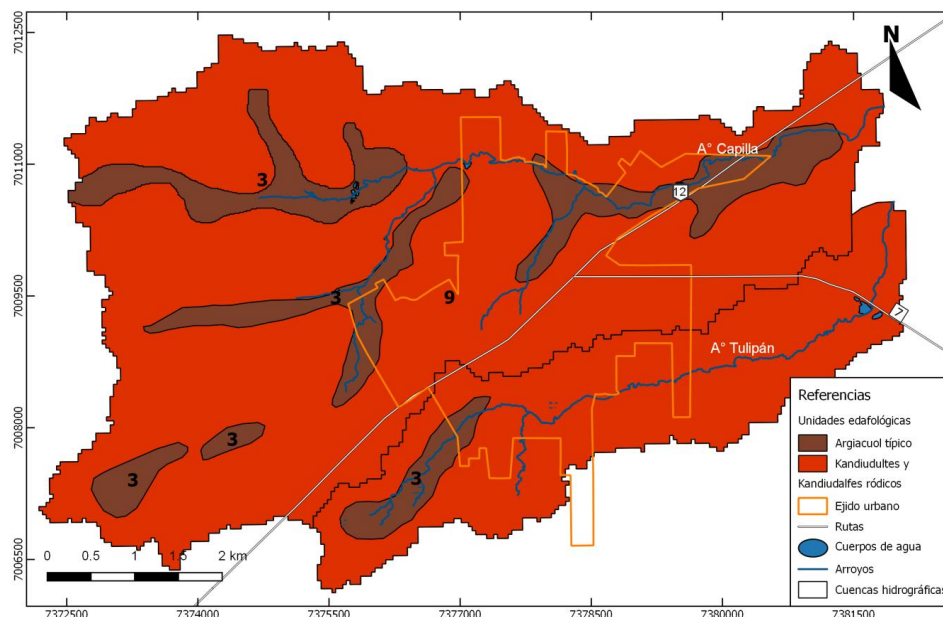
Fuente: Suarez, 2013.

Para este estudio se homologó la clasificación elaborada por C.A.R.T.A. (1964) y la correspondiente a Ligier *et al.*, (2000) debido a que la primera presenta un mayor nivel de detalle cartográfico en el área de estudio y la segunda una mejor descripción del tipo de suelo (Figura 2.7). En el área de estudio se encuentran dos unidades cartográficas edafológicas: a) la

nro 3, de suelos variadamente evolucionados, generalmente hidromórficos, ácidos, poco fértiles, derivados de depósitos aluviales y b), la nro. 9, de suelos rojos profundos muy evolucionados, lixiviados, permeables, ácidos o ligeramente ácidos y medianamente fértiles (Figura 2.6 a y b, respectivamente). La unidad nro. 9 se puede homologar en el área a Kandiudultes ródicos y Kandiudalfes ródicos. Ambos tipos de suelo pertenecen a los denominados “tierra colorada” y son de gran extensión en la provincia. El primero presenta una secuencia típica de horizontes A1, B1, B2, y B3. El primer horizonte corresponde a un epipedón ócrico, arcilloso con una saturación de bases menor al 50%, y le sigue un horizonte B kándico con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) menor a 16 cmol/kg de arcilla. Son suelos moderadamente estructurados, arcillosos en todo su perfil, bien drenados, sumamente profundos, generalmente ácidos y de mediana a alta fertilidad. Los Kandiudalfes ródicos presentan una secuencia de horizontes A1, BA<sub>t</sub>, B<sub>t</sub>, BC y R. Al igual que los Kandiudultes el epipedón es ócrico y son ricos en arcillas. Además presentan signos de iluviación en el horizonte B<sub>t</sub>, con una CIC menor a 16 cmol/kg de arcilla. La unidad nro. 3 puede asociarse al tipo Argiacuol típico, comunes en terrazas aluviales de la provincia de Misiones. Los mismos son suelos imperfectamente drenados, de escurrimiento superficial lento por su ubicación en relieve plano, de lenta permeabilidad con presencia de un horizonte B argílico de características redoximórficas (Ligier *et al.*, 2000; Panigatti, 2010).



**Figura 2.6.** Fotografías de dos suelos característicos de las unidades N° 3 (a) y N° 9 (b)



**Figura 2.7.** Mapa edafológico de las cuencas de los arroyos Tulipán y Capilla, Jardín América, Misiones.

Fuente: Elaborado a partir de las cartas edafológicas 2754-19-1 y 2754-19-2 (C.A.R.T.A, 1964) y datos de INTA, EEA Corrientes, Recursos Naturales.

## 2.1.5. Hidrología

### 2.1.5.1. Hidrografía

La gran pluviosidad en el territorio de la provincia de Misiones y sus características fisiográficas dan lugar a la existencia de numerosos cursos de aguas superficiales que nacen, principalmente, en la Sierra Central de Misiones. De estos cursos superficiales 270 desembocan en el río Paraná entre los que se encuentra el Arroyo Tabay que drena el área de estudio, mientras que 120 desembocan en el Iguazú y su principal afluente el San Antonio, y 400 en el río Uruguay (IPEC, 2012).. El control de la hidrografía local es predominantemente litológico, los cursos fluviales corren por valles estrechos, con vertientes de pendiente empinada, con fondos perfilados y surcan el paisaje a veces sobre fallas o zonas de cizalla y otras veces encajonados entre barrancas de basalto verticales que aumentan de altura considerablemente al acercarse al nivel de base (CFI, 1977).

En cuanto a la hidroquímica de los arroyos y ríos de la provincia, Avigliano y Schenone (2016) analizaron 24 cursos de agua, determinando distintos parámetros físico-químicos incluyendo  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^-$ , y los índices de calidad de agua WQI y  $\text{WQI}_{\text{min}}$  (Jonnalagadda y Mhere, 2001; Sanchez *et al.*, 2007; Pesce y Wunderlin, 2000). Todas las muestras



evidenciaron valores que categorizan al agua como buena y excelente según los índices mencionados, sin embargo no en todos los parámetros se obtuvieron valores permitidos para consumo según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Código Alimentario Argentino (CAA). Tal es el caso de la turbidez, que en todos los cursos de agua excedió los valores de referencia (3 y 5 NTU, respectivamente). También se encontraron en 4 arroyos valores de  $\text{NO}_2^-$  que superan el límite establecido por la OMS y la gran mayoría de los cursos de agua presentaron concentraciones elevadas de bacterias coliformes fecales. Por otro lado en la comparación con estudios previos (Tabla 2.1), la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^-$ , en este tipo de ambientes es siempre baja, aunque se destaca la escases de datos referidos al tema.

**Tabla 2.1.** Determinaciones antecedentes de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en distintos ambientes dentro del Bosque Atlántico. Fuente: Avigliano y Schenone, 2016

Environ Sci Pollut Res							
Table 4 Concentrations of nutrients ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in surface water reported for previous studies							
Water body	Country	Area type	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	Reference
Parapanema Basin	Brazil	AR replaced by Rural Urban (Sao Pablo)	–	–	–	1.21–7.69	Henry and Gouveia 1998
Jacaré-Pepira River	Brazil	AR replaced by Rural (Sao Pablo)	0.003–0.05	–	0.006–0.6	–	de Souza et al. 2013
Pardo River	Brazil	AR replaced by agriculture and industry	–	–	–	0.15–0.79	da Silva and Sacomani 2001
Macuco and Queixada Rivers	Brazil	AR replaced by agriculture and rural areas	–	–	–	0.01–0.42 <sup>a</sup>	Santos Simoes et al. 2008
Piray Mini River	Argentina	AR	0.03	0.042	0.93	0.41	This study
Acaraguá River	Argentina	AR and agriculture and livestock areas	0.015	0.045	0.9	0.57	This study
Zaiman River	Argentina	Urban and suburban	0.04	0.23	2.4	0.73	This study

AR Atlantic rainforest  
<sup>a</sup> Determinate as total phosphorus

### 2.1.5.1.1. Cuenca del Arroyo Tabay

El arroyo Tabay (Figura 2.2) nace en las Sierras Centrales de Misiones a 26 km del Río Paraná, se desarrolla desde el paisaje de Cordones montañosos escarpados hacia el Pediplano parcialmente disectado. Posee una cuenca de segundo orden con forma tabular y un predominio de control tectónico y litológico, un diseño de avenamiento angular-paralelo, y una densidad de avenamiento de 0,56. La superficie total de la cuenca es de 376,5  $\text{km}^2$  e incluye a los municipios de Jardín América, Puerto Leoni, Hipólito Yrigoyen, Colonia Polana, Campo Viera y Ruiz de Montoya, siendo fuente de abastecimiento de agua potable para el consumo de todo el sector urbano de la localidad de Jardín América. De igual manera, muchos cursos menores, vertientes, y el recurso hídrico subterráneo son utilizados de forma directa por pobladores en los sectores rurales (CFI, 1977; Correa *et al.*, 2012).

La cuenca se compone de las subcuencas de los arroyos las Tunas, Guayabera, Tigre, Rosita, Los Indios, Tulipán, y Capilla. Estos dos últimos atraviesan la zona urbana de Jardín América. La ocupación del suelo en la cuenca comprende, en términos generales, un 52,1% de agricultura (principalmente Yerba Mate y Té, *Ilex paraguayensis* y *Camellia sinensis*, respectivamente), 36,3 % de bosque nativo, 8,8% de bosque implantado (*Pinus taeda*, *elliotis*, y *Araucaria angustifolia*), y 2,8% de urbanizaciones (Correa *et al.*, 2012).

### **2.1.5.2. Hidrogeología**

El área de estudio se encuentra sobre distintas formaciones geológicas, una de las cuales, desde el punto de vista hidrogeológico se la denomina Acuífero Guaraní. El mismo posee una reserva de agua estimada en 40.000 km<sup>3</sup> lo que lo convierte en uno de los reservorios de agua dulce más grande del mundo (Auge, 2004). Puntualmente en el área de estudio no existe suficiente información que pueda caracterizarlo, aunque se conoce la existencia de acuíferos, por debajo del basalto, que oscilan entre 70 y 200 m de profundidad (información suministrada por pobladores locales que poseen perforaciones para consumo propio). Entre estos acuíferos y el acuífero freático podría existir conectividad hidráulica, debido a la fracturación vertical del basalto. Esta conectividad no está debidamente estudiada y para ser posible las coladas no deberían tener espesores muy potentes, aunque no se hayan establecidos los límites para que se produzca este fenómeno (Longarzo, 2007).

Por otro lado las características litológicas del Fm. Serra Geral le otorgan a la circulación del agua características anisotrópicas considerables. La permeabilidad primaria de este tipo de roca es prácticamente nula, y por tanto el flujo de agua a través de la misma depende de la conexión entre las estructuras y vesículas (en el caso del basalto alveolar). Lo cual, además, representa una dificultad para la explotación del acuífero debido a que pozos poco distantes pueden tener rendimientos muy disímiles.

Más cerca de la superficie la meteorización del basalto da lugar a una unidad estratigráfica de transición denominada saprolito, sobre la cual se forman los suelos residuales característicos de la zona. Esta unidad presenta una alta heterogeneidad y está constituida por litorelictos de coloración blanca amarillenta con distinto grado de alteración. El saprolito (vulgarmente denominado tosca) y el suelo residual conforman el medio en el cual se encuentra el acuífero somero, con presencia a poca profundidad de las coladas basálticas (hasta 25 m de profundidad). La circulación de agua en este tipo de medio está controlada por distintas

variables: Presencia de roca suelta con distintos grados de meteorización, estructuras heredadas de la roca madre, diques y ductos internos (Suarez, 2013).

La presencia de roca no meteorizada o en proceso de meteorización puede resultar en la interrupción del flujo vertical del agua, generando acuíferos colgados a poca profundidad. El sistema de fracturas y diaclasas en rocas ígneas, generan una meteorización diferencial en la roca por la circulación de agua a través de las aberturas, lo cual acelera la meteorización física de las paredes de la roca creando superficies de debilidad. Por otro lado el agua puede depositar arcillas u otros materiales dentro de las diaclasas y fracturas. Estas discontinuidades generan flujos preferenciales de agua o bien zonas de menor permeabilidad, dependiendo de si han sido rellenadas y con qué tipo de material (Blight, 1997; Suarez, 2013).

Otro fenómeno notable en este tipo de medio es la presencia de ductos naturales que sirven como vías de flujo preferencial para el agua. Hursh (1944) describió este fenómeno, que implica una descarga rápida del agua de precipitación a los cursos superficiales, alcanzándose, inclusive, el flujo turbulento dentro de estos ductos. La mayoría de las veces estos son creados por la flora y fauna edáfica en su movimiento a través de la matriz del suelo, pero en otras ocasiones se forman vías preferenciales casi cilíndricas gracias a la acción erosiva de los flujos subsuperficiales que arrastran los materiales más finos del suelo posibilitando la conexión longitudinal de macroporos. Comúnmente a estos macroporos interligados longitudinalmente se los conoce como “Piping” (Jones, 1971). Estos ductos pueden ser de varios centímetros de diámetro y gran longitud. Así mismo, se sabe que pueden formar extensas redes y transportar un caudal de agua significativo en los procesos de descarga de agua hacia los arroyos (Mendiondo y Tucci, 1997).

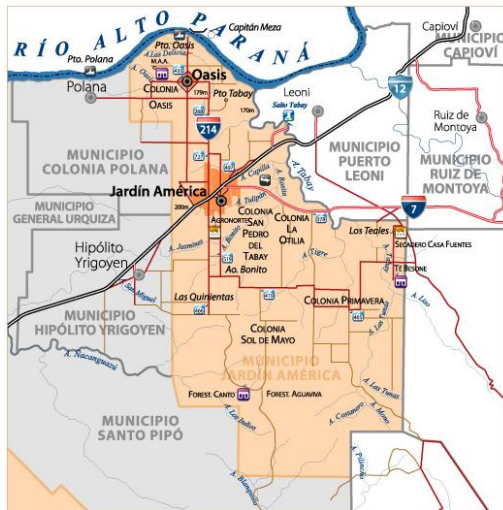
#### **2.1.6. Características del centro urbano**

El municipio de Jardín América (Figura 2.8) es el más extenso y con mayor cantidad de habitantes del departamento San Ignacio, con 25.726 habitantes es la sexta ciudad más grande de la provincia. Su territorio es de 346 km<sup>2</sup> en una altura media de 208 m.s.n.m. El mismo se encuentra sobre el cruce de la Ruta Provincial N° 7 y la Ruta Nacional N° 12 y limita con los municipios de Hipólito Yrigoyen, Colonia Polana y Santo Pipó, del mismo departamento; Puerto Leoni y Ruiz de Montoya del departamento Libertador General San Martín, Campo Viera del departamento Oberá y Campo Grande del departamento Caingúas. Dentro del

municipio de Jardín América se encuentra el núcleo urbano de Oasis, ubicado al norte de la localidad y a sólo 3 kilómetros de la costa del Río Paraná.

Según datos del Censo de Población, Hogar y Vivienda 2010, del total de habitantes de la localidad, 22.762 personas viven en las zonas urbanas, 821 en zonas rurales de forma agrupada y 2.143 en la zona rural de forma dispersa. De 7.035 hogares censados 1.527 presentan al menos un indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), lo que representa 21,8%, mientras que para el total de la provincia es de 15,63%. Si se verifica este mismo indicador en términos de población, el porcentaje se incrementa al 25,3 %.

Por otro lado, la densidad poblacional máxima en la localidad es 76,8 hab/km<sup>2</sup>, mientras que para la provincia es de 37 hab/km<sup>2</sup> (IPEC, 2012).



**Figura 2.8.** Ubicación geográfica y límites políticos de la localidad de Jardín América, Misiones.

Fuente: IPEC, 2012

En cuanto a las variables de incidencia en la determinación del riesgo hídrico poblacional por contaminación del sistema hídrico con efluentes cloacales, las Tablas 2.2 y 2.3 exponen la situación general del municipio de Jardín América, el departamento San Ignacio y la provincia de Misiones. Las Figuras 2.9 y 2.11 ilustran los tipos de infraestructura comúnmente utilizados para la captación de agua y la disposición de excretas. Cabe destacar que la utilización de cámara séptica es un tratamiento primario de las aguas cloacales que permite la decantación de la parte sólida y la actuación de bacterias aerobias y anaerobias reduciendo hasta un 40% la demanda biológica de oxígeno (Lewis *et al.*, 1988).

**Tabla 2.2.** Hogares por procedencia de agua para beber y cocinar según área de gobierno local.

Fuente: IPEC. Sistema de Información de Estadística Local (SIEL)

JURISDICCIÓN	TOTAL	PROCEDENCIA DE AGUA PARA BEBER Y COCINAR					
		Red pública	Perforación con bomba a motor	Perforación con bomba manual	Pozo	Transporte por cisterna	Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia
Total Provincia	302.953	217.858	23.402	1.714	49.861	1.130	8.988
Dpto. San Ignacio	15.532	10.895	1.381	83	2.676	41	456
Municipio Jardín América	7.035	5.144	405	36	1.324	29	97



**Figura 2.9.** Pozos artesanales de extracción de agua del acuífero somero, para consumo humano.

**Tabla 2.3.** Hogares por tipo de desagüe del inodoro según área de gobierno local. Fuente: IPEC. Sistema de Información de Estadística Local (SIEL)

JURISDICCIÓN	TOTAL	DESAGÜE DEL INODORO			
		A red pública (cloaca)	A cámara séptica y pozo ciego	Sólo a pozo ciego	A hoyo, excavación en la tierra, etc.
Total Provincia	285.156	56.283	115.882	61.007	51.984
Dpto. San Ignacio	14.461	134	7.872	2.950	3.505
Municipio Jardín América	6.624	71	3.906	1.417	1.230

Nota: La localidad de Jardín América cuenta, en un sector reducido, con una red cloacal. La misma no está en funcionamiento y no posee salida, por lo que los desechos de las viviendas conectadas a esta red terminan finalmente en el subsuelo.



**Figura 2.10.** Letrina cercana al cauce del A° Capilla en su cuenca media.

## **2.2. Determinación del Riesgo hídrico poblacional por radio censal**

En este estudio se adaptó la metodología propuesta por Herrero (2006) para la determinación del riesgo hídrico poblacional (RHP) (Ec. 2.1) constituido por la amenaza de contaminación y la vulnerabilidad social ante la misma. Como modificación de la metodología adoptada, la distribución espacial del índice RHP se planteó a partir de radios censales, y no se trabajó con los datos homologados a subcuencas. Debido a que la homologación hubiese implicado combinar en algunas subcuencas información de radios censales muy disimiles en densidad y extensión. Condición dada por el hecho de que el área de estudio abarca zonas urbanas, rurales y semiurbanas.

Para la construcción del índice RHP (Ec. 2.1) se utilizó una secuencia de índices que se integran jerárquicamente. En principio se convirtió la información de base por radio censal, de términos nominales a porcentuales, luego se procedió a clasificar los conjuntos de valores con el método de rupturas naturales (Jenks, 1977) en cinco clases otorgándoles a cada clase el valor de su numeración respectiva. A partir de ahí cada radio censal toma el valor de la clase a la que pertenece y ese valor integra la composición de los índices de mayor jerarquía. Este procedimiento se realizó en forma sucesiva hasta lograr para cada radio censal su valor del índice RHP, una vez obtenido el valor de dicho índice (que varía entre 1 y 25) se clasificó el conjunto de valores por el método de Jenks (1977) para su evaluación y representación.

A continuación se desglosa la composición del índice RHP.

$$RHP = AC \cdot VS \quad (2.1)$$

Donde

RHP: Índice de riesgo hídrico poblacional. Varía en 5 clases: 1 (mínimo) y 5 (máximo)

AC: Índice de amenaza de contaminación, 1 (muy bajo), 2, 3, 4, y 5 (muy alto)

VS: Índice de vulnerabilidad social, 1 (muy bajo), 2, 3, 4, y 5 (muy alto)

### 2.2.1. Vulnerabilidad social

La Vulnerabilidad social (VS) se determinó a partir de datos del Censo de Hogar, Población y Vivienda del 2010 (INDEC, 2014) elaborados en términos porcentuales. Estos datos comprenden a las variables que demuestran cuales son las fuentes de agua para consumo utilizadas, los medios de captación que se utilizan, el tipo de disposición y tratamiento de los efluentes cloacales y la densidad poblacional.

El índice de VS se determinó a partir de la definición de los índices de VS por acceso al recurso hídrico ( $VS_{RH}$ ), por disposición de excretas ( $VS_{DE}$ ), y por densidad poblacional ( $VS_{DP}$ ) según la Ecuación 2.2

$$VS = VS_{RH} + VS_{DE} + VS_{DP} \quad (2.2)$$

Donde

VS: Índice de vulnerabilidad social,

$VS_{RH}$ : Índice de vulnerabilidad social por acceso al recurso hídrico,

$VS_{DE}$ : Índice de vulnerabilidad social por disposición de excretas

$VS_{DP}$ : Índice de vulnerabilidad social por densidad poblacional

La valoración de cada índice es: 1 (muy bajo), 2 (bajo), 3 (medio), 4 (alto), y 5 (muy alto)

Las variables utilizadas para el cálculo del índice  $VS_{RH}$  (Ec. 2.3) se refieren al tipo de fuente de captación del recurso hídrico, y fueron: acceso al agua por red pública (RP), por perforación con bomba a motor (PBMt), por perforación con bomba manual (PBMn), por pozo (P), a través de transporte por cisterna (TC), y por captación de agua de lluvia, río, canal o arroyo (LlyA). Para el cálculo de  $VS_{DE}$  (Ec. 2.4), las variables fueron: disposición de excretas a cámara séptica y pozo ciego (CS), sólo a pozo ciego (PC), y a hoyo, excavación en la tierra (H). Cabe destacar que en el caso del índice RP, la asignación de los valores mediante



el método de rupturas naturales fue de manera contraria al resto de las variables, por su relación inversamente proporcional a la vulnerabilidad.

La ponderación, en cada ecuación, tuvo en cuenta si el factor no aporta a que se agrave la vulnerabilidad social (1), lo hace de manera intermedia (3) o alta (5). El índice  $VS_{DP}$  se calculó en función a los valores de densidad poblacional, a partir del método de clasificación de Jenks en cinco clases, del mismo modo en que fue utilizado para las demás variables.

$$VS_{RH} = RP + 3 \cdot (PBMt + PBMn + P + TC) + 5 \cdot LlyA \quad (2.3)$$

$$VS_{DE} = CS + 3 \cdot PC + 5 \cdot H \quad (2.4)$$

### 2.2.2. Amenaza por contaminación

La amenaza por contaminación (AC) se determinó por medio del análisis de la concentración de Nitratos ( $NO_3^-$ ) y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, la cual se evaluó a partir del método EKv (Auge, 2003). A diferencia de Herrero (2006) no se incluyó explícitamente en el índice la contaminación bacteriológica, por la baja intensidad de muestreo. Sin embargo el análisis de presencia/ausencia de *Escherichia Coli* fue considerado como un análisis complementario en el análisis espacial del área de estudio.

Para el cálculo del índice AC (Ec 2.5) se determinó un índice clasificado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero ( $EKv_c$ ) y un índice de concentración de Nitratos ( $NO_3^-$ ). Para el primero se censaron 97 puntos donde se determinó el espesor de la zona no saturada (a partir de la medición de la profundidad del nivel freático) y se infirió la permeabilidad vertical de la misma con información de las cartas edafológicas del área. Para el índice de concentración de  $NO_3^-$  se tomaron 33 muestras de agua en pozos y cursos superficiales y se determinó su concentración mediante los métodos Salicilato de Sodio y Reducción de Cadmio. A partir de las determinaciones de laboratorio y de los valores de EKv, se realizaron mapas con la interpolación de Kriging a través del software Surfer 11. Para la generación de ambos índices se tomaron de los mapas respectivos el valor medio para cada radio censal mediante el software QGIS. Luego se procedió a clasificar los conjuntos de valores con el método de rupturas naturales en cinco clases otorgándoles a cada clase el valor de su numeración respectiva.

$$AC = EKv_c + NO_3^- \quad (2.5)$$



Donde

AC: Índice de amenaza de contaminación,

EK<sub>Vc</sub>: Índice clasificado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero,

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Índice de concentración del ion nitrato,

La valoración de cada índice es: 1 (muy bajo), 2 (bajo), 3 (medio), 4 (alto), y 5 (muy alto)

### 2.2.2.1. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero

Existen básicamente dos posturas con respecto a la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. La primera, considera a la vulnerabilidad como una característica propia del acuífero, dadas sus cualidades naturales (Vulnerabilidad intrínseca). La segunda incluye, además, al tipo y carga del contaminante (Vulnerabilidad específica). Según Auge (2003) la segunda postura abarca implícitamente el concepto de riesgo. Coincidiendo con este autor y siguiendo la línea conceptual de este trabajo (Teoría Social del Riesgo), se puede analizar que en la concepción de vulnerabilidad específica se incluye al factor amenaza, al incluir características del contaminante en particular. Por lo que, en este estudio, adherimos a la primera postura y de acuerdo a esto consideramos a la vulnerabilidad de un acuífero como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales” (Vrba y Zaporozec, 1994). Basados en estas posturas, se han desarrollado diversos métodos para la determinación de la vulnerabilidad, algunos más generalistas y otros más adecuados a distintos tipos de acuíferos en particular. Algunos más complejos y otros más sencillos. En este trabajo se optó por el método Ekv (Auge, 2003), desarrollado para acuíferos libres, debido a la facilidad de su aplicación.

El mismo utiliza dos parámetros; la profundidad del nivel freático o espesor de la zona no saturada (E) y la permeabilidad vertical de la misma (Kv). Asignándoles según los valores de cada uno, un índice que va desde 1 (muy bajo) a 5 (muy alto) (Tablas 2.4 y 2.5).

**Tabla 2.4.** Índices asociados a rangos de profundidad del nivel freático

<b>Espesor de la ZNS (E)</b>					
<b>E (m)</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>5 - 15</b>	<b>15 - 30</b>	<b>30 - 50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>índice</b>	5	4	3	2	1

**Tabla 2.5.** Índices asociados a rangos de profundidad del nivel freático

<b>Permeabilidad vertical de la ZNS (Kv)</b>					
<b>Kv (m/día)</b>	< 1.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-3</sup> - 0,01	0,01 - 1	1 - 50	50 - 500
<b>índice</b>	1	2	3	4	5
<b>Calificación</b>	muy baja	baja	media	alta	muy alta

Sumando ambos parámetros se obtiene el valor de vulnerabilidad que varía entre 1 y 10 (Tabla 2.7).

**Tabla 2.6.** Valores posibles del índice Ekv según el valor de sus componentes.

	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
	<b>2</b>	7	6	5	4	3
<b>Kv</b>	<b>3</b>	8	7	6	5	4
	<b>4</b>	9	8	7	6	5
	<b>5</b>	10	9	8	7	6
		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
				<b>E</b>		

La profundidad del nivel freático para todo el área de estudio se obtuvo a partir de las mediciones en campo, con 97 muestras. Para la determinación de la permeabilidad vertical se adoptaron valores recomendados por la bibliografía para las distintas unidades y tipos de suelo. Específicamente se consideró una permeabilidad media (0,01 – 1 m/día) para la unidad nro. 3; y una permeabilidad alta (1 – 50 m/día) para la unidad nro. 9.

Una vez obtenido los valores del Índice Ekv para cada punto de muestreo, se procedió a generar un mapa de Vulnerabilidad intrínseca del acuífero mediante una interpolación con el método Kriging, a través del software Surfer 11. De este mapa se extrajeron los valores medios de la variable para cada radio censal con el complemento Raster Statistics del software QGIS. Posteriormente se clasificó el conjunto de valores según el método de rupturas naturales en cinco clases, asignando a cada radio censal la numeración respectiva de la clase a la que pertenece. De esta manera se construyó el Índice clasificado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero (EKV<sub>c</sub>) para cada radio censal, que varía de 1 (vulnerabilidad muy baja) a 5 (vulnerabilidad muy alta).

### **2.3. Diseño experimental, recolección de datos a campo y análisis de laboratorio**

Para la toma de datos y muestras a campo se efectuaron cinco campañas; la primera fue realizada en el mes de Octubre de 2014, y la segunda, la tercera, la cuarta y la quinta durante Enero, Abril, Julio, y Diciembre de 2015 respectivamente. Durante estas campañas se realizó la toma de diferentes datos que se detallan a continuación.

Respetando los límites, previamente definidos, de las cuencas de los arroyos Tulipán y Capilla, se efectuó durante la primera campaña de muestreo (Octubre de 2014) la medición de la altura del pelo de agua de los arroyos y la profundidad del nivel freático en cinco series de pozos sobre el arroyo Tulipán y ocho series sobre el arroyo Capilla. Cada una de estas series se localizó en forma transversal a los cauces. Durante las campañas siguientes se realizaron las mismas mediciones seleccionando de cada serie de pozos aquellos que pudieron confeccionar una transecta lo más recta y perpendicular a los cauces que fue posible, con el fin de evaluar la interacción agua superficial-agua subterránea en las distintas estaciones del año hidrológico.

A los fines de describir la dinámica hidrológica de toda el área de estudio, a través de la descripción de la superficie freaticométrica y las líneas de flujo subterráneo, se realizó junto a la medición de las transectas, en la tercera campaña de muestreo (Abril de 2015), un censo de pozos distribuidos dentro del área comprendida entre las dos cuencas, obteniéndose la profundidad del nivel freático y la profundidad del pozo hasta el basamento en los casos en que fue posible, y la altura del pelo de agua en los arroyos.

Para la evaluación del proceso de contaminación por aguas servidas se tomaron muestras para caracterizar la composición química del agua y evaluar posibles cambios en su calidad debido a los efectos de atravesar el casco urbano.

Para conocer las características naturales del agua superficial en la zona se colectaron dos muestras aguas arriba sobre cada uno de los arroyos, y se procedió a determinar los parámetros físicos y su composición en iones mayoritarios.

Como indicadores del proceso de contaminación por aguas servidas en el casco urbano se determinó en Julio de 2015 (cuarta campaña de muestreo) la concentración del ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en 33 muestras y presencia/ausencia de *Escherichia coli* en 20 muestras, tanto en cursos de agua superficial como en pozos. Además se tomó en campo la conductividad eléctrica en 97 pozos de agua y cursos de agua superficiales con el fin de ver, a través de este parámetro, cambios espaciales en la calidad de agua.

En la quinta campaña de muestreo, y una vez obtenidos los resultados de laboratorio del ion nitrato y *Escherichia coli*, se decidió tomar 5 muestras más de los pozos y puntos sobre los arroyos con valores positivos de *E. Coli* y altos valores de  $\text{NO}_3^-$  y determinar concentración de bacterias Coliformes fecales, amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ion nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nuevamente, a fin de obtener más información sobre el proceso de contaminación.

Las determinaciones de los parámetros físicos y químicos de caracterización del agua en condiciones naturales se detallan en los Anexos 7.1 y 7.2, en los mismos se especifican los métodos utilizados para la determinación de cada parámetro. Estos análisis fueron realizados en los laboratorios del Grupo Consultor Mesopotámico SRL (GRUCOME), empresa de alta trayectoria radicada en la provincia de Misiones. Los análisis de la quinta campaña de muestreo correspondientes a los parámetros  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_3$  (Anexo 7.3) también se realizaron en dicho laboratorio, a través de los métodos de Salicilato de Sodio (CTUA), Método de la sulfanilamida (SM 4500-  $\text{NO}_2^-$  B) y Método de la sal de fenol (SM 4500- $\text{NH}_3$  D), respectivamente.

En la cuarta campaña de muestreo se obtuvieron 33 muestras para determinación de  $\text{NO}_3^-$  de las cuales 13 fueron realizadas por GRUCOME SRL. (Anexo 7.4) y 20 fueron analizadas en laboratorios de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) a través del Método de reducción de Cadmio (SM 4500 –  $\text{NO}_3^-$  E), utilizando el espectrofotómetro Hach DR4000.

Los análisis bacteriológicos de *Escherichia Coli* y Coliformes fecales se realizaron en CLA Consultora y Laboratorio de Análisis de Alimentos, a través de los métodos APHA:1995 e ISO 9308-2:2012, respectivamente (Anexos 7.5 y 7.6).

#### **2.4. Obtención y corrección del Modelo Digital de Elevación**

Para la obtención de los valores de altura del terreno que sirvieron como cota para determinar la altura del nivel freático y el basamento geológico en metros sobre el nivel del mar, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE). Estos modelos actualmente tienen un uso muy difundido en diversas áreas y han demostrado ser útiles en diversos estudios de precisión, con previas correcciones altimétricas, por ejemplo en el área de hidráulica (Burgos y Salcedo, 2014)

Para este trabajo se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar), generado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a partir de información de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Cabe destacar que si bien la resolución del modelo SRTM es mayor (30 m por píxel) que el MDE-Ar (45 m por píxel), este último demostró mayor precisión que el primero e inclusive mejores resultados que otros modelos digitales de elevación como al SRTMv4.1 y el ASTER GDEM, tomando como referencia la base de datos altimétrica del IGN (IGN, 2014).

Una vez descargados los archivos del MDE-Ar correspondientes a la zona de estudio se le realizaron correcciones, siguiendo las recomendaciones de Burgos y Salcedo (2014) con modificaciones pertinentes al caso; utilizando el software ArcMAP® con previo conocimiento del terreno obtenido de las sucesivas salidas a campo. En primer lugar, se procedió a quitar elevaciones de forma general, correspondientes principalmente a vegetación nativa e implantada. Para esto se procedió a invertir el MDE con la opción “*raster calculator*” de la herramienta “Spatial Analyst” introduciendo la fórmula: archivo de salida = 275 – archivo de entrada (275 es el valor de máxima altura del MDE en el área de estudio) luego se utilizó la herramienta ArcHydro aplicando la función *Fill Sink* con un parámetro de relleno de 5 m (opcion *Fill threshold – DEM Z unit-*). Posteriormente se invirtió nuevamente el MDE con la herramienta “Spatial Analyst” de la forma anteriormente descrita. Luego se procedió a aplicar el “quemado de la red de drenaje”. Esta función permite corregir efectos de variación de la pendiente a lo largo del valle de inundación ocasionados por disturbios antrópicos o bien por la cobertura boscosa ribereña. Para ello se utilizó la función “*DEM Reconditioning*” de la herramienta ArcHydro, en base a un archivo vectorial de la red de drenaje activa, generado a partir del software Google Earth y verificado a campo con un GPS. De esta manera se fue ajustando los parámetros de la función hasta obtener un resultado muy similar a la realidad observada a campo. Una vez aplicada esta función el MDE continuaba con pequeñas depresiones que se corrigieron, exitosamente, con la herramienta “*Fill Sink*” utilizada antes en la corrección de elevaciones falsas. Por último se procedió a corregir 5 pequeñas deformaciones puntuales en el modelo, fusionando el MDE con un archivo de polígonos asociados a valores de altura de los píxeles circundantes a cada uno.

## **2.5. Elaboración de Mapas**

Para la elaboración de todos los mapas se utilizó como plataforma de superposición de capas y salida gráfica el software QGIS. Cada uno se obtuvo de la combinación de información provista de distintas fuentes, y a través de distintos procesos de acuerdo a los objetivos perseguidos para cada mapa. Los elementos gráficos comunes a distintos mapas, que sirven para la referenciación del área mostrada, fueron en algunos casos de elaboración propia como la delimitación de las cuencas y la red de drenaje, el trazado de las rutas principales, y la identificación de puntos de muestreo, y en otros casos provistos por fuentes ajenas, como la delimitación de radios censales obtenida de la página web: <http://geoservicios.indec.gov.ar/>, del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), mapas políticos y red de drenaje para la provincia de misiones obtenidas de la base de datos geográfica IGN (<http://www.ign.gob.ar/sig>), imágenes satelitales Sentinel-2A de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) obtenidas a través del complemento Semi-automatic Classification Plugin de QGIS y el Modelo Digital de Elevación MDE-Ar del IGN, obtenido también de su página web.

### **2.5.1. Mapas de índices por radio censal**

Los distintos índices que conformaron al índice RHP se trabajaron en planillas de cálculos con el software Microsoft Excel 2010. Una vez obtenidos los resultados, se procedió a fusionar las tablas en extensión .csv (Valores delimitados por comas) con las tablas de atributos de las capas vectoriales de radios censales.

### **2.5.2. Mapa de cuencas hidrográficas y red de drenaje**

Una vez corregido el MDE, se lo utilizó para la delimitación de las cuencas hidrográficas con el software Global Mapper 15.1. El mismo posee la opción “*Generación de cuencas*” (Watershed Generation) en el menú Análisis. Para ejecutar esta herramienta se le asignaron a los parámetros Stream cell count y Depression fill depth, los valores 350 y 9 respectivamente. Este ajuste se corrigió con herramientas de manejo vectorial, en base a observaciones a campo.

### **2.5.3. Mapas de superficie freaticométrica, profundidad del nivel freático y gradiente hidráulico**

Con los 97 datos de profundidad del nivel freático y altura del pelo de agua sobre cursos superficiales acotados a la altura del terreno, se generó una interpolación de valores para toda el área de estudio, utilizando el método Kriging en el software Surfer 11. A partir de este mapa se calcularon, en el programa QGIS, las líneas de igual potencial hídrico con la opción *Ráster>Extracción>Curvas de nivel*, utilizando un valor de equidistancia de 5 metros. Por otro lado, a partir, del mismo archivo ráster se determinaron los vectores de flujo con la opción *“Vectores de gradiente a partir de superficie”* del complemento SAGA 2.1.2 del mismo software.

A partir del mapa de superficie freaticométrica se calculó el gradiente hidráulico a través de la herramienta *Ráster>Análisis>MDT>Mapa de pendiente*.

Para el mapa de profundidad del nivel freático se procedió a interpolar los valores de profundidad tomados en campo según el método Kriging en el software Surfer 11.

### **2.5.4. Mapas de concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Salinidad**

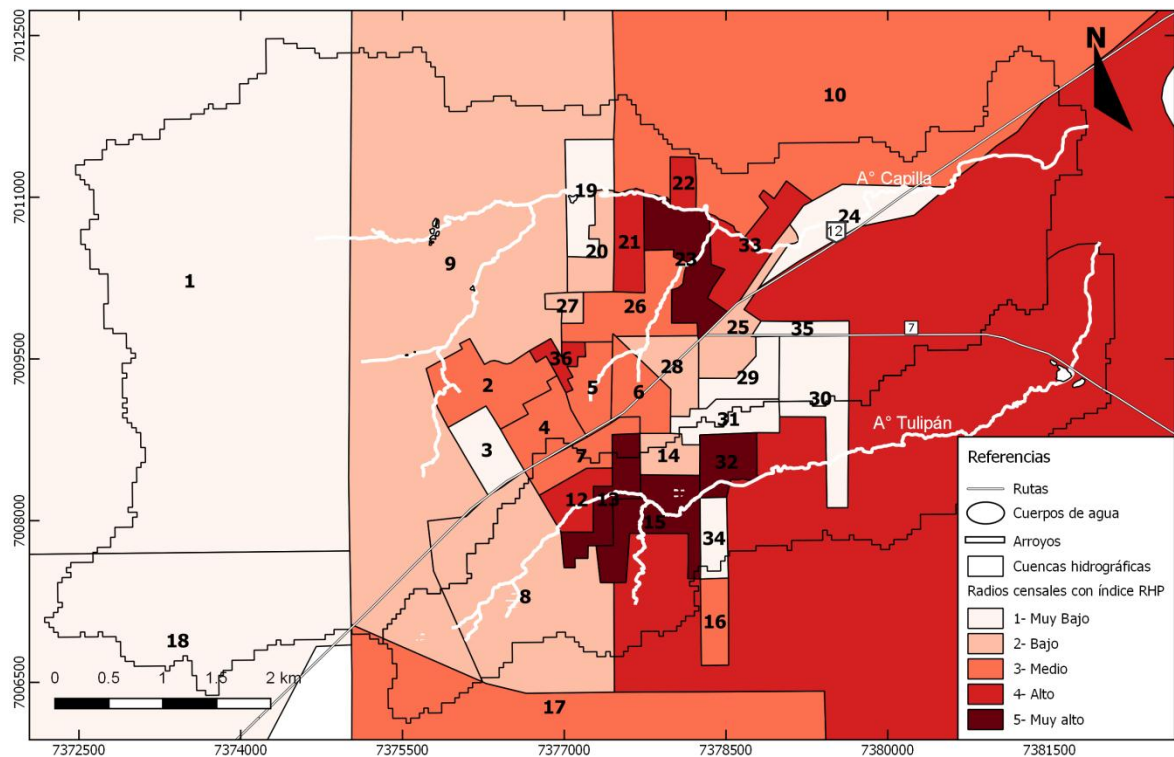
Para la elaboración del mapa de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se contaron con 33 valores determinados en laboratorio, correspondientes tanto a cursos de agua superficiales como pozos de extracción de agua subterránea. Con respecto al mapa de Salinidad se utilizaron 97 valores de conductividad obtenidos de medición a campo con un conductivímetro de mano, y se los multiplicó por el valor 0,7 para determinar el contenido de sales totales en mg/l. Para ambos mapas se procedió a utilizar el método de Kriging en el programa Surfer 11.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Riesgo hídrico poblacional

La Figura 3.1 ilustra como el índice RHP no se distribuye homogéneamente entre los distintos radios censales del área de estudio. Los radios categorizados de riesgo alto y muy alto (categorías 4 y 5 respectivamente) se encuentran cerca de los arroyos, en zonas periféricas del casco urbano y en la zona rural Este. Se observa en la cuenca del arroyo Tulipán que el mayor riesgo se registra en los radios urbanos 12, 13, 15 y 32 de la cuenca media y el radio rural 11. En la cuenca del arroyo Capilla el mayor riesgo se concentra en los radios 21, 22, 23 y 33 ubicados también en la cuenca media de dicho arroyo y el radio censal 36. El menor riesgo (categorías 1 y 2) se sectoriza en los radios del centro de la ciudad (14, 25, 28, 29, 30, 31 y 35), el radio 24 que se extiende longitudinalmente a la vera de la Ruta Nacional Nro. 12, y los radios urbanos periféricos (3, 19, 20 y 27) y rurales del Oeste de la ciudad (8, 9, 1 y 18).

En términos generales se puede corroborar un aumento del RHP, en los radios rurales, en el sentido del escurrimiento de Oeste-Este, y una mayor concentración de los radios con elevado RHP en el sur y el norte del casco urbano.

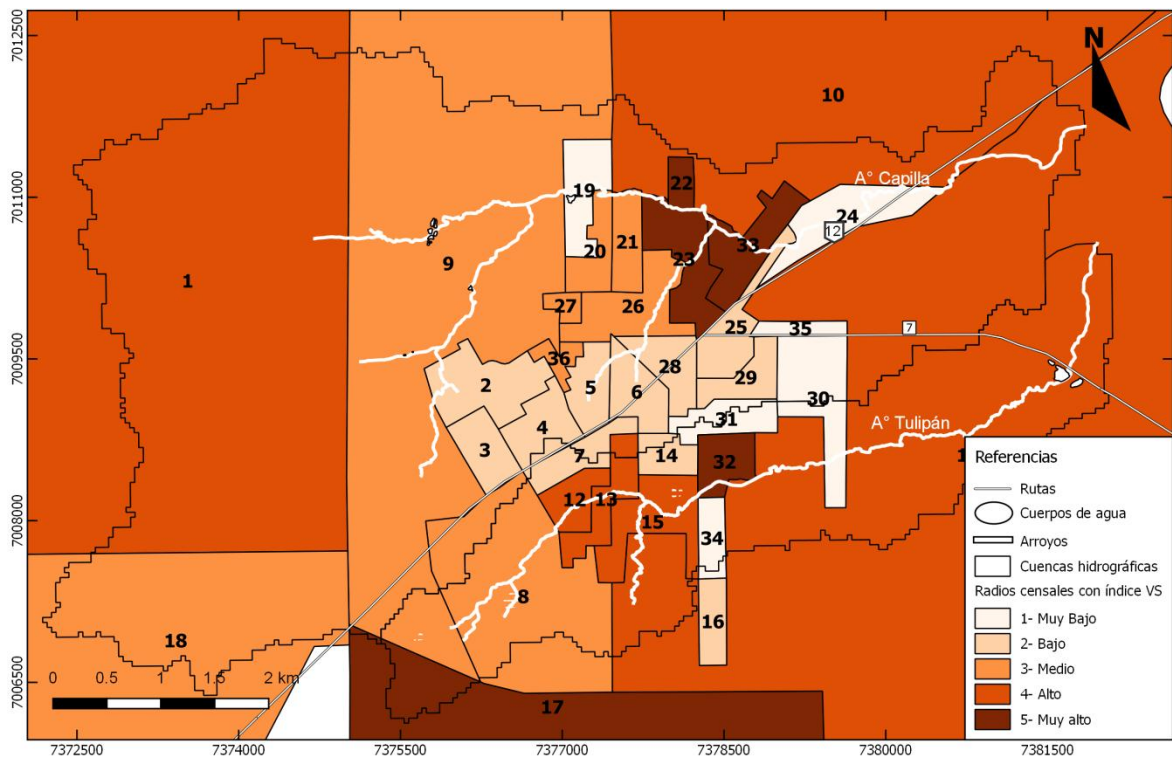


**Figura 3.1.** Mapa de Riesgo Hídrico Poblacional (índice RHP). Se detalla el número identificatorio de cada radio censal.



### 3.1.1. Vulnerabilidad social

Los radios urbanos 22, 23, 33 (cuenca del A° Capilla) y 32 (cuenca del A° Tulipán) y el radio rural 17 son los que presentan un mayor índice de Vulnerabilidad Social (VS) (Figura 3.2). El 22, 23, 33 y 17 (VS=5) presentan una alta precariedad en los sistemas de disposición de efluentes que elevan el índice de VS por tipo de disposición de excretas (VS<sub>DE</sub>) (Figura 3.3; Tabla 3.1). En el caso del radio 32 se combina una densidad poblacional muy alta (VS<sub>DP</sub>= 5) de 4.296,27 hab/km<sup>2</sup>, con la precariedad de los sistemas de disposición de aguas residuales (VS<sub>DE</sub>= 4), resultando en mayores valores de VS que los anteriores. Por otro lado, todos los radios urbanos de mayor VS se ubican en sectores con altos índices de AC (Figura 3.6),

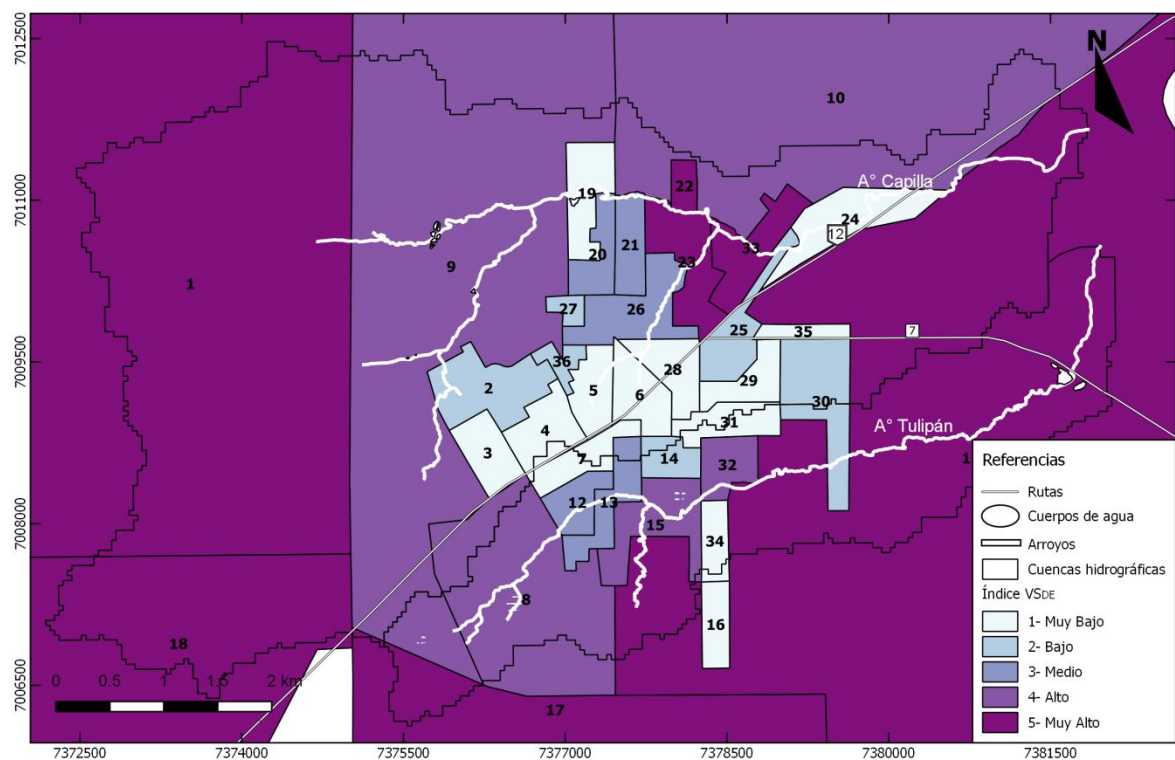


**Figura 3.2.** Mapa de Vulnerabilidad Social (índice VS). Se detalla el número identificatorio de cada radio censal.

En la distribución espacial del índice VS<sub>DE</sub> se evidencian los valores más elevados en los radios rurales 1, 18, 17 y 11, y en los radios urbanos 22, 23 y 33 (Ver Figura 3.3). Sin presentar radios urbanos con índice igual a 5 en la cuenca del arroyo Tulipán.

A excepción del radio rural 11, en todos los radios con índice igual a 5 se comprueba un porcentaje significativamente mayor en la disposición a hoyo en la tierra, con relación a la disposición a cámara séptica y pozo ciego, y solo a pozo ciego (Ver Tabla 3.1). Por otro lado

considerando todos los radios de VS<sub>DE</sub> Alto y Muy Alto se evidencia que en los mismos la falta de cámara séptica en promedio es de 70,89% con un mínimo de 53,30 y un máximo de 82,32%.

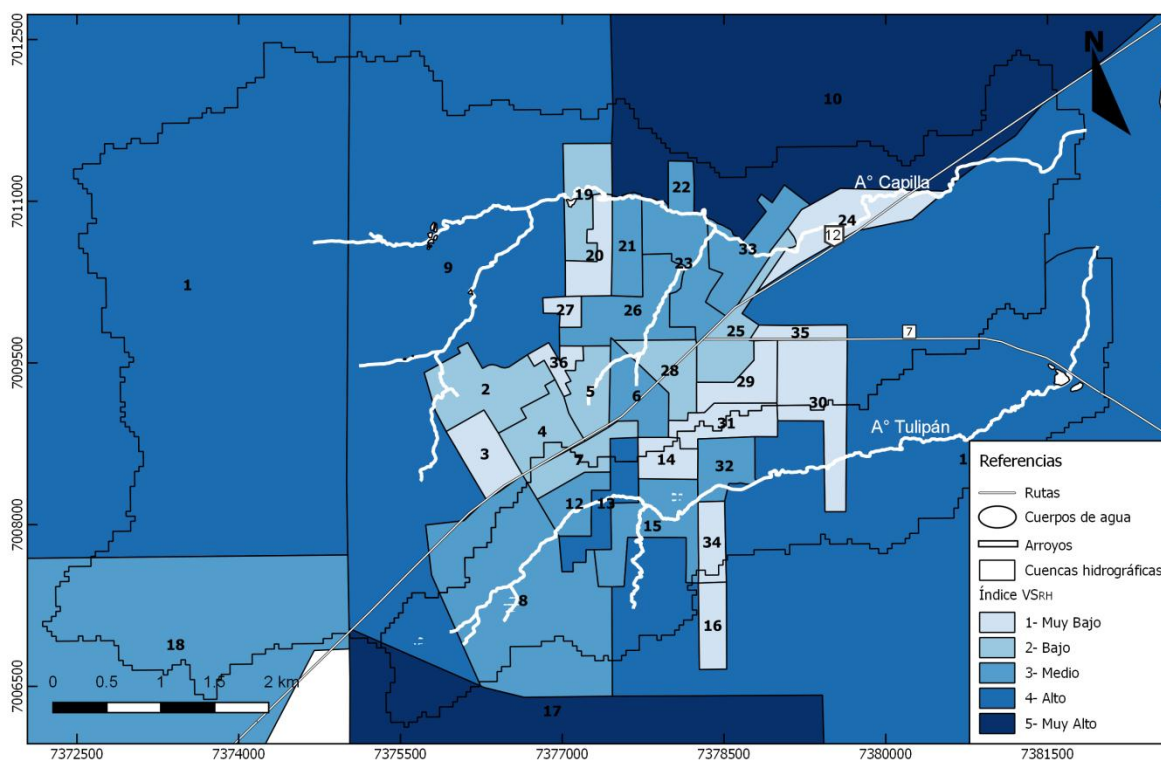


**Figura 3.3.** Mapa de Vulnerabilidad social por tipo de disposición de excretas (índice VS<sub>DE</sub>). Se detalla el número identificatorio de cada radio censal.

**Tabla 3.1.** Valores de variables utilizadas en la elaboración del índice VS<sub>DE</sub> para los radios censales categorizados como de índice VS<sub>DE</sub> Alto y Muy Alto, y % de viviendas sin cámara séptica. Se remarcan con negrita y en color rojo los radios urbanos.

ID	% A cámara séptica y pozo ciego	% Sólo a pozo ciego	% A hoyo, excavación en la tierra, etc.	% Sin Cámara séptica	Vs. Por disposicion de excretas (jenks)
<b>23</b>	<b>17,68</b>	<b>26,96</b>	<b>55,36</b>	<b>82,32</b>	<b>5</b>
1	23,40	17,02	59,57	76,60	5
17	33,33	16,67	50,00	66,67	5
<b>22</b>	<b>21,67</b>	<b>16,67</b>	<b>61,67</b>	<b>78,33</b>	<b>5</b>
<b>33</b>	<b>21,67</b>	<b>16,67</b>	<b>61,67</b>	<b>78,33</b>	<b>5</b>
11	25,69	47,92	26,39	74,31	5
18	33,87	24,60	41,53	66,13	5
8	26,87	37,31	35,82	73,13	4

10	34,25	30,14	35,62	65,75	4
15	35,97	29,86	34,17	64,03	4
32	46,70	39,21	14,10	53,30	4
9	28,19	48,32	23,49	71,81	4
Máx.	46,70	48,32	61,67	82,32	
Promedio	29,11	29,28	41,62	70,89	
Mín.	17,68	16,67	14,10	53,30	



**Figura 3.4.** Mapa de Vulnerabilidad social por tipo de acceso al recurso hídrico (índice  $VS_{RH}$ ). Se detalla el número identificatorio de cada radio censal

Analizando el índice de  $VS_{RH}$  (Figura 3.4), se concluye que los valores 4 y 5 se presentan en los radios rurales, los cual es esperable dada falta de red de agua potable, a excepción del radio urbano 13. Estos mismos radios se presentan en la Tabla 3.2 donde se puede observar los altos valores en el porcentaje de uso de agua no potable, con un promedio de 73,87%.

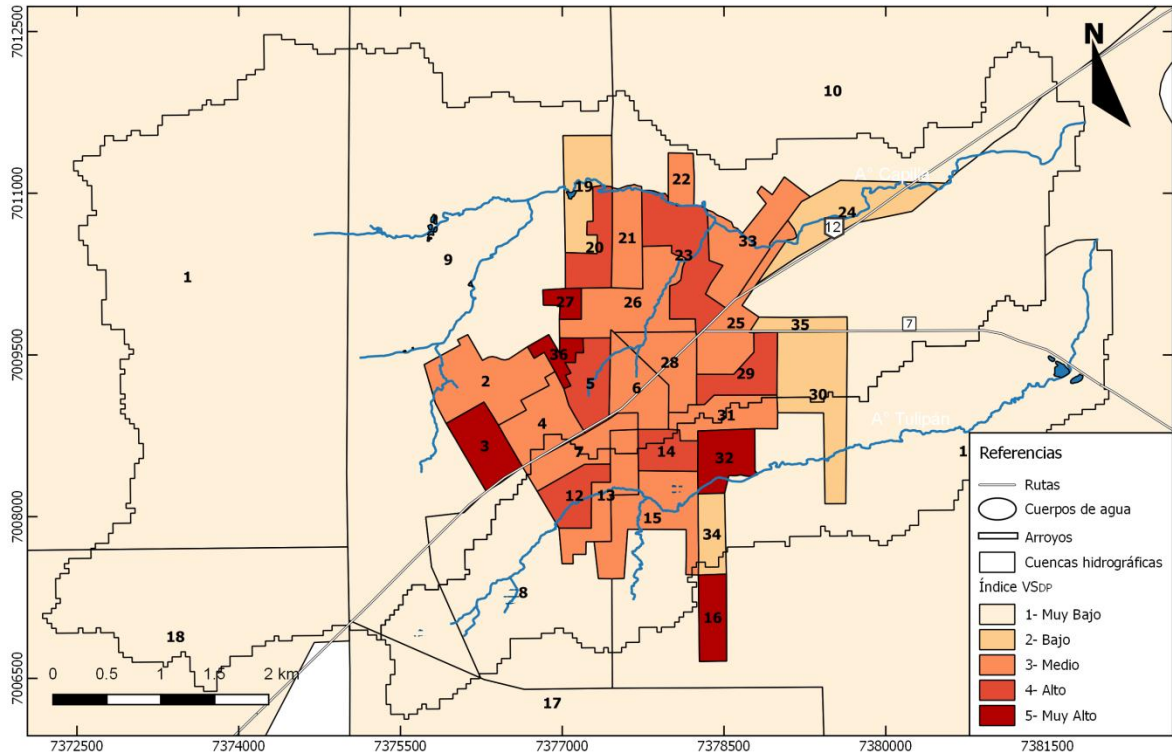
Considerando al radio urbano 13, el efecto de un  $VS_{RH}$  Alto resulta en un VS y RHP elevados (Ver Figuras 3.2 y 3.1). Esto se debe a que el sector, además de encontrarse en un área con un alto índice AC (Ver Figura 3.5), presenta solo un 55,24% de la población con acceso al agua a través de red pública de agua potable, el cual es bajo en relación a radios urbanos. Por lo cual, en dicho radio se registran valores altos en el uso de agua no potable (Ver Tabla 3.2). Es

importante resaltar que en el mismo sector el NBI es bajo (6,67%), y en la observación a campo se comprobó, que aunque es un sector relativamente heterogéneo en su composición social, la mayor parte de su población no es de escasos recursos. Datos tomados a campo revelan que un 56,8% de las viviendas censadas en toda la ciudad utilizan agua subterránea (ya sea mediante bomba o manualmente) aun teniendo conexión a la red de agua potable, debido a una preferencia de los propios usuarios

**Tabla 3.2.** Valores de variables utilizadas en la elaboración del índice  $VS_{RH}$  para los radios censales categorizados como de índice  $VS_{RH}$  Alto y Muy Alto. Se remarcan en negrita y color rojo los radios urbanos.

ID	% Red pública	% Perforación con bomba a motor	% Perforación con bomba manual	% Pozo	% Transporte por cisterna	% Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia	% Agua no potable	Vs. Por acceso al r. hídrico (Jenks)
17	2,90	30,43	10,14	44,93	0,00	11,59	97,10	5,00
10	10,71	20,24	4,76	57,14	0,00	7,14	89,29	5,00
1	20,41	34,69	0,00	26,53	0,00	18,37	79,59	4,00
11	36,36	7,79	1,30	45,45	0,00	9,09	63,64	4,00
9	31,17	20,78	2,60	42,86	0,00	2,60	68,83	4,00
13	<b>55,24</b>	<b>12,38</b>	<b>2,38</b>	<b>29,2</b>	<b>0,00</b>	<b>0,48</b>	<b>44,76</b>	<b>4,00</b>
<b>Máx.</b>	55,24	34,69	10,14	57,14	0,00	18,37	97,10	
<b>Media</b>	26,13	21,05	3,53	41,07	0,00	8,21	73,87	
<b>Mín.</b>	2,90	7,79	0,00	26,53	0,00	0,48	44,76	

En cuanto a la densidad poblacional ( $VS_{DP}$ ) no se observa una relación directa con otras variables (Figura 3.5). Algunos de los radios con mayores valores se encuentran en la periferia del casco urbano, pero no resultan en altos índices de RHP, por encontrarse en sectores más elevados del terreno con bajo índice AC y/o corresponder a planes de viviendas con bajo VS debido a la existencia de red de agua potable y disposición de excretas a cámara séptica. Sin embargo, en los radios 36, 27, 32 y 3 este índice fue el más elevado entre los que componen el índice de Vulnerabilidad social. Puntualmente para el radio 36 los índices  $VS_{DE}$  y  $VS_{RH}$  fueron de 2 y 1, respectivamente. Pero con una alta densidad poblacional el índice VS llegó a 3, y en combinación con un índice AC igual a 4, el Riesgo Hídrico Poblacional alcanzó la categorización “Alto” (4).



**Figura 3.5.** Mapa de Vulnerabilidad social por densidad poblacional (índice VS<sub>DP</sub>). Se detalla el número identificador de cada radio censal

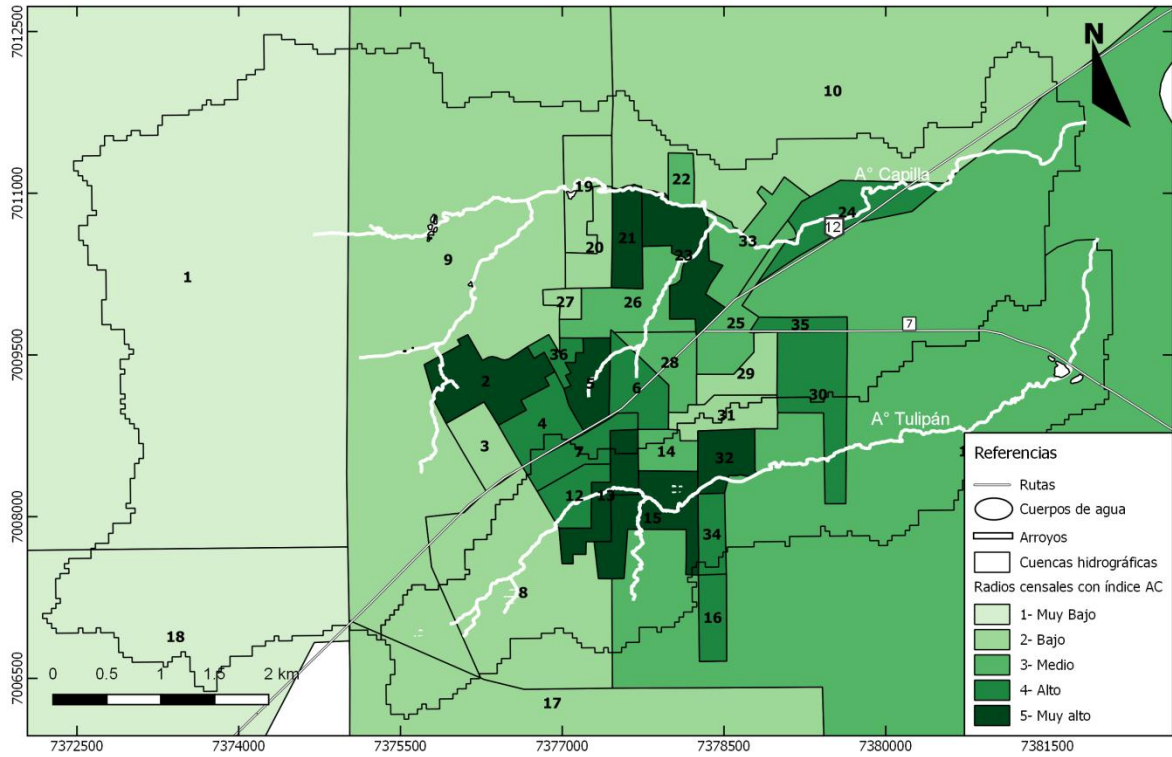
### 3.1.2. Amenaza por contaminación

En cuanto al índice de Amenaza por contaminación AC (Figura 3.6) se observa que el mismo se concentra en los radios urbanos del sur y el norte de la ciudad, sobre la cuenca media de ambos arroyos y en los radios ubicados en las nacientes de los afluentes del arroyo Capilla.

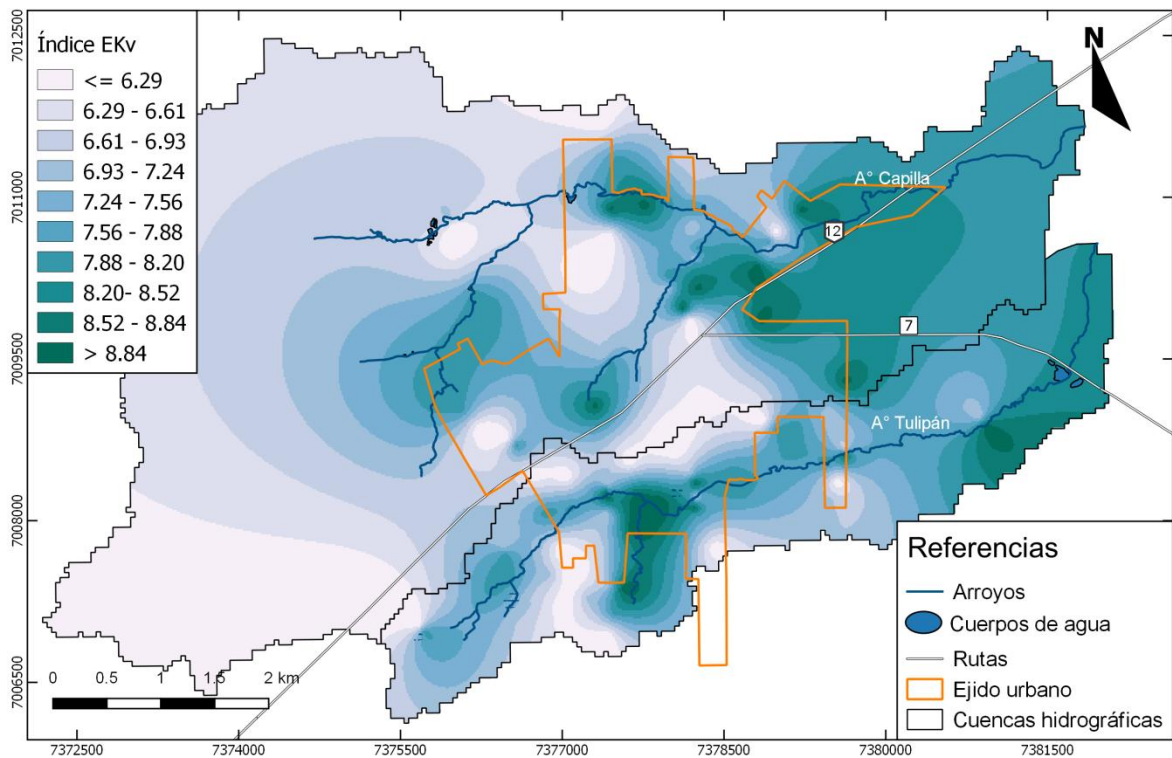
Considerando que este índice se construyó con el índice clasificado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero EKV<sub>c</sub> y el índice de concentración del ion NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se presentan en las Figuras 3.7 y 3.8, la cartografía de estos indicadores, como resultado previo a la obtención de los valores por radio censal.

Al observar la distribución del índice EKV<sub>c</sub>, se comprueba que es mayor en cercanías a los cursos de agua superficiales (Figura 3.7). En estas zonas, si bien la permeabilidad vertical es menor, el espesor de la zona no saturada es reducido.



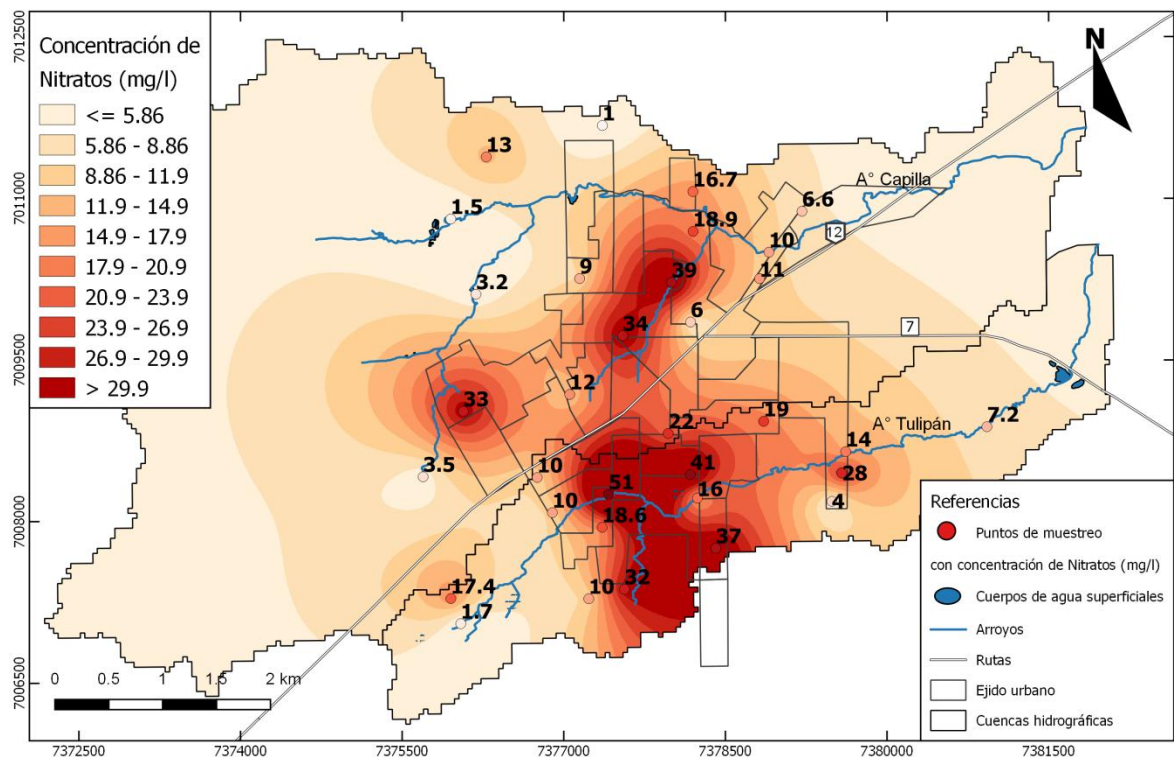


**Figura 3.6.** Mapa de Amenaza por contaminación orgánica (índice AC). Se detalla el número identificatorio de cada radio censal



**Figura 3.7.** Mapa Vulnerabilidad intrínseca del acuífero (Índice EKv) en la localidad de Jardín América, Misiones. Valores mayores indican una mayor vulnerabilidad

Por otro lado, cabe destacar que en estos sectores los suelos se desarrollan en régimen ácuico, lo cual brinda características hidromórficas importantes en algunos sectores. Este suelo característico en cercanías de los arroyos, representa un medio reductor en el cual es posible la existencia de procesos de desnitrificación (García-Montiel *et al.*, 2004; Neill *et al.*, 2005). Mitigando de esta manera la contaminación orgánica en el agua subterránea.



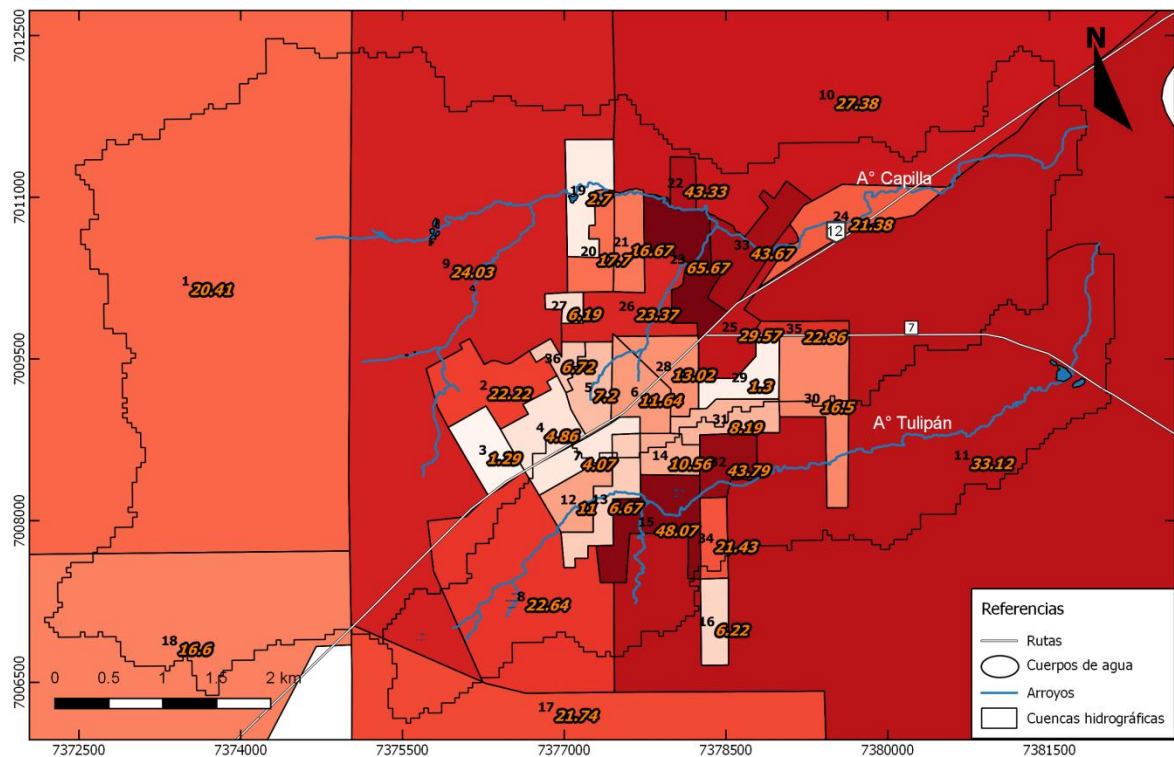
**Figura 3.8.** Mapa de distribución de la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en la localidad de Jardín América, Misiones.

Al observar la distribución de los valores de  $\text{NO}_3^-$  (Figura 3.8) se resalta que la concentración, tanto en agua subterránea como superficial, incrementa desde las altas cuencas hacia las cuencas medias, una vez que los flujos atraviesan el casco urbano. Luego, sobre las cuencas medias-bajas, al salir del casco urbano en dirección Este, los valores disminuyen. Así mismo, se observa con claridad una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  al Norte, al Sur y al Oeste del ejido urbano, en zonas donde, como se verá más adelante, el gradiente hidráulico se ve disminuido y confluyen flujos superficiales y subterráneos (Figuras 3.10 y 3.13). Al comparar la distribución de  $\text{NO}_3^-$  con la densidad poblacional (Ver Figura 3.5) se observa que no existe una relación clara entre ambas variables, lo cual es relevante al suponer que la mayor densidad poblacional implica una mayor carga contaminante al acuífero.

### 3.2. Análisis complementarios

A partir de los resultados observados se efectuaron una serie de análisis complementarios a los efectos de contribuir a la descripción del RHP. En tal sentido se analiza a continuación el porcentaje de NBI por radio censal y se describe la hidrodinámica del acuífero somero, la relación agua superficial-subterránea a partir de transectas hidráulicas, y un análisis hidroquímico.

#### 3.2.1. Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)



**Figura 3.9.** Mapa de porcentaje de Hogares con al menos un indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en la localidad de Jardín América, Misiones.

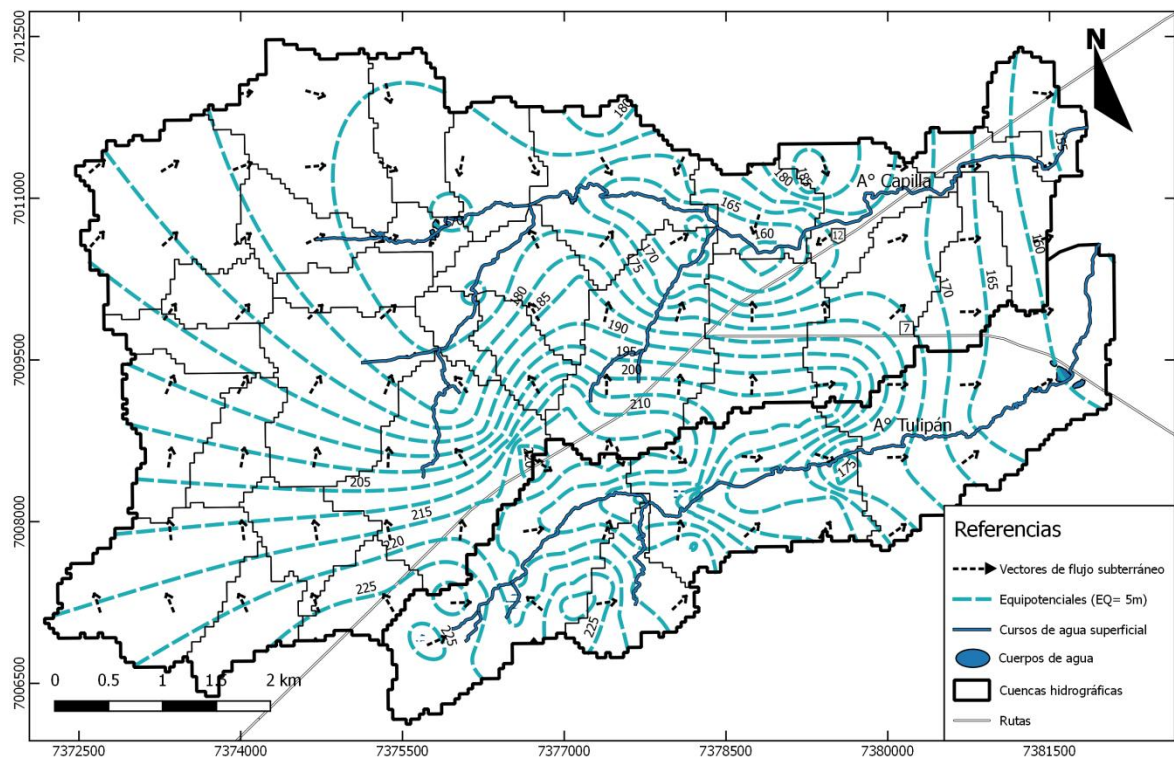
La figura 3.9 refleja como los radios censales de mayor porcentaje de NBI coinciden con índices RHP Altos y Muy altos (radios 15, 32 con RHP=5, y 22 y 33 con RHP=4) (Ver Figura 3.1). Por otro lado no existe una relación directa entre ambos indicadores; lo cual se evidencia en el radio urbano 13 con RHP=5 y 6,67% de NBI, el radio 26 de RHP igual a 3 y 23,37% de NBI o el sector 36 con Riesgo Alto (RHP=4) y solo 6,72% de NBI. También sucede con el radio rural 9 que presenta un bajo índice RHP y un porcentaje moderado de NBI (24,03%). Este indicador es particularmente importante porque refleja la condición de vulnerabilidad



global de los sectores sociales y, por tanto, sirve como indicio de cuales sectores poseen menor capacidad de resiliencia, es decir, de recuperación ante los efectos de la contaminación.

### 3.2.2. Caracterización hidrodinámica

La Figura 3.10 permite apreciar las líneas equipotenciales, las direcciones del flujo de agua subterránea y la delimitación de las cuencas y subcuencas a partir del modelo digital de elevaciones. Como puede verse los vectores de flujo se graficaron con línea de puntos, ya que por las características del medio no es posible afirmar con total seguridad que el agua subterránea en el área de estudio se encuentre homogéneamente distribuida. En el contraste de las líneas equipotenciales con la delimitación de las subcuencas hidrográficas, se observa que las líneas equipotenciales del nivel freático se curvan en las zonas de divisorias de aguas superficiales, lo cual significa que existe una coincidencia entre la dirección del flujo subterráneo y el superficial. Esto es característico de zonas tropicales donde las precipitación supera ampliamente a las pérdidas por evaporación y evapotranspiración (Tchilinguirian *et al.*, 2005).



**Figura 3.10.** Mapa piezométrico y vectores de flujo subterráneo con delimitación de subcuencas hidrográficas en la localidad de Jardín América, Misiones.

Se ha podido corroborar en campo que la geología basáltica constituye un verdadero hidroapoyo en zonas de basalto masivo poco fracturado. En estas zonas los pobladores comentan que la roca basáltica ha sido el límite de excavación de sus pozos artesanales, y que el agua brota por las paredes del pozo. Se refieren a la roca como “plancha de piedra” y a los flujos de agua subterránea como “vetas de agua”, probablemente por el comportamiento anisotrópico y los flujos preferenciales que caracterizan la circulación del agua en este tipo de sistemas. Son muy pocos los casos en que los pobladores han tenido que dinamitar el fondo de basalto para encontrar o tener mejor provisión de agua. Y en estos casos puntuales, nunca se ha removido más de 30 cm de la roca.

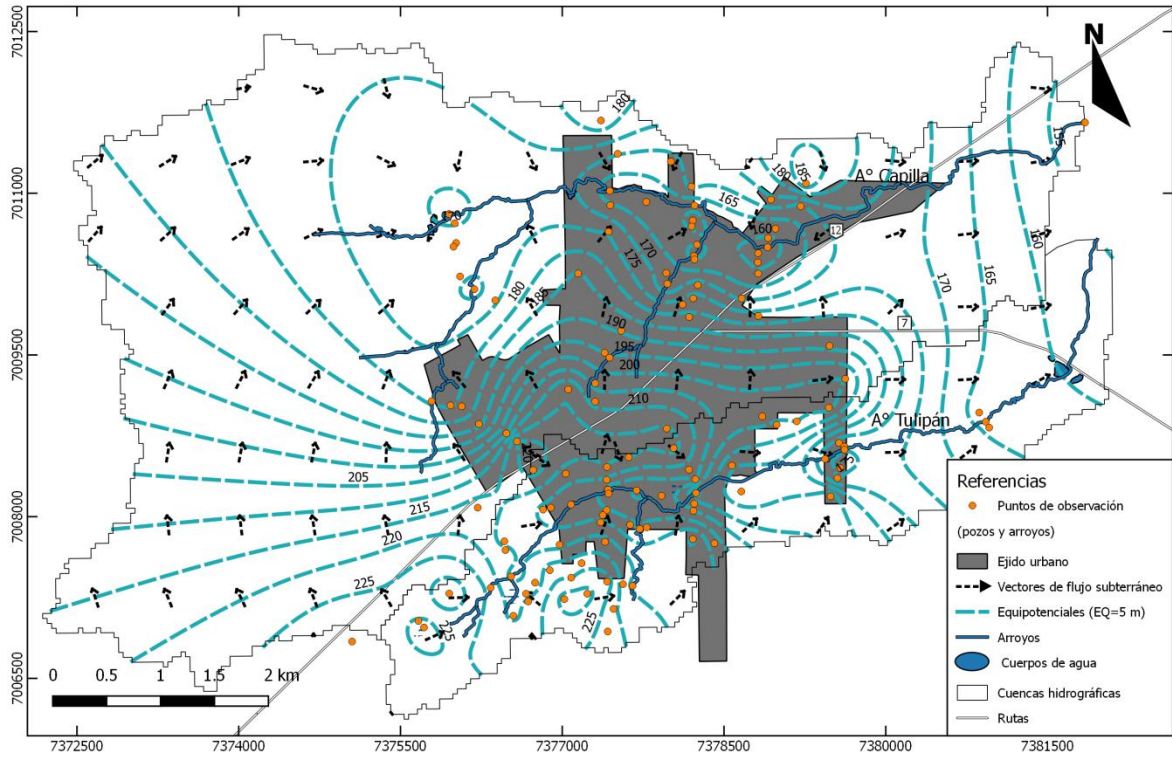
En términos generales se puede afirmar que las zonas elevadas del terreno corresponden a zonas de recarga del acuífero somero, y las áreas bajas, a zonas de descarga, encontrándose áreas de conducción más extensas en la cuenca del A° Capilla que en la del A° Tulipán.

Por otro lado, se evidencia a través de la figura 3.10 zonas de confluencia de flujos tanto superficiales como subterráneos en las áreas de descarga ubicadas en la cuenca media de cada arroyo. En donde se registraron los mayores valores del índice RHP (Ver Figura 3.1).

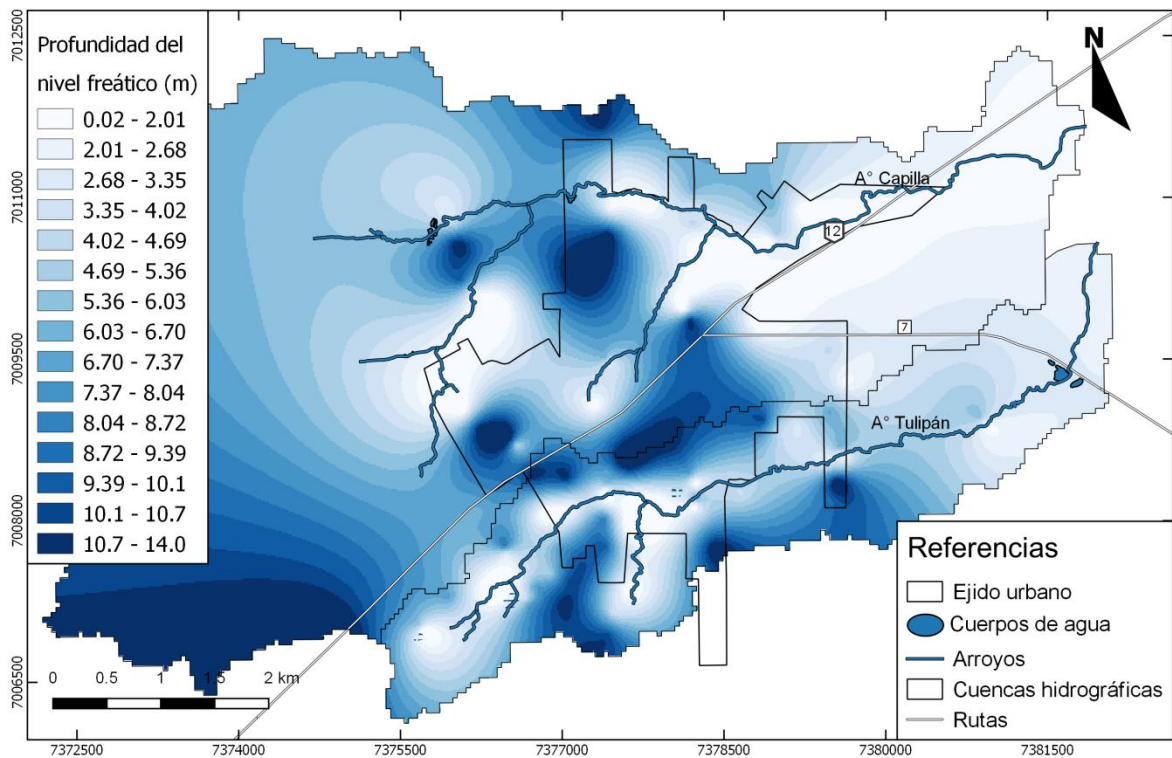
En la Figura 3.11 se observa que no se pudo contar con una distribución total de pozos de observación en las cuencas hidrográficas, fundamentalmente en la cuenca del A° Capilla. Por ese motivo al Oeste del área de estudio (Alta cuenca del A° Capilla) la determinación de la dirección de flujo subterráneo tienen menor detalle, mientras que en la zona urbana se pudo determinar con mayor exactitud el comportamiento de la misma. Observando la zona de mayor detalle se aprecia la complejidad en las direcciones de flujo subterráneo.

Por otro lado la determinación de las equipotenciales y los vectores de flujo subterráneo demuestran el predominante carácter efluente de los arroyos. Sin embargo, como se verá más adelante, esta relación agua subterránea – agua superficial no es la misma en todo el recorrido de los arroyos y cambia con las variaciones temporales del nivel freático. También se puede observar en la Figura 3.11 la notable presencia de pozos de agua artesanales en el casco urbano, donde la cobertura de la red de agua potable es casi completa.

En el análisis espacial de la profundidad del nivel freático (Figura 3.12) se graficó en tonalidades oscuras la mayores profundidades. Como se puede apreciar, el nivel en el centro del ejido urbano se encuentra mas profundo y disminuye su profundidad en dirección a los arroyos. En general la mayor profundidad se localiza en la divisoria de aguas entre ambas cuencas, y en la divisoria de aguas de las subcuencas de los afluentes principales.



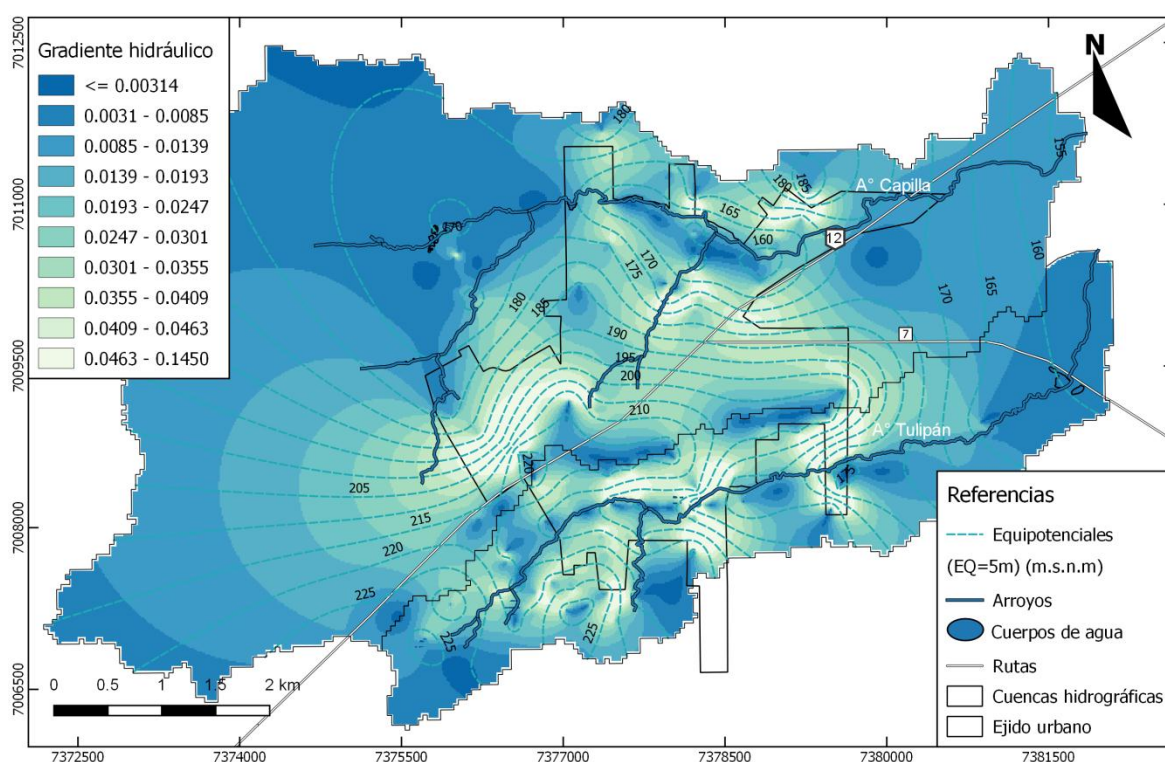
**Figura 3.11.** Mapa piezométrico y vectores de flujo subterráneo con puntos de muestreo y delimitación del ejido urbano de Jardín América, Misiones.



**Figura 3.12.** Mapa de profundidad del nivel freático en la localidad de Jardín América, Misiones.

Por otro lado, las zonas del acuífero con menor gradiente se localizan en las zonas de descargas de flujos, sobre el fondo de los valles y en las áreas de recargas (divisorias de aguas superficiales) con valores mínimos de  $9 \times 10^{-5}$ , mientras que las de mayor gradiente hidráulico se encuentran en las laderas de los valles con un gradiente máximo de 0,145 (zonas de transición) (Figura 3.13).

Al comparar las Figuras 3.12 y 3.13, se puede inferir que las zonas de mayor profundidad presentan menor gradiente a excepción de la ladera sureste de la naciente sur del arroyo Capilla (área de transición entre zonas de recarga y descarga), donde la profundidad del agua subterránea superó los 8 m. y el gradiente hidráulico fue mayor a 0,04.



**Figura 3.13.** Mapa de gradiente hidráulico y líneas equipotenciales en la localidad de Jardín América, Misiones.

Cabe destacar que sobre la naciente sur del A° Capilla el índice  $Ekv_c$  determinó una vulnerabilidad media (Ver Figura 3.7), y la densidad poblacional es relativamente baja (sector 2 Figura 3.5). Sin embargo, el marcado gradiente hidraulico aguas arriba, posibilita una influencia del radio 3 (mas elevado topograficamente), con alta densidad poblacional, por sobre los sectores ubicados en cercanias a la naciente, lo cual se corroborará en una alta concentración de  $NO_3^-$  en el sector 2 (Ver Figura 3.8). En esta zona, el potente espesor de la



zona no saturada, representa una mayor posibilidad de adsorción de  $\text{NO}_3^-$  por la capacidad de intercambio aniónico, que es considerable en suelos tropicales (Wilhelmus, 1973) y un retardo en la contaminación del agua subterránea debido a un mayor tiempo de infiltración. Por otro lado el marcado gradiente hidráulico posibilita la rápida circulación del agua, y por ende una rápida evacuación de la carga contaminante hacia las áreas de descarga y el arroyo capilla. Por tanto la concentración de  $\text{NO}_3^-$  esta ligada a cambios en los gradientes hidráulicos, sobre todo en la cuenca del A° Capilla donde la extensión de los flujos subterráneos es mayor.

En la variación estacional del nivel freático se registraron las mayores alturas en enero de 2015, las menores en la estación siguiente (abril de 2015) y alturas intermedias en octubre de 2014 y julio de 2015. Es decir que desde la primera campaña en octubre de 2014 el nivel ascendió hacia el verano (enero de 2015) luego descendió en otoño (abril de 2015) y por último volvió a ascender hacia el invierno (julio de 2015), llegando a valores ligeramente mas altos que los de la primavera de 2014. Las diferencias fueron más notables en los sectores altos de las transectas, en donde según lo comentando por pobladores locales, los pozos pueden llegar a secarse en tiempos de pocas lluvias. Este comportamiento también se evidencia mediante los valores observados en la Tabla 3.3. donde se compara las diferencias en la profundidad del nivel freático entre campañas.

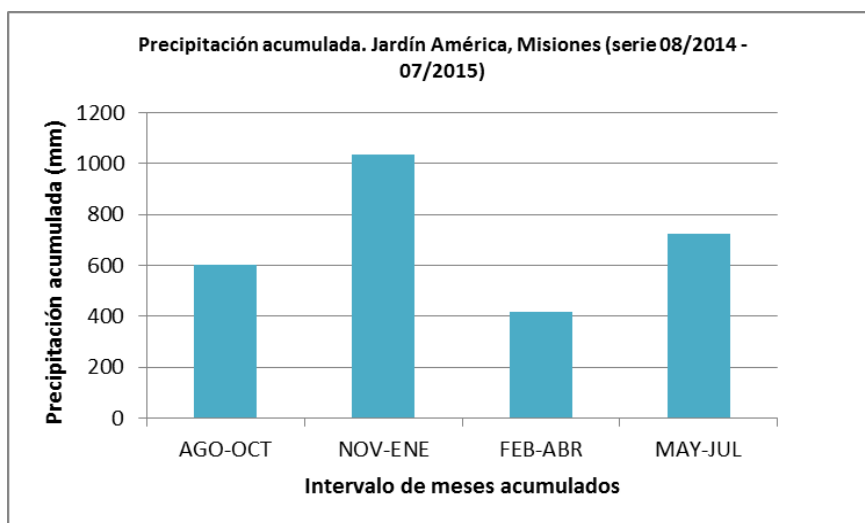
**Tabla 3.3.** Profundidad de pozos, nivel freático, y espesor saturado.

Profundidad de Pozo (m)	Profundidad del nivel freático (m)				Promedio de la profundidad del nivel freático en las cuatro campañas (m)	Diferencias de profundidad de nivel freático entre campañas (m)					Espesor saturado (m)				Promedio del espesor saturado en las cuatro campañas (m)
	1 ra campaña (10-2014)	2 da campaña (01-2015)	3 ra campaña (04-2015)	4 ta campaña (07-2015)		1ra-2da	2da-3ra	3ra-4ta	4ta-1ra	1 ra campaña	2 da campaña	3 ra campaña	4 ta campaña		
<b>Max</b>	25,00	13,75	8,15	14,00	9,45	11,34	5,85	6,63	7,30	5,93	16,37	10,66	7,60	10,60	16,37
<b>Min</b>	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,20	0,04	0,73	0,47
<b>Media</b>	8,38	4,15	3,37	5,45	3,73	4,17	0,69	2,05	1,84	0,73	4,19	4,40	2,38	3,98	3,74

En la misma Tabla, se detallan los valores máximos y mínimos en la variación inter-estacional del nivel freático, siendo de 7,30 m y 0,35 m, respectivamente. Lo cual, considerando el espesor saturado en el sistema (ver Tabla 3.3), es una diferencia relativamente notable. En el caso de la roca basáltica, la mayor profundidad fue de 25 m. mientras que la mínima en pozos de agua fue de 1,25 m. considerando que llega a aflorar en superficie en algunos sectores.

Como es de esperarse la mayor profundidad de nivel freático se registró en abril de 2015 (3ra campaña), y fue de 14 m. A pesar de ser ésta la estación donde el agua subterránea alcanzó la mayor profundidad, se continuó registrando afloramientos del nivel, sobre todo en la parte

baja de los valles y en sus laderas (Profundidad= 0). En la variación estacional de la profundidad media y máxima de los pozos, se observa el mismo comportamiento que en las transectas: un aumento de nivel (disminución de la profundidad) hacia el verano, seguido de un descenso notable y por último un ascenso en invierno que supera al nivel en la primera campaña.



**Figura 3.14.** Variación de la precipitación acumulada en intervalos de tres meses, en la estación meteorológica de El Vasco S.A. Jardín América, Misiones.

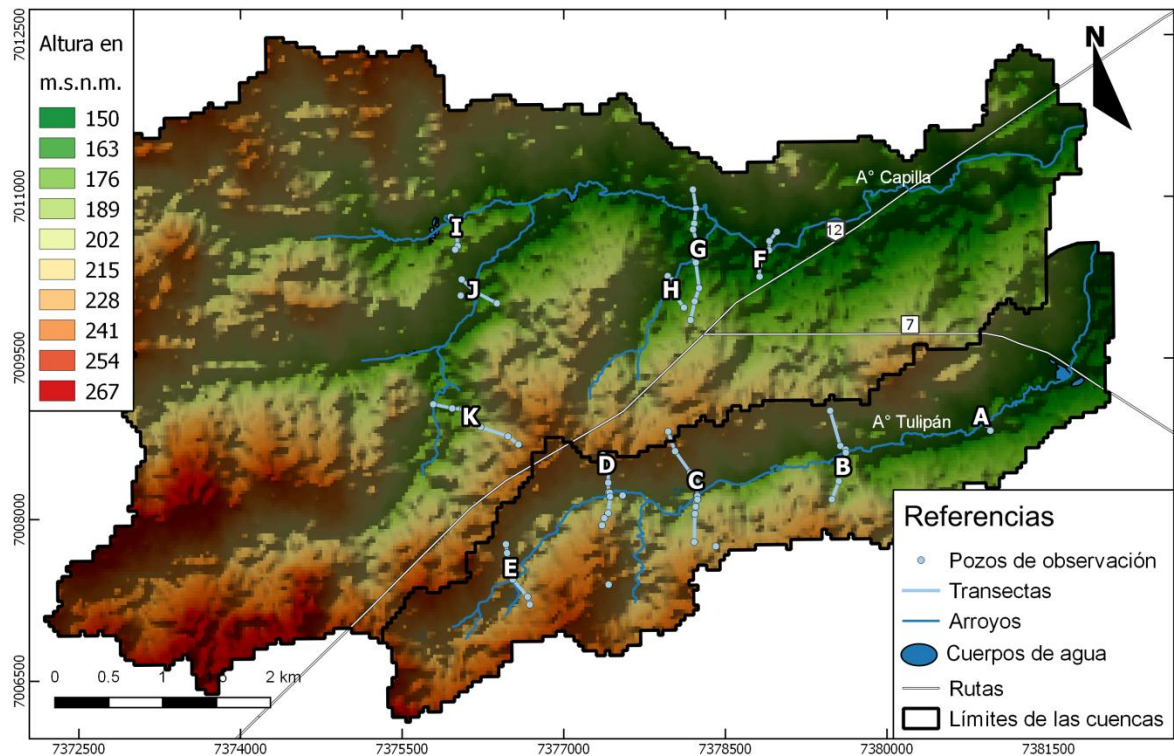
Este comportamiento en el acuífero somero se condice con la variación de la precipitación: En la Figura 3.14 se observa la variación de la precipitación acumulada en intervalos de tres meses, coincidentes con los meses de muestreo del nivel freático. Se aprecia en el mismo que la precipitación acumulada muestra un patrón coherente con la variación del nivel en el agua subterránea, indicando que la variación en el nivel del acuífero responde directamente a la precipitación.

Por otro lado las grandes diferencias entre los valores máximos y mínimos de espesor saturado y profundidad del nivel freático para una misma campaña, da cuenta de la alta variabilidad espacial del acuífero

### 3.2.3. Relación Agua subterránea – agua superficial

La relacion agua subterránea – agua superficial se puede observar mas detalladamente en las once transectas de pozos de observación que fueron ubicadas según lo indica la Figura 3.15. En las mismas se observa la variación estacional del nivel freático y la altura del pelo de agua

en los arroyos. Además se graficó la profundidad de los pozos, que en la mayoría de los casos presentan roca basáltica en el fondo.

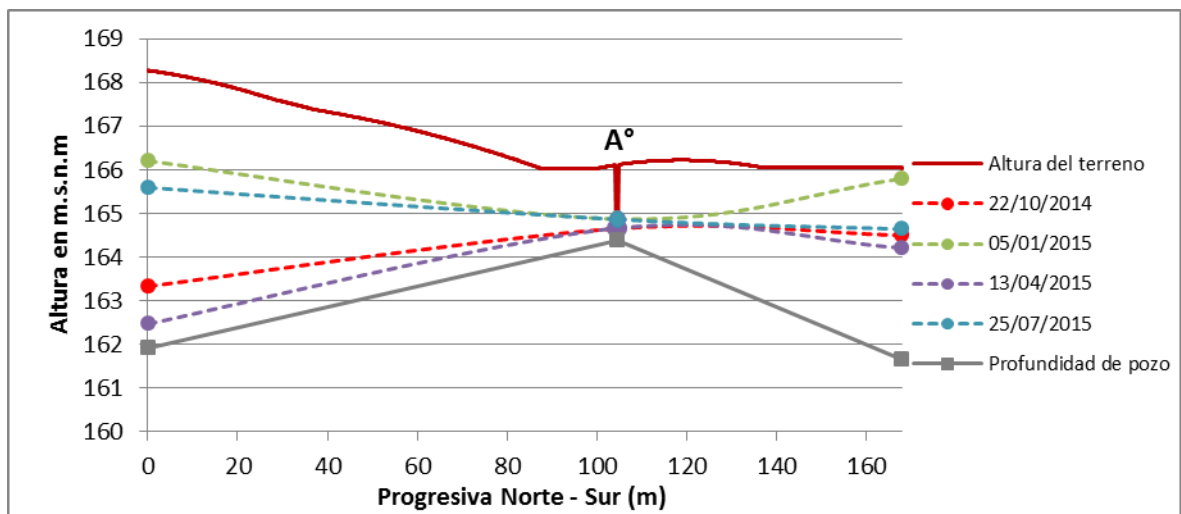


**Figura 3.15.** Mapa de ubicación de las transectas de pozos de observación del nivel freático y Modelo Digital de Elevación del terreno MDE-Ar corregido en la localidad de Jardín América, Misiones.

A nivel general se puede observar en todas las transectas la coincidencia del patrón de alturas tanto en el nivel freático, como en la superficie del terreno y en el basalto, con excepción del sector norte de las transectas D y E (Figuras 3.19 y 3.20). Así mismo, se observa como el suelo tiene mayor espesor sobre las partes altas de los valles y menor en cercanías a los cursos de agua, lo cual también se verifica en el espesor saturado.

La transecta A (Figura 3.16) demuestra un carácter alterno para el arroyo Tulipán en la cuenca baja. En verano e invierno es efluente y pasa a ser influente en primavera y otoño. Por otro lado en la transecta B (Figura 3.17) se puede observar como el arroyo es netamente influente y aporta a dos flujos subterráneos que acompañan la dirección del arroyo. Las transectas C, D y E (Figuras 3.18; 3.19; y 3.20) demuestran como el carácter efluente del arroyo Tulipán no cambia a lo largo del año en la cuenca media y alta.

En la transecta G (Figura 3.22), sobre la cuenca media del arroyo Capilla, se observa un carácter alterno a nivel espacial, el curso Norte del arroyo Capilla recibe aportes del agua subterránea por el Norte mientras descarga hacia el Sur, sobre la planicie del valle. El curso Sur, en cambio, mantiene su carácter efluente en relación al agua subterránea a ambos lados. Dicho comportamiento en ambos cauces resulta en una conexión hidráulica subterránea entre los mismos. Por otro lado, se nota la formación de un domo en el agua subterránea, probablemente producido por una mayor capacidad de infiltración en el suelo. También se evidencia un cambio abrupto en la altura de nivel freático, hacia el norte del domo, que posiblemente se deba a cambios en la conductividad hidráulica en el acuífero. En lo que respecta a las transectas H, I, J, y K (Figuras 3.23; 3.24; 3.25; y 3.26), sobre la cuenca media y alta del arroyo Capilla, se evidencia un carácter efluente en los cursos de agua superficial que no varía a lo largo del año hidrológico.



**Figura 3.16.** Transecta de observación del nivel freático “A”. Cuenca baja del A° Tulipán.



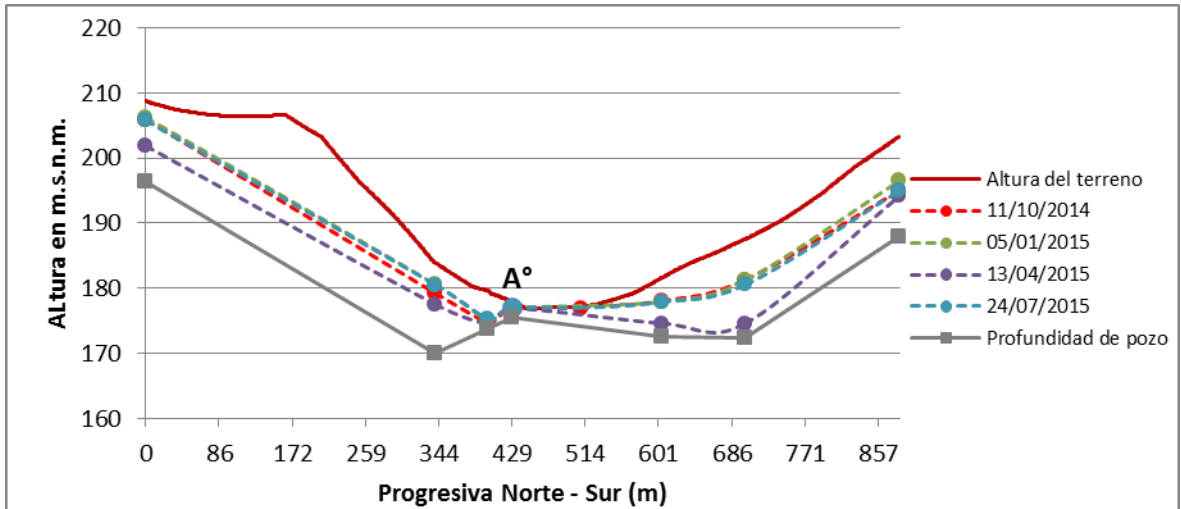


Figura 3.17. Transecta de observación del nivel freático “B”. Cuenca media del A° Tulipán.

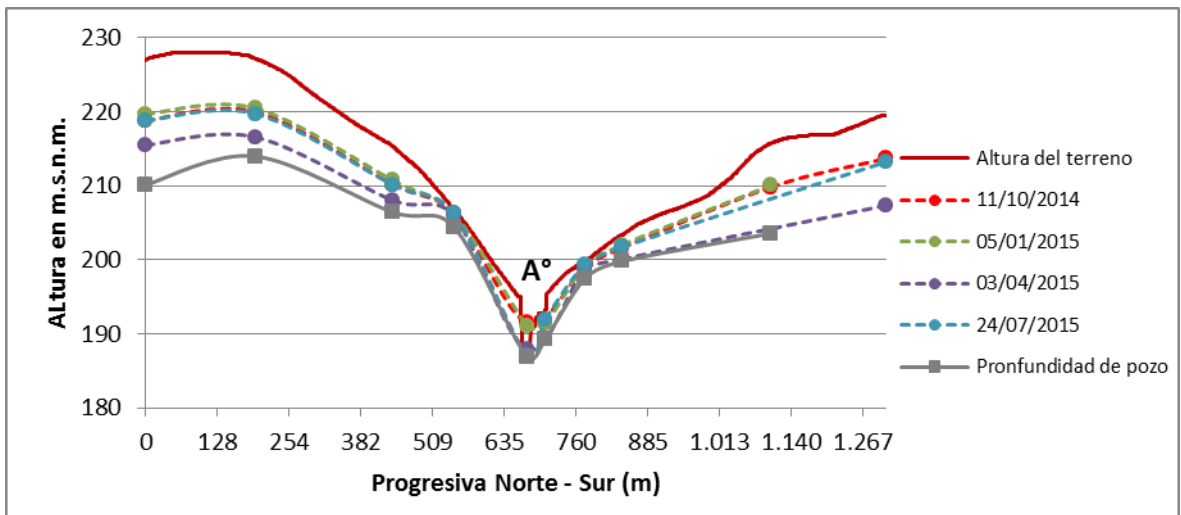


Figura 3.18. Transecta de observación del nivel freático “C”. Cuenca media del A° Tulipán.

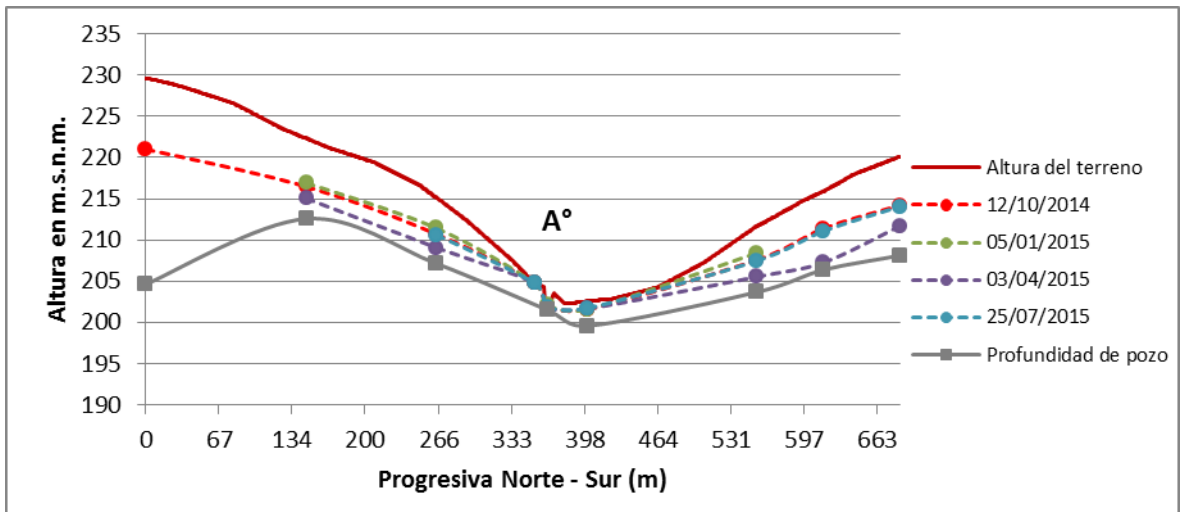


Figura 3.19. Transecta de observación del nivel freático “D”. Cuenca media del A° Tulipán.

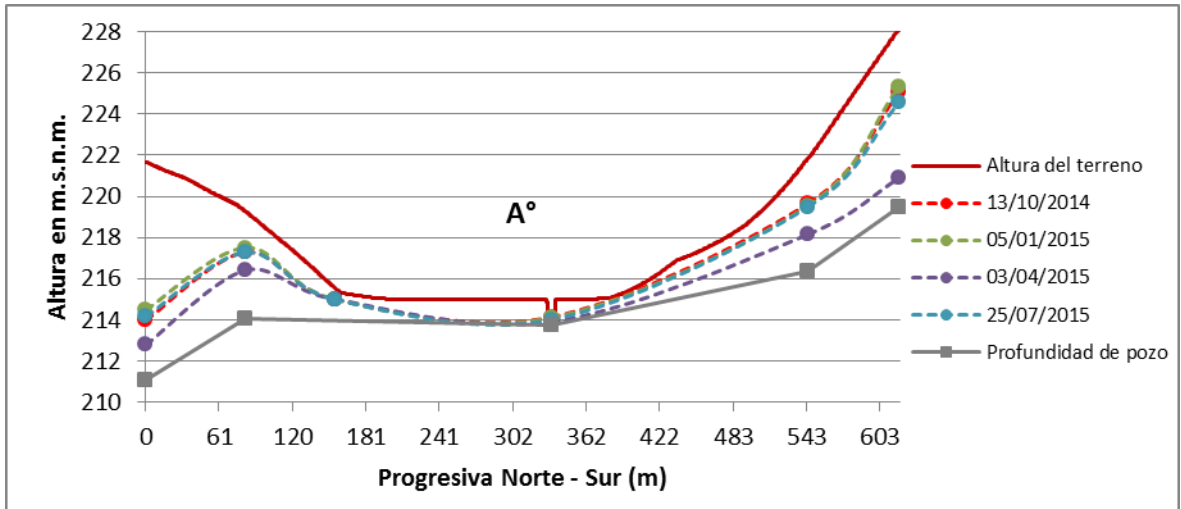


Figura 3.20. Transecta de observación del nivel freático “E”. Cuenca alta del A° Tulipán.

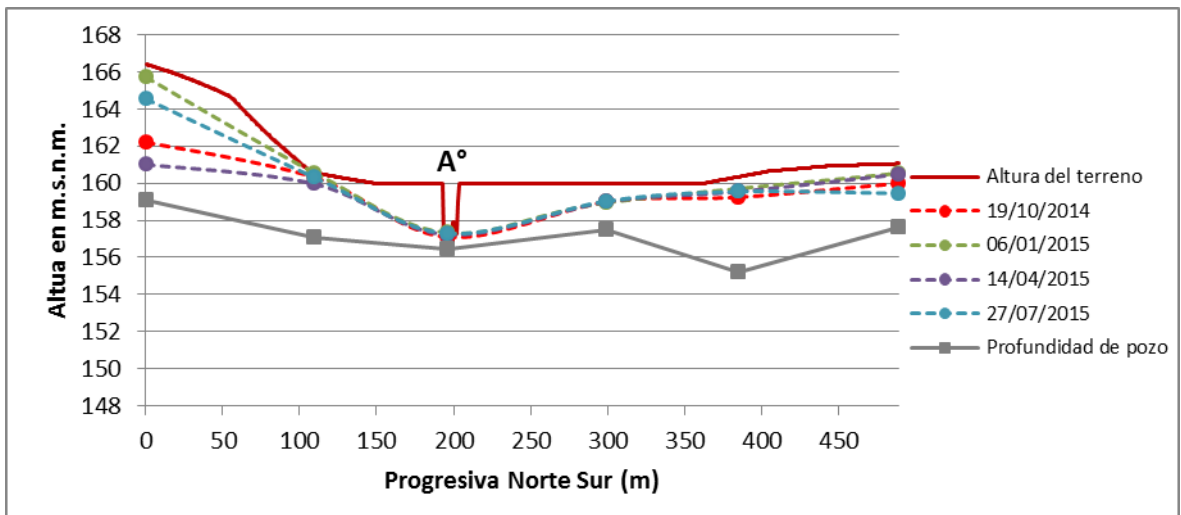


Figura 3.21. Transecta de observación del nivel freático “F”. Cuenca media del A° Capilla.

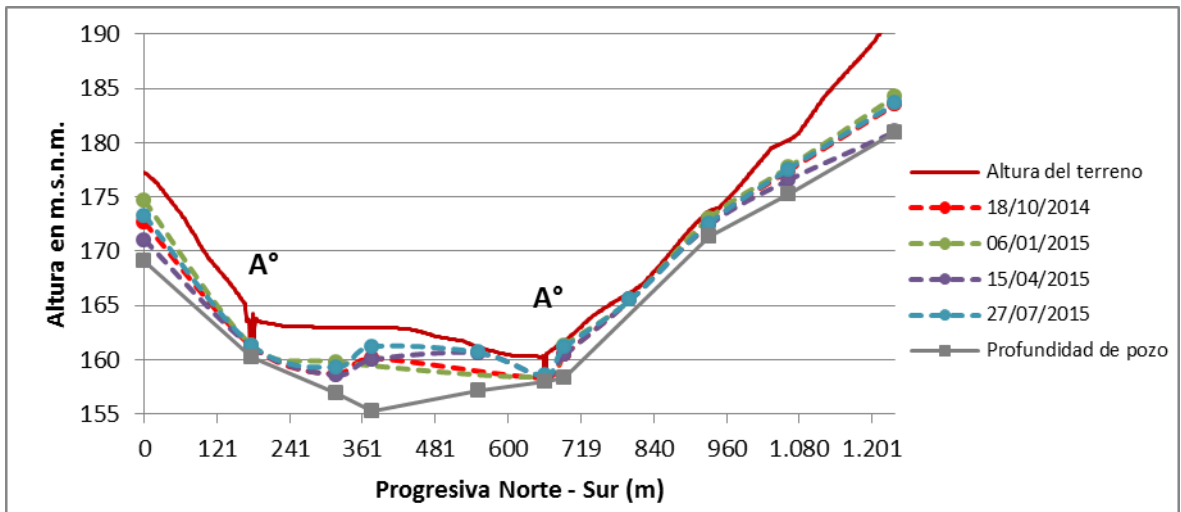
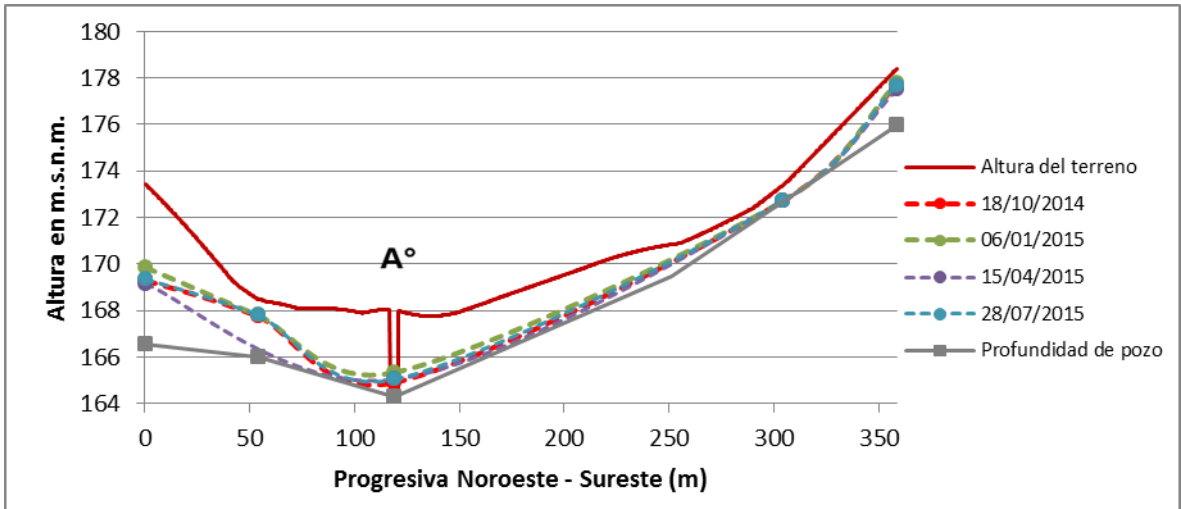
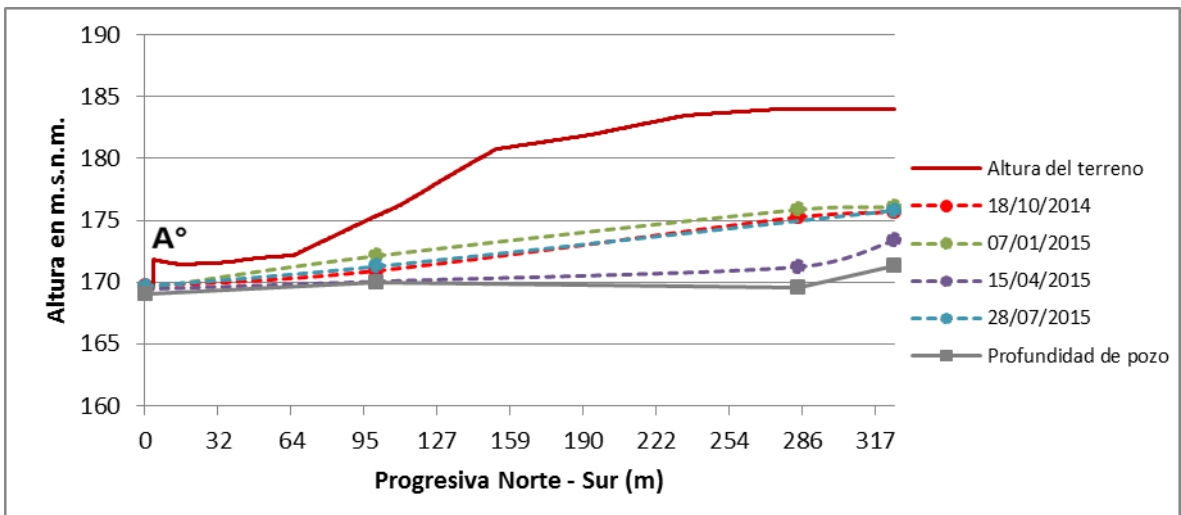


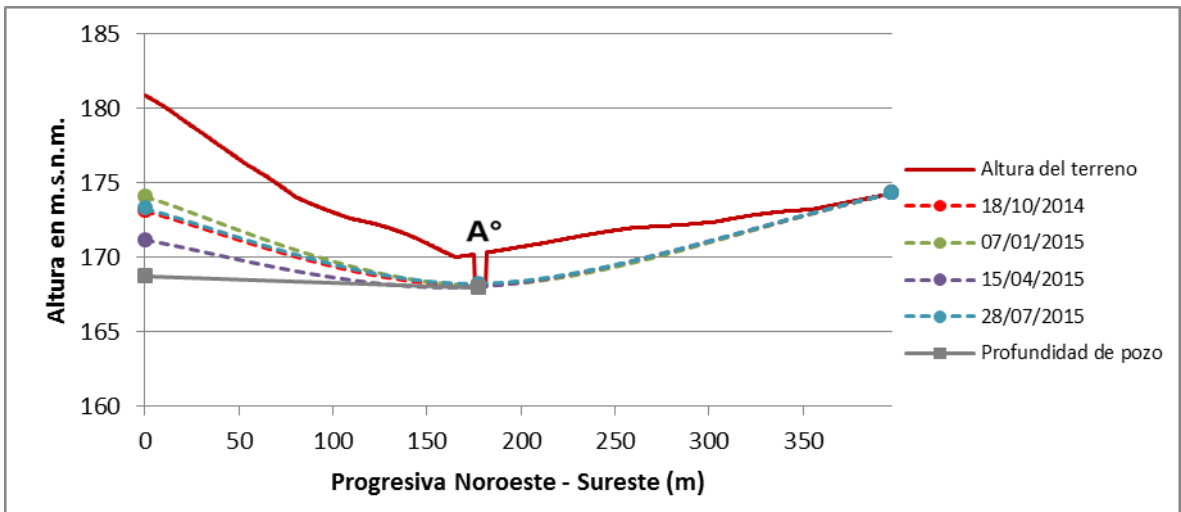
Figura 3.22. Transecta de observación del nivel freático “G”. Cuenca media del A° Capilla.



**Figura 3.23.** Transecta de observación del nivel freático “H”. Cuenca media del A° Capilla.



**Figura 3.24.** Transecta de observación del nivel freático “I”. Cuenca alta del A° Capilla.



**Figura 3.25.** Transecta de observación del nivel freático “J”. Cuenca alta del A° Capilla.

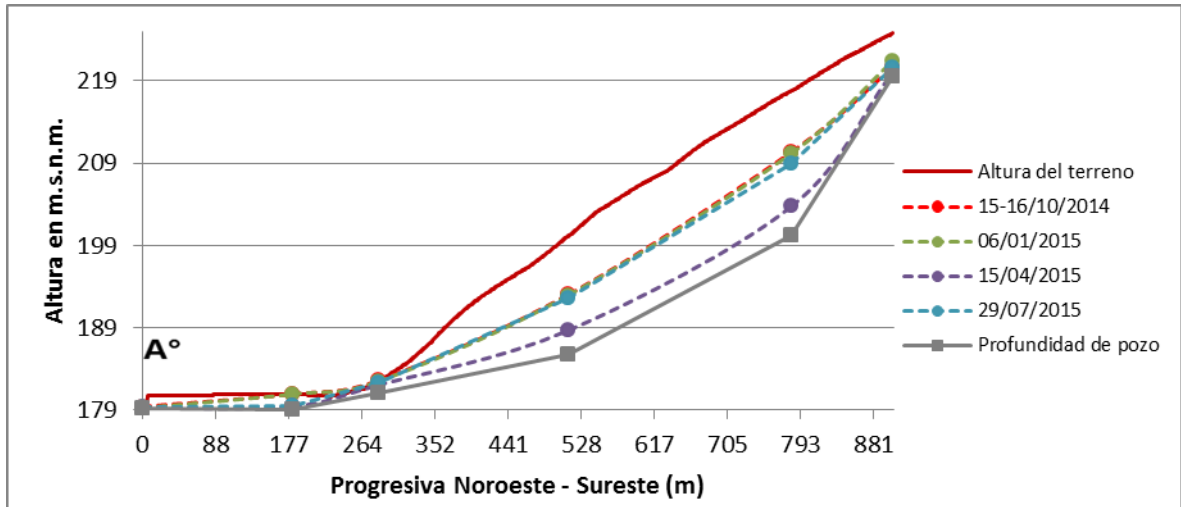


Figura 3.26. Transecta de observación del nivel freático “K”. Cuenca alta del A° Capilla.

### 3.2.4. Caracterización hidroquímica

Tabla 3.4. Análisis para la caracterización química del agua superficial en la alta cuenca del A° Capilla.

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	CCA	OMS
<b>pH</b>	upH	Potenciométrico	SM 4500-H+B	<b>6,2</b>	-	-	6,5 - 8,5	NE
<b>Conductividad</b>	uS/cm	Electrométrico	SM 2510- B	<b>21,0</b>	-	-	NE*	NE*
<b>Alcalinidad Total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320 B	<b>6,0</b>	0,5	1	400 <sup>1</sup>	NE*
<b>Alcalinidad Fenolf. (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320 B	<b>ND</b>	0,5	1	NE*	NE*
<b>Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320- B	<b>ND</b>	0,6	1,2	NE*	NE*
<b>Bicarbonatos (CO<sub>3</sub>H)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320- B	<b>7,3</b>	0,6	1,2	NE*	NE*
<b>Cloruro (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/l	M. Argentométrico	SM 4500-Cl <sup>-</sup> B	<b>3,5</b>	1,5	3	350	250
<b>Dureza Total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2340 C	<b>23</b>	1	2	400	NE
<b>Fluoruro (F<sup>-</sup>)</b>	mg/l	M. Espectrofotométrico	SM 4500 F - D	<b>0,2</b>	0,05	0,1	0,6 - 0,8	1,5
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/l	Salicilato de Na	CETUA	<b>1,5</b>	0,59	0,66	45	50
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	mg/l	M. Gravimétrico	SM 2540 C	<b>15</b>	5	10	1500	1000

<b>Calcio (Ca)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R- 94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>4,0</b>	0,04	0,30	NE*	NE*
<b>Magnesio (Mg)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R- 94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>2,5</b>	0,03	0,07	NE*	NE*
<b>Potasio (K)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R- 94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>0,6</b>	0,10	0,30	NE*	NE*
<b>Sodio (Na)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R- 94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>0,9</b>	0,1	0,3	NE	NE
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>)</b>	mg/l	Turbidimétrico	SM 4500 SO <sub>4</sub> - E	<b>3,0</b>	0,7	1,3	400	NE
<b>Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/l	Prueba DBO 5 Días	SM 5210.B	<b>&lt;2</b>	1	2		
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/l	Yodométrico	SM 4500 O-B	<b>10</b>	20	20		
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)*</b>	mg/l	M. Reflujo Abierto	SM 5220 B	<b>1,0</b>	0,02	0,03		

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación

ND: No Detecta

SM: Standar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 & 20 Edition.

CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.

EPA: Environmental Protection Agency. USA

NE: No estandarizado por no presentar riesgo a la salud humana

NE\*: No estandarizado por estar implícito en otros parámetros

CCA: Código Alimentario Argentino, 2012.

OMS: Organización Mundial de la Salud, 2006.

1: CCA, 1994.

**Tabla 3.5.** Análisis para la caracterización química del agua superficial en la alta cuenca del A° Tulipán.

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	CCA	OMS
<b>pH</b>	upH	Potenciométrico	SM 4500-H+B	<b>6,5</b>	-	-	6,5 - 8,5	NE
<b>Conductividad</b>	uS/cm	Electrométrico	SM 2510- B	<b>21,0</b>	-	-	NE*	NE*
<b>Alcalinidad Total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320 B	<b>6,0</b>	0,5	1	400 <sup>1</sup>	

<b>Alcalinidad Fenolf. (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320 B	<b>ND</b>	0,5	1	NE*	NE*
<b>Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320- B	<b>ND</b>	0,6	1,2	NE*	NE*
<b>Bicarbonatos (CO<sub>3</sub>H)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2320- B	<b>7,3</b>	0,6	1,2	NE*	NE*
<b>Cloruro (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/l	M. Argentométrico	SM 4500-Cl <sup>-</sup> B	<b>3,5</b>	1,5	3	350	250
<b>Dureza Total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	mg/l	M. Titulométrico	SM 2340 C	<b>35</b>	1	2	400	NE
<b>Fluoruro (F<sup>-</sup>)</b>	mg/l	M. Espectrofotométrico	SM 4500 F - D	<b>&lt;0,2</b>	0,05	0,1	0,6 - 0,8	1,5
<b>Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/l	Salicilato de Na	CETUA	<b>1,7</b>	0,59	0,66	45	50
<b>Sólidos Disueltos Total (SDT)</b>	mg/l	M. Gravimétrico	SM 2540 C	<b>16</b>	5	10	1500	1000
<b>Calcio (Ca)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>4,5</b>	0,04	0,30	NE*	NE*
<b>Magnesio (Mg)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>1,3</b>	0,03	0,07	NE*	NE*
<b>Potasio (K)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>0,8</b>	0,10	0,30	NE*	NE*
<b>Sodio (Na)</b>	mg/l	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	<b>1,8</b>	0,1	0,3	NE	NE
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>)</b>	mg/l	Turbidimétrico	SM 4500 SO <sub>4</sub> - E	<b>2,9</b>	0,7	1,3	400	NE
<b>Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/l	Prueba DBO 5 Días	SM 5210.B	<b>2</b>	1	2		
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/l	Yodométrico	SM 4500 O-B	<b>10</b>	20	20		
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/l	M. Reflujo Abierto	SM 5220 B	<b>1,0</b>	0,02	0,03		

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación.

ND: No Detecta.

SM: Standar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 & 20 Edition.

CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.

EPA: Environmental Protection Agency. USA.

NE: No estandarizado por no presentar riesgo a la salud humana.

NE\*: No estandarizado por estar implícito en otros parámetros.

CCA: Código Alimentario Argentino, 2012.

OMS: Organización Mundial de la Salud, 2006.

1: CCA, 1994.

Como se puede ver en las Tablas 3.4 y 3.5, las muestras tomadas en las altas cuencas de ambos arroyos, fuera de la influencia de la urbanización, evidencian una calidad aceptable para consumo en condiciones naturales. El único parámetro que en la Tabla 3.4 se encuentra fuera del rango de valores guía es el pH, con un valor ligeramente más bajo que el mínimo recomendado. Ambas muestras determinan la tipificación Bicarbonatada cálcica para el agua natural del área. Lo cual es esperable dada la geología de la zona, la fuerte recarga del sistema, y la rápida circulación del agua en el mismo. En otro orden de cosas, los valores ligeramente bajos de pH, representan condiciones medianamente desfavorables para el proceso de nitrificación. Ya que las condiciones óptimas para que este proceso se dé, implican un pH alcalino (pH óptimo=8) además de presencia de bacterias nitrificantes y oxígeno suficiente (>2 mg/l) (Pacheco Avila *et al.*, 2002).

### **3.2.5. Evaluación de indicadores de contaminación orgánica**

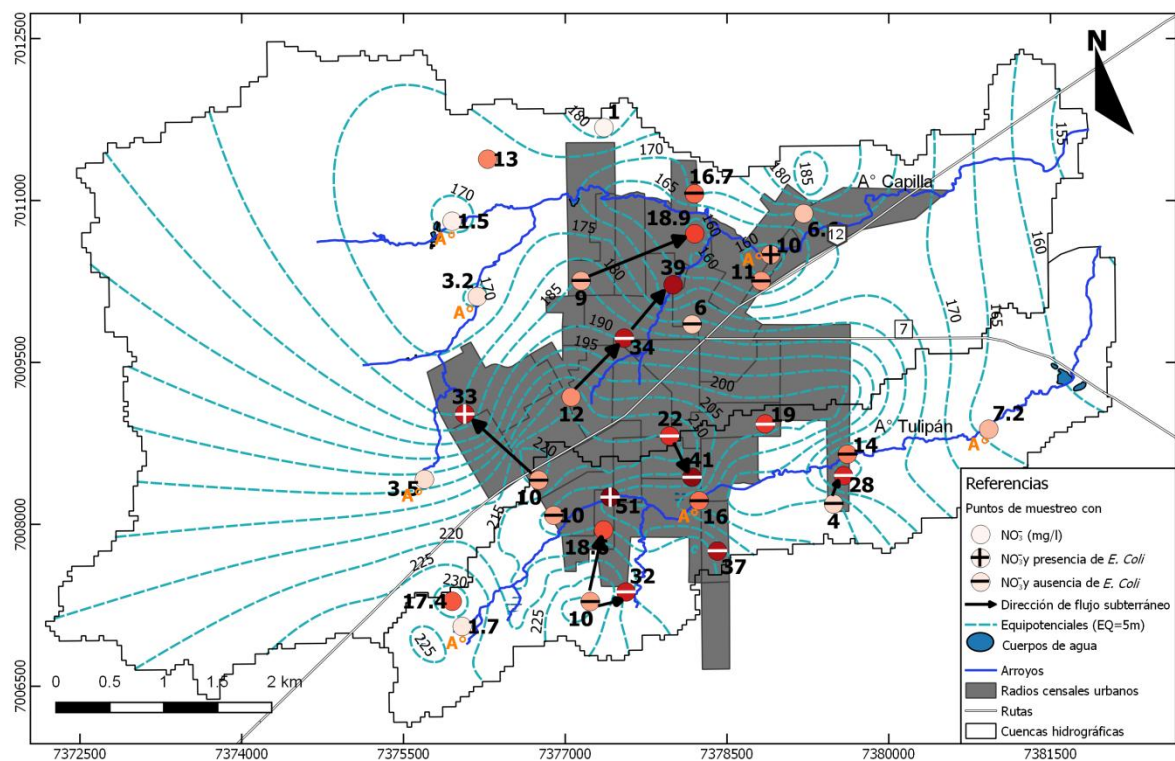
#### **3.2.5.1. Nitrato, nitrito y amoníaco**

De las 33 muestras tomadas para la determinación del ion  $\text{NO}_3^-$  solamente una superó los estándares de calidad para agua de consumo humano, que según el CCA y la OMS son de 45 y 50 mg/l respectivamente. Este valor fue de 51 mg/l y se obtuvo de una muestra de un pozo en desuso ubicado en la cuenca media del arroyo Tulipán a aproximadamente 10 m. del cauce, en una zona urbana (Figura 3.27). Por otro lado, se registraron valores relativamente altos fuera del ejido urbano, en zonas rurales. Puntualmente de 13 mg/l al norte de la cuenca del arroyo Capilla, y de 17,4 mg/l en la cuenca alta del arroyo Tulipán, en cercanías a la naciente.

Al observar la Figura 3.27 se puede apreciar que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  aumentan entre puntos de muestreo ubicados consecutivamente en el sentido del flujo subterráneo, a excepción de puntos que se encuentran muy distantes. Así mismo, la presencia mayoritaria de  $\text{NO}_3^-$  en áreas de descarga indica que la distribución de este contaminante está fuertemente influenciado por la dinámica del sistema hidrológico, desvinculándose de las áreas de mayor

generación de carga contaminante. Por otro lado, las muestras obtenidas de los arroyos presentaron valores más bajos en comparación con los pozos aledaños, lo cual da cuenta de una capacidad de depuración de los cursos superficiales aún no sobrepasada.

En la variación de la concentración de este indicador sobre los arroyos, se comprueba un aumento de 1,5 mg/l y 3,5 mg/l a 10 mg/l en el arroyo Capilla y un aumento de 1,7 mg/l a 16 mg/l seguido de un descenso a 7,2 mg/l en el arroyo Tulipán. En la siguiente campaña de muestreo (enero de 2016) donde se determinó nuevamente  $\text{NO}_3^-$ , y adicionalmente,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_3$  (Tabla 3.6), se registraron valores aún elevados de  $\text{NO}_3^-$  pero ninguno por encima de los estándares de calidad para agua de consumo. En cuanto al  $\text{NO}_2^-$  tampoco se registraron valores que superen los estándares, aunque su presencia sugiere la existencia de un proceso de contaminación reciente. De la misma forma sucede con el  $\text{NH}_3$ , aunque no se registró presencia en todas las muestras. Cabe señalar que la muestra 40 presentó valores de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_3$  por encima de los estándares de calidad.



**Figura 3.27.** Mapa de valores de concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), *Escherichia Coli*, equipotenciales y vectores de flujo subterráneo en la localidad de Jardín América, Misiones.



### 3.2.5.2. Indicadores de contaminación bacteriológica

En la determinación de *E. Coli* solo tres muestras evidenciaron presencia de esta bacteria (Figura 3.27 y Tabla 3.6). En el relevamiento a campo se constató que los pozos con presencia de *E. Coli* se encontraban rodeados de letrinas a no más de 3 m. de distancia, aunque esta situación se repite en varios pozos observados. Por otro lado, en los cinco puntos de muestreo en que se determinó *E. Coli* se registró, 7 meses después, una alta concentración de Coliformes fecales.

**Tabla 3.6.** Comparación de indicadores de contaminación orgánica en aquellos pozos y cursos de agua (\*) donde se registró valores más altos de  $\text{NO}_3^-$  y presencia de *E. Coli* en la primera campaña de toma de muestras (07/2015). Se resaltan los valores que superan el límite establecido. Valores guía OMS/CAA: 50/45 mg/l ( $\text{NO}_3^-$ ), 3/10 mg/l ( $\text{NO}_2^-$ ) No estandarizado/0,2 mg/l, ausencia de *E. Coli*. (P: presencia, A: ausencia) Ausencia/<3 NMP (Coliformes fecales).

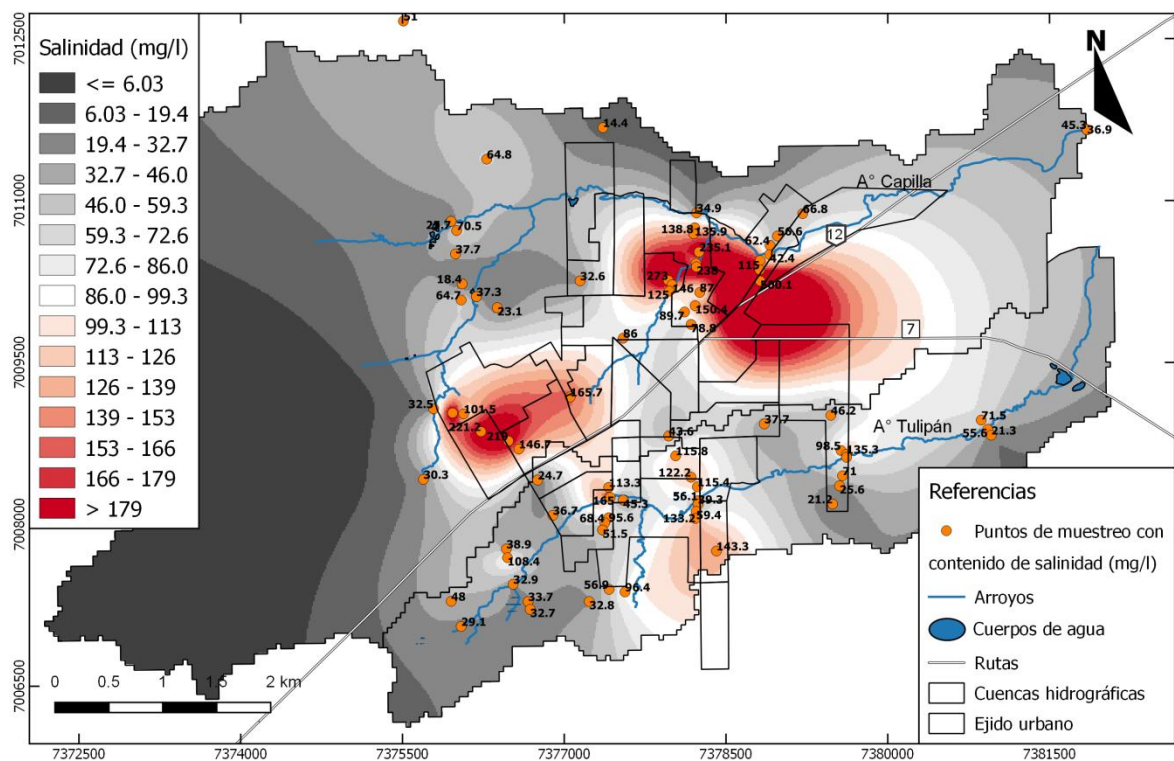
Muestra	$\text{NO}_3^-$ (mg/l) 07/2015	$\text{NO}_3^-$ (mg/l) 02/2016	$\text{NO}_2^-$ (mg/l) 02/2016	$\text{NH}_3$ (mg/l) 02/2016	<i>E. Coli</i> 07/2015	Coliformes fecales (NMP/100 ml) 02/2016
22	41	36,5	---	ND	A	150
40	<b>51</b>	33,1	0,35	<b>0,57</b>	P	1100
80	33	35,1	0,056	ND	P	1100
125	39	41,8	0,016	ND	---	1100
244*	16	6,4	0,063	0,19	A	1100
252*	10	4,3	0,016	<0,05	P	1100

Aunque la presencia de *E. Coli* fue baja, y la misma es indicadora de contaminación orgánica por excretas humanas, se infiere que la alta concentración de Coliformes fecales tiene como causa la disposición *in situ* de las aguas negras de la población, ya que no se identificaron otras posibles fuentes de contaminación en el casco urbano. De todas maneras estos parámetros bacteriológicos siguen siendo indicadores puntuales de contaminación y, a diferencia del  $\text{NO}_3^-$ , no permiten trazar un proceso de contaminación generalizado en el municipio.

### 3.2.5.3. Salinidad

En cuanto a salinidad ningún valor sobrepasó los límites establecidos por la OMS y el CAA (Figura 3.28). El máximo registrado fue de 500,1 mg/l y la media de los 97 pozos fue de 84 mg/l  $\pm$  52,9 mg/l. En cuanto a su distribución espacial, se observa un patrón similar a la concentración de  $\text{NO}_3^-$  (ver Figura 3.8). Los valores de mayor salinidad se concentraron en la cuenca media del arroyo Capilla próxima a la ruta nacional N° 12, en ladera sureste de la naciente sur del mismo arroyo y sobre la ladera sur del arroyo Tulipán, en la cuenca media. Los valores en el arroyo Tulipán se duplican desde su cabecera hasta el casco urbano (de 30 mg/l a 60 mg/l aproximadamente) y luego disminuyen aguas abajo. En el caso del arroyo Capilla sucede lo mismo, aunque en su último afluyente se registran valores cuatro veces mayores a los de alta cuenca (aproximadamente de 30 mg/l a 125 mg/l).

Si bien no existe relación directa entre la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y la salinidad, el enriquecimiento en sales del agua subterránea y superficial denota el deterioro en la calidad del recurso hídrico, probablemente causado por numerosos factores de contaminación urbana.



**Figura 3.28.** Mapa de salinidad en agua subterránea y superficial de Jardín América, Misiones. Se detallan los puntos de muestreo.

#### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los resultados evidenciaron una distribución heterogénea del RHP, con una mayor concentración en radios urbanos periféricos de las cuencas medias de ambos arroyos, y un aumento general en radios rurales desde la alta hasta la baja cuenca tanto del A° Capilla como del A° Tulipán, lo cual corrobora la hipótesis previamente propuesta. Se observó que en el caso de los radios urbanos de mayor VS, todos se localizan en sectores de elevada amenaza por contaminación.

En la distribución del índice VS se constató que en la cuenca del A° Capilla tres radios urbanos contiguos obtuvieron valores muy elevados, fundamentalmente por la precariedad en los sistemas de disposición de excretas ( $VS_{DE}$ ). Se verificó también en solo un radio (el N° 32) en la cuenca del A° Tulipán, un valor de VS Muy alto, debido a la combinación de precarios sistemas de disposición de excretas y una alta densidad poblacional. En el caso del radio rural 17, al sur del casco urbano y en su mayoría fuera del área de estudio, la alta VS se compuso, tanto por altos valores de  $VS_{DE}$  como tipo de provisión de agua para consumo ( $VS_{RH}$ ). En el análisis de la incidencia de  $VS_{DE}$  en VS, se evidencia que los valores más altos se registran en aquellos radios con una importante carencia en el uso de cámaras sépticas y altos porcentajes de uso de pozos ciegos y excavaciones en la tierra sin revestimiento.

Con respecto a la  $VS_{RH}$ , se vio una situación más agravante en los radios rurales por la falta de cobertura de la red pública, sin embargo, en un radio urbano (N° 13) se registró que un 44,76% de la población utiliza fuentes de agua no potable. Considerando que el mismo no es un radio con población de fuertes limitaciones económicas (6,67% NBI), y que en la encuesta realizada a los hogares un 56,8% de la población utiliza agua no potable a pesar de tener conexión a la red pública, se evidencia un factor cultural que condiciona la situación de vulnerabilidad.

En cuanto al índice AC el mismo fue mayor al sur y al norte del casco urbano en radios urbanos periféricos y en radios urbanos ubicados en las nacientes de los arroyos. El subíndice  $Ekv_c$  fue más elevado en cercanías a los cursos de agua, fundamentalmente por el reducido espesor de la zona no saturada. La distribución de la concentración de  $NO_3^-$  mostró mayores valores sobre el ejido urbano, en zonas de descarga que obedecen a la disminución del gradiente hidráulico y a la confluencia de flujos subterráneos y superficiales como ocurre en la cuenca media del A° Tulipán, en la naciente Sur del A° Capilla y a lo largo de la zona baja del valle de su último afluente. Los valores de  $NO_3^-$  por otro lado, no superaron los límites

establecidos por la OMS y el CAA para agua de consumo humano, salvo en una sola muestra con 51 mg/l.

En cuanto a los análisis complementarios los resultados evidenciaron que los porcentajes de NBI más altos coincidieron con tres de los cuatro radios censales con mayor RHP, estos radios son prioritarios en futuros planes de Gestión del Riesgo, ya que su situación de Riesgo es apremiante y sus posibilidades futuras de recuperación ante los efectos de la contaminación se ve disminuida por su condición socio-económica. Por otro lado, el hecho de que existan radios con altos índices de RHP a pesar de no presentar una situación socio-económica agravante, da cuenta de que la vulnerabilidad no depende exclusivamente de factores económicos y sociales, sino también de factores culturales y su conjugación con las amenazas ambientales.

La caracterización hidrodinámica permitió concluir que el patrón de flujo subterráneo es coherente con la forma del relieve del terreno, siendo esta una característica de los sistemas hídricos donde la recarga supera a las pérdidas por evaporación y evapotranspiración. Por otro lado, el agua subterránea posee un fuerte control litológico y estructural dado por la geología basáltica. Así mismo, los vectores de flujo subterráneo demostraron la complejidad en las direcciones de flujo, y la prevalente característica efluente de los cursos superficiales de agua. También se registró que el acuífero somero tiene profundidades muy variables tanto a nivel espacial como temporal, lo que da cuenta de un medio altamente anisotrópico y directamente dependiente de las precipitaciones. El mapa piezométrico permitió, también, inferir la ubicación de zonas de recarga, descarga y conducción del agua subterránea. Siendo las primeras coincidentes con las áreas elevadas de la topografía y las últimas con las zonas bajas de los valles. Los gradientes hidráulicos en el área de estudio son elevados, lo cual permite inferir en términos generales, zonas de mayor velocidad de flujo subterráneo, sin tener en cuenta la existencia de flujos preferenciales característicos de los medios lateríticos y saprolíticos.

En el análisis de la interacción agua subterránea-agua superficial, se demostró el predominante carácter efluentes de ambos arroyos. Esta característica varía estacionalmente en la cuenca baja del A° Tulipán, y especialmente en la cuenca media del A° Capilla, posibilitando una conexión hidráulica entre el curso principal de este arroyo y su último afluente.

Así, se verifica que en la distribución de los factores de amenaza, la poca profundidad del nivel freático condicionó a la vulnerabilidad intrínseca del acuífero más que el tipo de suelo, y que la distribución del ión  $\text{NO}_3^-$  obedeció principalmente a la hidrodinámica del sistema más

que a la distribución y densidad de la población. Las bajas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  resultan de una alta recarga del sistema que es evacuada rápidamente hacia los arroyos con una gran conectividad hidráulica, gracias a los marcados gradientes del acuífero somero y la probable existencia de flujos preferenciales, que son característicos del suelo laterítico en el bosque atlántico (Mendiondo y Tucci, 1997). La alta tasa de renovación del agua permite evacuar rápidamente la carga contaminante y disminuir los valores de  $\text{NO}_3^-$ , a diferencia de lo que sucede en cuencas naturales de ecosistemas tropicales serranos, donde los arroyos evacuan muy poca agua en relación a las precipitaciones debido a la alta intercepción, evapotranspiración y consumo vegetal (Chaves *et al.*, 1999). Esta característica de las circulación del agua sumada a un medio reductor de baja conductividad hidráulica en la parte baja de los valles hace probable la existencia de procesos de desnitrificación, que para suelos residuales en Brasil han registrado valores de hasta 1,4 y 3 kg N /ha/año (García-Montiel *et al.*, 2004; Neill *et al.*, 2005)

Si bien este estudio no se abocó al análisis detallado de la contaminación bacteriológica, los casos puntuales de presencia de *E. Coli* y altas concentraciones de Coliformes fecales permitieron corroborar la fuente de contaminación orgánica y señalar la posible afectación de personas por organismos patógenos. Para evaluar esta problemática se debe tener en cuenta los factores que hacen posible la filtración y permanencia de estos organismos fundamentalmente en la zona no saturada, donde la supervivencia de Coliformes fecales es muy variable y se halla también vinculada a la existencia de flujos saturados y preferenciales dentro de la matriz del suelo y la roca fracturada que llegan inclusive a alcanzar un régimen turbulento ante determinados eventos de precipitación (Wilkinson *et al.*, 1995; Hursh, 1944). La presencia de Coliformes en cursos de agua está relacionada a la carga contaminante, si es puntual o difusa, y a la capacidad de autodepuración del curso, que es un proceso complejo que incluye diversos aspectos, tanto físicos como químicos (Wilkinson *et al.*, 1995; Lewis *et al.*, 1988).

La caracterización hidroquímica permitió corroborar que el agua en condiciones naturales, fuera de la influencia antrópica, es apta para consumo humano y presenta valores muy reducidos de  $\text{NO}_3^-$  y salinidad, los cuales se modifican considerablemente una vez que los flujos atraviesan el casco urbano. Además se corroboró que este proceso de contaminación orgánica por excretas humanas es actual, en base a la presencia de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$ , Coliformes fecales y *E. Coli*.

## 5. CONCLUSIONES

Se presenta un análisis del Riesgo hídrico poblacional de la ciudad de Jardín América, Misiones mediante la confección del índice RHP. A partir de lo cual se concluye que:

- ✓ El índice de RHP mostró mayores valores en radios urbanos, periféricos y cercanos a los cursos superficiales sobre las cuencas medias de los arroyos.
- ✓ El índice de VS fue mayor en aquellos sectores con una precaria disposición de excretas sin cámaras sépticas y por el uso de pozos y perforaciones para consumo de agua, a pesar de la existencia de red de agua potable.
- ✓ La densidad poblacional tuvo un efecto disímil debido a que barrios más densos, en general suelen estar acompañados de red de agua potable y uso de cámara séptica.
- ✓ Se verificó que los sectores de mayor VS presentan en su mayoría un RHP elevado como consecuencia de su ubicación en sectores alta amenaza ambiental. Tal situación se agravó en aquellos sectores de alto NBI con una capacidad de resiliencia disminuida.
- ✓ Se observó que existen sectores de alto RHP donde la VS depende más de prácticas culturales, como el abastecimiento a partir de pozos artesanales, que de una situación económica de bajos recursos.
- ✓ Los mayores valores del índice AC se localizaron en sectores donde se encontró una mayor concentración de ion  $\text{NO}_3^-$  y una mayor vulnerabilidad intrínseca del acuífero ( $\text{Ek}_{\text{vc}}$ ).
- ✓ Se verificó que en dichos sectores existe una disminución en el gradiente hidráulico y una confluencia de flujos subterráneos y superficiales.
- ✓ Se evidencia partir del aumento en las concentraciones del ion  $\text{NO}_3^-$ , a pesar que no superaron los valores guía para consumo humano, un fenómeno de contaminación en proceso, mitigado por las condiciones naturales que le imprimen al sistema una alta tasa de renovación del agua.
- ✓ Se observó que aunque la mayoría de los pozos no presentaron valores de  $\text{NO}_3^-$  por encima de los valores guía, los indicadores de contaminación bacteriológica determinan en algunos pozos que el agua no es apta para consumo humano, aunque se recomienda realizar estudios más exhaustivos referidos a este aspecto.
- ✓ Este trabajo constituye un diagnóstico ambiental que sienta las bases para la evaluación del riesgo, como herramienta de gestión para la priorización espacial y temporal de políticas hídricas, habitacionales y sanitarias.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alsina, G.**, 2004. Lo que nos rodea. En: M. Di Pace (Ed), Ecología de la ciudad (pp.113 – 130). Buenos Aires: Prometeo libros.
- Auge, M.**, 2004. Regiones hidrogeológicas de la República Argentina. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/RegionesHidrogeol.pdf>. Consultado: 05/12/2016.
- Auge, M. P.**, 2003. Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Hidrored. Rediris. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>. Consultado: 10/10/2015.
- Avigliano, E., Schenone, N.**, 2016. Water quality in Atlantic rainforest mountain rivers (South America): quality indices assessment, nutrients distribution, and consumption effect. Environmental Science and Pollution Research. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/299610709\\_Water\\_quality\\_in\\_the\\_Atlantic\\_Rainforest\\_Mountain\\_Rivers\\_South\\_America\\_quality\\_indices\\_assessment\\_nutrients\\_distribution\\_and\\_consumption\\_effect](https://www.researchgate.net/publication/299610709_Water_quality_in_the_Atlantic_Rainforest_Mountain_Rivers_South_America_quality_indices_assessment_nutrients_distribution_and_consumption_effect). Consultado: 17/01/2017
- Bonarelli, G. y Longobardi, E.**, 1929. Memoria explicativa del mapa Geoagrológico y minero de la provincia de Corrientes. 2 285-346. Corrientes: Imprenta del Estado.
- Bossi, J.**, 1966. Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. pp 469. Montevideo
- Blight G.E.**, 1997. “Mechanics of residual soils”. pp 237. Balkema/Rotterdam.
- Burgos V.H. y A.P. Salcedo.**, 2014. Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. En: Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (2º, 2014, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina). Disponible en: <http://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje1/1.11.pdf>. Consultado: 01/10/2015.
- Cabrera, A.L.**, 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. En: Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería, Tomo 2 fasc. 1. Buenos Aires: Acme
- Caldwell, E.L. y L.W. Parr.**, 1937. Groundwater pollution and the bored hole latrine. Journal of Infectious Diseases. Vol.61: 148-183.
- Capello, M., Galassi, G. y L.M. Vera.**, 2011. La situación de la vivienda y los servicios sociales básicos: horizontes de largo plazo (Versión electrónica). IERAL Documento de Investigación (55). Disponible en: <http://www.ieral.org/noticias/la-situacion->

vivienda-servicios-sociales-basicos-horizontes-largo-plazo-1923.html. Consultado:  
08/07/2015

**Chaves, J., Neill, C., Germer, S., Gouveia Neto S., Krusche, A.V., Castellanos Bonilla, A. y H. Elsenbeer.,** 2009. Nitrogen Transformations in Flowpaths Leading from Soils to Streams in Amazon Forest and Pasture. *Ecosystems* 12: 961–972. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/225331283\\_Nitrogen\\_Transformations\\_in\\_Flowpaths\\_Leading\\_from\\_Soils\\_to\\_Streams\\_in\\_Amazon\\_Forest\\_and\\_Pasture](https://www.researchgate.net/publication/225331283_Nitrogen_Transformations_in_Flowpaths_Leading_from_Soils_to_Streams_in_Amazon_Forest_and_Pasture).

Consultado: 17/02/2017

**Código Alimentario Argentino (CAA),** 2008. Ley 18284-69 Decreto 2126/7 y actualizaciones. Republica Argentina. Disponible en: <http://anmat.gov.a>. Consultado: 14/01/2016

**Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL),** 2014. Panorama Social de América Latina (LC/G.2635-P). Santiago de Chile.

**Consejo Federal de Inversiones (CFI),** 1977. Estudio de los recursos naturales, provincia de Misiones: Basado en la percepción remota desde el espacio mediante la interpretación multi-espectral secuencial multidisciplinaria de las imágenes satelitarias de los programas Landsat Skylab (Versión electrónica). Disponible en:

<http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/estudio-de-los-recursos-naturales-provincia-del-misiones-basado-en-la-percepcion-remota-desde-el-espacio-mediante-la-interpretacion-multi-espectral-secuencial-multidisciplinaria-de-las-imagenes-sate/>

Consultado: 09/07/2015

**Compañía Argentina de Relevamientos Fotográficos y Aereofotogramétricos**

**(C.A.R.T.A.),** 1964. Mapa Edafológico de la Pcia. Misiones, Hoja 2754-19-1 y Hoja 2754-19-2, Escala 1:50.000

**Correa, M.A., Toloza, R.R. y E.R. Albornoz.,** 2012. Desarrollo Territorial de la alta cuenca del A° Tabay Provincia de Misiones, Argentina.

**Craig J. R.,** Vaughan D. y B. Skinner., 1996. *Resources of the Earth*. Editorial Prentice Hall. New Jersey.

**David, I.,** 1978. *Shelter after disaster*, Oxford: Oxford Politechnic Press.

**De Salvo, O.E.,** 1991. Contribución al Conocimiento Hidrogeológico de las Rocas Basálticas de la Formación Alto Paraná. 1er. Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforaciones de Pozos en el Paraguay. pp 101-117.



- Espigares García, M. y J.A. Pérez López.,**1985. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada.
- Fariña, S.,** 2005. Resultados preliminares de la hidrogeología en el área de estudio del Sistema Acuífero Guaraní de la parte sur de la región oriental del Paraguay. Informe de proyecto, Taller del SAG-PY. pp 19-20. Asunción.
- Filgueira, C. y A. Peri.,** 2004. Población y Desarrollo serie 54. América Latina: los rostros de la pobreza y sus causas determinantes. Proyecto Regional de Población Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) – División de Población / Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). Naciones Unidas y CEPAL. ISSN: 1680-9009. ISBN: 92-1-322538-5. Santiago de Chile.
- Foster, S., Hirata, R., Gomez, D., D' Elia, M. y M. Paris.,** 2003. Protección de la Calidad del Agua Subterránea guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales 1st ed. ISBN: 84-8476-146-0. Madrid: Mundi-Prensa.
- Foster, S., Ventura, M., Hirata, R.,** 1987. Contaminación de las aguas subterráneas. Un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable, OMS, OPS-HPE y CEPIS. Lima
- Garcia-Montiel, D., Melillo, J.M., Steudler, P.A., Tian, H., Neill, C., Kicklighter, D., Feigl, B.J., Piccolo, M.C. y C.C. Cerri.,** 2004. Emissions of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from terra firme forests in Rondonia, Brazil. Ecol Appl 14:S214–20. Disponible en: <http://www.auburn.edu/~tianhan/publications/Garcia-Montiel%20DC.pdf>. Consultado 12/01/2017
- Garros Martínez, M. C. y S. Borla.,** 2016. Ambiente y Pobreza. Una mirada interdisciplinaria. EUCASA (Ediciones Universidad Católica de Salta). Disponible en: <https://play.google.com/store/books/details?id=GxfFDAAAQBAJ>. Consultado: 05/02/2016
- Gentili, C. y H. Rimoldi.,** 1980. Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Córdoba, Argentina. Vol. 1:185-223.
- Goldshmid, j., Zohar, D., Argaman Y., y Y. Kott.,** 1973. Effect of dissolved salts on the filtration of coliform bacteria in sand dunes.En: Advances in Water Pollution Research, Proceedings of the 6th International Conference held in Jerusalem 1972, pp. 147-155.

- Gonzaga de Campos, L.F.**, 1889. Relatorio da Comissao Geográfica da Provincia de Sao Paulo. Sección Geología. pp 21-34. Sao Paulo.
- Gross Braun, E.H., Temporelli M.B. y C.G., Ríos.**, 1979. Informe final sobre suelos. En: Proyecto para el desarrollo integrado de la provincia de Misiones. Secretaría de Planificación y Control. Prov. de Misiones. pp 145.
- Harrington, H.J.**, 1956. Paraguay. En: Handbook of South American Geology. Geological Society of America., Vol. 65:99-114.
- Herrero, A. C.**, 2006. Tierra: Red temática de ciencias de la tierra. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Tcarolina.html>. Consultado: 02/04/2016
- Herrero, A. C.**, 2004. Problemas ambientales urbanos. En: M. Di Pace (Ed), Ecología de la ciudad (pp. 165 - 230). Buenos Aires: Prometeo libros.
- Herzer, H y R. Gurevich.**, 1996. "Degradación y desastres urbanos. Tres ejemplos de la Argentina para reflexionar". En: Realidad Económica, No. 139 (abril/mayo). Buenos Aires: IADE.
- Herzer, H.**, 1994. "Los desastres: consideraciones conceptuales". Conferencia Interamericana: Experiencias Nacionales en Reducción de Desastres. Cartagena de Indias
- Hursh, C. R.**, 1944. Appendix B - Report of sub-committee on subsurface-flow. Eos, Transactions American Geophysical Union. Vol.25 (5): 743-746.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC).**, 2014. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar>. Consultado: 08/07/2015
- Instituto Provincial de Estadística y Censos (IPEC).**, 2012. Gran Atlas de Misiones (Versión electrónica). Disponible en: <http://www.ipecmisiones.com/w1/>. Consultado: 08/07/2015
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).**, 2014. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina MDE-Ar. Disponible en: <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Documentacion>. Consultado: 14/07/2016
- Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO).**, 2007. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. Serie Correlación Geológica (22).

Disponible en: <http://insugeo.org.ar/scg/ver-volumen.php?id=13>. Consultado:  
09/07/2015

- Isla, F. I.**, 2013. Léxico estratigráfico argentino: Cuaternario. Disponible en:  
[http://www.geologica.org.ar/archivos\\_usuarios/cuaternario.pdf](http://www.geologica.org.ar/archivos_usuarios/cuaternario.pdf). Consultado:  
05/12/2016
- Jenks G. F.**, 1977. Optimal Data Classification for Choropleth maps. Artículo N° 2,  
Departamento de Geografía, Universidad de Kansas.
- Jones, A.**, 1971. Soil Piping and Stream Channel Initiation. Water Resources Research. Vol. 7.  
Nro 3, pp. 602-610.
- Jonnalagadda S.B. y G. Mhere.**, 2001. Water quality of the Odzi river in the eastern  
highland of Zimbabwe. Water Res. Vol. 35 (10): 2371-2376
- Juárez, M. M., y V.B. Rajal.**, 2013. Parasitosis intestinales en Argentina: Principales agentes  
causales encontrados en la población y el ambiente. Revista Argentina de  
Microbiología, Vol. 45(3).
- Kalbermatten, j.k., Julius D.S., y C.G. Gunnerson.**, 1980. Appropriate technology for  
Water Supply and Sanitation: Technical and economic options. Report of  
Transportation, Water, and Telecommunication Department, The World Bank.  
Washington.
- Kligler, I.J.**, 1921. Investigation on soil pollution and the relation of the various type of  
privies to the spread of intestinal infections. Monograph No. 15. Theockfell Institute  
for Medical Research. New York.
- Kowarick, L.**, 2002. “Viver em risco. Sobre a vulnerabilidade no Brasil urbano”. Novos  
estudos, CEBRAP (63). San Pablo.
- Lavell, A.**, 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos:  
Hacia la definición de una agenda de investigación. En: M. A. Fernández (Ed),  
Ciudades en Riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. (pp 12-42).  
Lima: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Lentini, E. J., y F. Brenner.**, 2012. Agua y saneamiento un objetivo de desarrollo del  
Milenio. Los avances en Argentina. (E. Basualdo, A. Ferrer, O. Oszlak, & F. Porta,  
Edits.) Voces en el fénix, Vol. 3(20), pp 42-51.
- Lewis W.J., Foster S.S.D. y B.S. Drasar.**, 1988. CEPIS-OPS: “Análisis de contaminación de  
las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico”. Disponible en:

<http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind46/analisis/analisis.html>.

Consultado: 27/05/2016

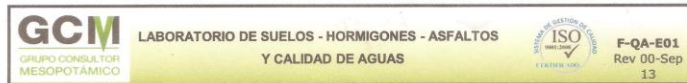
- Ligier, H.D.**, 2000. Caracterización geomorfológica y edáfica de la provincia de Misiones, Informe para la Fundación Vida Silvestre.
- Ligier, H.D., Matteio, H.R., Polo, H.L. y J.R. Rosso.**, 1988. Mapa de Suelos de la provincia de Misiones. (Escala 1:500.000). INTA - EEA Corrientes. Proyecto PNUD - ARG. 85/019. EEA-INTA Corrientes. Recursos Naturales.
- Litwin, C. y F.P. Molas.**, 1987. Estudio hidrológico e hidráulico de tributarios del río Paraná en el tramo comprendido entre el río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas : Informe final. COMIP. Buenos Aires. Asunción.
- Little, A.L.**, 1969. "The engineering classification of residual tropical soils". Proceedings of the specialty session on the engineering properties of laterite soils, 7th. International conference on soil mechanics and foundation engineering, Mexico City. Vol. 1:1 - 10
- Longarzo, R. F.**, 2007. Estudio relacionado con el acuífero Guaraní en Misiones.
- Maskery, A.**, 1998. Navengando entre brumas. La aplicación de Sistemas de Información Geográfica al análisis de riesgos en América Latina. (A. Maskery, Ed.) Colombia: ITDG/La red.
- Margalef, R.**, 1983. Limnología. Barcelona: Ediciones Omega.
- Mendiondo, E. M. y C.E. Tucci.**, 1997. Escalas Hidrológicas. II: Diversidade de processos na bacia vertente. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 81 - 100.
- Moser, C.**, 1995. "Situación críticas, Reacción de los hogares de las cuatro comunidades urbanas pobres ante la vulnerabilidad y la pobreza". Serie de estudios y monografías sobre el desarrollo ecológicamente sostenible N° 75, Banco Mundial. Washington DC.
- Natenzon, C.**, 1995. Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre". Flasco, Serie de Documentos e informes de Investigación N° 197. Buenos Aires.
- Neill, C., Piccolo, M.C., Steudler, P.A., Melillo, J.M., Feigl, B.J. y C.C. Cerri.**, 1995. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon Basin. Soil Biol Biochem 27:1167-75.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).**, 2011. Agua potable salubre y saneamiento basico en pro de la salud. Disponible en:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/). Consultado: 13/02/2017.

- Organización Mundial de la Salud (OMS)**., 2008. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. ISBN 92 4 154696 4. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1). Consultado: 13/01/2017.
- Pacheco Avila, J., Pat Canul, R., y A. Cabrera Sansores.**, 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería, pp.73-81.
- Panigatti, J.L.**, 2010. Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA Buenos Aires. pp. 345.
- Pesce, S.F. y Wunderlin, D.A.**, 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia river. Water Res. Vol. 34 (11): 2915-2926
- Putzer, H.**, 1962. Die geologie von Paraguay Beitr. Reg. Geol. Erde. Vol. 2:1-182.
- Reading, A.J.**, 1999. “Stability of tropical residual soils from Dominica, West Indies”. Eng. Geol., Vol. 31: pp. 27-44.
- Romero, G. y A. Maskery.**, 1983. Como entender los desastres naturales. La Red. Bogotá
- Sanchez, E., Colmenarejo M.F., Vicente J., RubioA., García M.G., Travieso L. y R. Borja.**, 2007. Use of the Water Quality Index and dissolved oxygen as simple indicators of watersheds pollution. Ecol. indic. 8:476-484
- Seoanez Calvo, M.**, 1996. Ingeniería del medio ambiente. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Suárez, J.**, 2013. Suelos residuales. En: J. Suárez (Ed). Deslizamientos. Análisis geotécnico, 1st ed. (pp.389-480). Disponible en: <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomoi-analisis-geotecnico.html>. Consultado: 11/11/ 2016.
- Suárez, F., Calello, T. y R. Lombardo.**, 2004. La dimensión sociocultural de los problemas ambientales urbanos. En: M. Di Pace (Ed), Ecología de la ciudad. (pp. 231 – 246). Buneos Aires: Prometeo libros.
- Spalding, R.F. y M.E. Exner.**, 1993. Occurrence of nitrate in groundwater. A review: J. Environ. Qual. Vol. 22: 392-402.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.**, 2005. Cadmiun Reduction Method 4500 – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> E. America Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21<sup>st</sup>. ed. pp 4-123. New York

- Tchilinguirian, P., Cavallaro, S., Fratalocchi, C., Marengo, H., Palma, Y.I., Tejedó, A., Tobio M.I., Toloczyki, M.,** 2005. Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial: San Ignacio. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) e Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), Alemania. Buenos Aires: Rastelli, Daniel C.
- Turner, S.P., Regelous M., Kelley, S., Hawkesworth J.C. y M.S.M. Mantovani.,** 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar geochronology. Earth and Planetary Science Letters. Vol.121: 333-348.
- Vrba J. y A. Zaporozec (Ed.),** 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Vol. 16: 1-131. Verlag Heinz Heise. Hannover.
- Ward, M. H., Mark, S.D., Cantor, K.P., Weinsburger, D. D., Correavillaseñor, A. y S. H. Zahm.,** 1996. Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. Epidemiol. Vol.7: 465-471
- Wilches Chaux, G.,** 1998. Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador o Yo voy a correr el riesgo. La Red. Lima.
- Wilhelmus, L.P.,** 1973. Suelos y Ecosistemas del Trópico Húmedo. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) Vol. 2(3):69-85
- World Water Council.,** 2006. Problemas de agua en América Latina. 4th World Water Forum: México 2006. Disponible en:  
[http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/News/WWC\\_News/water\\_problems\\_es\\_22.03.04.pdf](http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/News/WWC_News/water_problems_es_22.03.04.pdf). Consultado: 02/01/2

## 7. ANEXOS

### 7.1. Análisis físico-químico de la muestra 116. Cuenca alta A° Capilla



Fecha de ingreso: 31/07/2015  
Código Interno: 1102ANAv  
Fecha final del Ensayo: 13/08/2015

Comitente: Hugo Ramiro Paez Campo  
Dirección: Jardín América  
Datos de la Muestra: Muestra 116  
Muestreador: Muestra Puesta en Laboratorio  
Fecha de Muestreo: 31/07/2015

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
pH	upH	Potenciométrico	SM 4500-H+B	6,2	-	-
Conductividad	uS/cm	Electrométrico	SM 2510- B	21,0	-	-
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320 B	6,0	0,5	1
Alcalinidad Fenolf. (CaCO3)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320 B	ND	0,5	1
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320- B	ND	0,6	1,2
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320- B	7,3	0,6	1,2
Cloruro (Cl)	mg/L	M. Argentométrico	SM 4500-Cf B	3,5	1,5	3
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	M. Titulométrico	SM 2340 C	23	1	2
Fluoruro (F)*	mg/L	M. Espectrofotométrico	SM 4500 F - D	0,2	0,05	0,1
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	1,5	0,59	0,66
Sólidos Disuelto Total (SDT)	mg/L	M. Gravimétrico	SM 2540 C	15	5	10
Calcio (Ca)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	4,0	0,04	0,30
Magnesio (Mg)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	2,5	0,03	0,07
Potasio (K)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	0,6	0,10	0,30
Sodio (Na)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	0,9	0,1	0,3
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	Turbidimétrico	SM 4500 SO4 - E	3,0	0,7	1,3
Demanda Bioq. Oxígeno (DBO)	mg/L	Prueba DBO 5 Dias	SM 5210 B	<2	1	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	Yodométrico	SM 4500 O-B	10	0,5	1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)*	mg/L	M. Reflujo Abierto	SM 5220 B	1,0	0,02	0,03

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación  
ND: No Detecta  
SM: Estándar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 y 20 Edition.  
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.  
EPA: Environmental Protection Agency. USA

\* Parámetros realizados en Laboratorios Externos

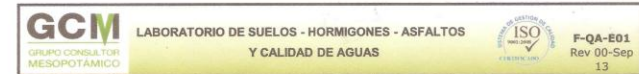
L.G.I. Ortiz Dario Esteban  
Coordinador de Laboratorio  
de Análisis Químicos

Mg. Ing. Puchalski Cecilia  
M.P 3077  
Coordinadora de Estudios Ambientales

Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.

Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes  
www.grucome.com.ar

### 7.2. Análisis físico-químico de la muestra 326. Cuenca alta, A°Tulipán



Fecha de ingreso: 31/07/2015  
Código Interno: 1103ANAv  
Fecha final del Ensayo: 13/08/2015

Comitente: Hugo Ramiro Paez Campo  
Dirección: Jardín América  
Datos de la Muestra: Muestra 326  
Muestreador: Muestra Puesta en Laboratorio  
Fecha de Muestreo: 31/07/2015

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
pH	upH	Potenciométrico	SM 4500-H+B	6,5	-	-
Conductividad	uS/cm	Electrométrico	SM 2510- B	21,0	-	-
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320 B	6,0	0,5	1
Alcalinidad Fenolf. (CaCO3)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320 B	ND	0,5	1
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320- B	ND	0,6	1,2
Bicarbonatos (CO <sub>3</sub> H)	mg/L	M. Titulométrico	SM 2320- B	7,3	0,6	1,2
Cloruro (Cl)	mg/L	M. Argentométrico	SM 4500-Cf B	3,5	1,5	3
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	M. Titulométrico	SM 2340 C	35	1	2
Fluoruro (F)*	mg/L	M. Espectrofotométrico	SM 4500 F - D	0,1	0,05	0,1
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	1,7	0,59	0,66
Sólidos Disuelto Total (SDT)	mg/L	M. Gravimétrico	SM 2540 C	16	5	10
Calcio (Ca)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	4,5	0,04	0,30
Magnesio (Mg)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	1,3	0,03	0,07
Potasio (K)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	0,8	0,10	0,30
Sodio (Na)	mg/L	Absorción Atómica Aspiración llama	EPA 600/R-94/111 Método 200.2 / SM 3111 B	1,8	0,1	0,3
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	Turbidimétrico	SM 4500 SO4 - E	2,9	0,7	1,3
Demanda Bioq. Oxígeno (DBO)	mg/L	Prueba DBO 5 Dias	SM 5210 B	2	1	2
Oxígeno disuelto	mg/L	Yodométrico	SM 4500 O-B	9,5	0,5	1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)*	mg/L	M. Reflujo Abierto	SM 5220 B	1,0	0,02	0,03

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación  
ND: No Detecta  
SM: Estándar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 y 20 Edition.  
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.  
EPA: Environmental Protection Agency. USA

\* Parámetros realizados en Laboratorios Externos


L.G.I. Ortiz Dario Esteban  
Coordinador de Laboratorio  
de Análisis Químicos

Mg. Ing. Puchalski Cecilia  
M.P 3077  
Coordinadora de Estudios Ambientales

Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.


Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes  
www.grucome.com.ar

### 7.3. Determinaciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NH<sub>3</sub>



**LABORATORIO DE SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS  
Y CALIDAD DE AGUAS**

GRUPO CONSULTOR  
MESOPOTAMICO



**F-QA-N01**  
Rev 00-Sep 13

Fecha de ingreso : 01/02/2016  
Fecha final del Ensayo: 04/02/2016

**Comitente:** Hugo Ramiro Paez Campo  
**Dirección:** Jardín América  
**Muestreador:** Muestra Puesta en Laboratorio

**Datos de la Muestra: M022(N)** Cod. Int: 1425ANMe

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	36,5	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	ND	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	ND	0,03	0,05

**Datos de la Muestra: M040(N)** Cod. Int: 1426ANMe

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	33,1	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	0,350	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	0,57	0,03	0,05

**Datos de la Muestra: M80(N)** Cod. Int: 1427ANMe


Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	35,1	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	0,056	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	ND	0,03	0,05

**Datos de la Muestra: M0125(N)** Cod. Int: 1428ANMe

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	41,8	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	0,016	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	ND	0,03	0,05

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación  
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.  
SM: Estándar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 y 20 Edition.


ND: No Detecta



L.Q.J. Ortiz Dario Esteban  
Coordinador de Laboratorio  
de Análisis Químicos


*Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.*

Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes  
Oficina: Sarmiento 1367 – Piso 2º, Tel. (54) 0376-4435038  
www.gruome.com.ar



**LABORATORIO DE SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS  
Y CALIDAD DE AGUAS**

GRUPO CONSULTOR  
MESOPOTAMICO



**F-QA-N01**  
Rev 00-Sep 13

Fecha de ingreso : 01/02/2016  
Fecha final del Ensayo: 04/02/2016

**Comitente:** Hugo Ramiro Paez Campo  
**Dirección:** Jardín América  
**Muestreador:** Muestra Puesta en Laboratorio

**Datos de la Muestra: M0244(N)** Cod. Int: 1429ANMe


Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	6,4	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	0,063	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	0,19	0,03	0,05

**Datos de la Muestra: M0252(N)** Cod. Int: 1430ANMe

Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	4,3	0,59	0,66
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	De la Sulfanilamida	SM 4500-N02 B	0,016	0,011	0,016
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	mg/L	M.De la sal de Fenol	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	<0,05	0,03	0,05

LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación  
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.  
SM: Estándar Methods For de Examination of Water and Wastewater 17 y 20 Edition.

ND: No Detecta




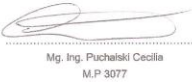
L.Q.J. Ortiz Dario Esteban  
Coordinador de Laboratorio  
de Análisis Químicos


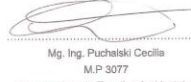
*Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.*

Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes  
Oficina: Sarmiento 1367 – Piso 2º, Tel. (54) 0376-4435038  
www.gruome.com.ar



## 7.4. Determinaciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

GCM		LABORATORIO DE SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS Y CALIDAD DE AGUAS		ISO		F-QA-N01 Rev 00-Sep 13	
GRUPO CONSULTOR MESOPOTÁMICO				CERTIFICADO		Fecha de ingreso : 30/06/2017 Fecha final del Ensayo: 06/07/2015	
Comitente: Hugo Ramiro Paez Campo							
Dirección: Jardín América							
Muestreador: Muestra Puesta en Laboratorio							
Datos de la Muestra: M256				Cod. Int: 1110ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	16,7	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M277				Cod. Int: 1111ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	17,4	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M307				Cod. Int: 1112ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	6,6	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M316				Cod. Int: 1113ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	1,0	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M320				Cod. Int: 1114ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	12,0	0,59	0,66	
LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación ND: No Detecta							
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.							
 L.Q.I. Ortiz Dario Esteban Coordinador de Laboratorio de Análisis Químicos				 Mg. Ing. Puchalski Cecilia M.P. 3077 Coordinadora de Estudios Ambientales			
Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.							
Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes Oficina: Sarmiento 1367 – Pto 2º, Tel. (54) 0376-4435038 www.gruome.com.ar							

GCM		LABORATORIO DE SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS Y CALIDAD DE AGUAS		ISO		F-QA-N01 Rev 00-Sep 13	
GRUPO CONSULTOR MESOPOTÁMICO				CERTIFICADO		Fecha de ingreso : 30/06/2017 Fecha final del Ensayo: 06/07/2015	
Comitente: Hugo Ramiro Paez Campo							
Dirección: Jardín América							
Muestreador: Muestra Puesta en Laboratorio							
Datos de la Muestra: M049				Cod. Int: 1102ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	18,6	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M093				Cod. Int: 1017ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	3,5	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M108				Cod. Int: 1018ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	3,2	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M114				Cod. Int: 1019ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	13,0	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M136				Cod. Int: 1020ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	18,9	0,59	0,66	
Datos de la Muestra: M237				Cod. Int: 1021ANMe			
Parámetros	Unidad	Método	Norma	VALOR	LD	LC	
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Salicilato de Na	CETUA	7,2	0,59	0,66	
LD y LC: Límite de Detección y Límite de Cuantificación ND: No Detecta							
CETUA: Centro de Tecnología de Uso del Agua, dependencia del Instituto Nacional del Agua.							
 L.Q.I. Ortiz Dario Esteban Coordinador de Laboratorio de Análisis Químicos				 Mg. Ing. Puchalski Cecilia M.P. 3077 Coordinadora de Estudios Ambientales			
Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización del G.C.M. Los resultados incluidos en este informe corresponden exclusivamente a las muestras ensayadas. No cabe al G.C.M. responsabilidad alguna por el uso incorrecto que se hiciera de este informe.							
Laboratorio: Morcillo 6101, Tel (54) 0376-4458171 Pdas-Mnes Oficina: Sarmiento 1367 – Piso 2º, Tel. (54) 0376-4435038 www.gruome.com.ar							

## 7.5. Determinaciones de *Escherichia Coli*

<b>CLA</b>	<b>Consultora y Laboratorio de Analisis de Alimentos</b>	French 924 - 3360 Oberá Misiones - Argentina Tel. 03755 405629 / Cel. 03755 15439268 www.claconsultora.com.ar info@claconsultora.com.ar
------------	--	--

**INFORME DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Páez Campos Ramiro	<b>Protocolo N°:</b> 88.00/ M
<b>Domicilio:</b> Sin datos	<b>Tipo de informe:</b> único
<b>Localidad:</b> Sin datos	<b>Página:</b> 1/1

FGC 011

**Muestra recibida:** Aguas  
**Caracteres de la presentación:** En envases colectores estériles  
**Datos adicionales:** *No se detalla la fuente, cada muestra posee una codificación numérica*  
**Lugar de extracción:** Muestra remitida por el cliente.  
**Responsable del muestreo:** No aplica  
**Fecha de recepción de la muestra:** 04/08/2015  
**Fecha de inicio de análisis:** 04/08/2015  
**Fecha de finalización de análisis:** 06/08/2015

**Metodología aplicada:**


1. Método APHA: 1995
----------------------

**DETERMINACION DE *Escherichia coli* /100 ml**

MUESTRA N°	Valor hallado	Valor sugerido
2	Negativo	Sin datos
12	Negativo	Sin datos
22	Negativo	Sin datos
35	Negativo	Sin datos
40	Positivo	Sin datos
56	Negativo	Sin datos
117	Negativo	Sin datos
241	Negativo	Sin datos
244	Negativo	Sin datos
251	Negativo	Sin datos
252	Positivo	Sin datos
256	Negativo	Sin datos
262	Positivo	Sin datos
266	Negativo	Sin datos
283	Negativo	Sin datos
294	Negativo	Sin datos
302	Negativo	Sin datos
310	Negativo	Sin datos
311	Negativo	Sin datos
327	Negativo	Sin datos

NOTA: Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados.  
Este informe sólo puede ser reproducido con la aprobación de CLA Consultora y Laboratorio de Analisis de Alimentos.

Habilitación Municipal N° 11833	CUIT: 27-28702333-8
---------------------------------	---------------------



LIC. NATALIA SINSOLO  
Tecnóloga en Alimentos  
M.P. 00049

## 7.6. Determinaciones de Coliformes fecales

<b>CLA</b>	<b>Consultora y Laboratorio de Analisis de Alimentos</b>	French 924 - 3360 Oberá Misiones - Argentina Tel. 03755 405629 / Cel. 03755 15439268 www.claconsultora.com.ar info@claconsultora.com.ar
------------	--	--

**INFORME DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Páez Campos Ramiro	<b>Protocolo N°:</b> 99.23/ M
<b>Domicilio:</b> Sin datos	<b>Tipo de informe:</b> único
<b>Localidad:</b> Sin datos	<b>Página:</b> 1/1

FGC 011


**Muestra recibida:** Aguas  
**Caracteres de la presentación:** En envases colectores estériles  
**Datos adicionales:** *No se detalla la fuente, cada muestra posee una codificación numérica*  
**Lugar de extracción:** Muestra remitida por el cliente.  
**Responsable del muestreo:** No aplica  
**Fecha de recepción de la muestra:** 02/02/2016  
**Fecha de inicio de análisis:** 02/02/2016  
**Fecha de finalización de análisis:** 05/02/2016

**Metodología aplicada:**

1. Método ISO 9308-2:2012
---------------------------

**DETERMINACION DE coliformes fecales / 100 ml**

MUESTRA N°	Valor hallado	Valor sugerido
125	>1100 NMP/100ml	Sin datos
80	>1100 NMP/100ml	Sin datos
220	150 NMP/100 ml	Sin datos
244	>1100 NMP/100ml	Sin datos
040	>1100 NMP/100ml	Sin datos
232	>1100 NMP/100ml	Sin datos



LIC. NATALIA SINSOLO  
Tecnóloga en Alimentos  
M.P. 00049

NOTA: Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados.  
Este informe sólo puede ser reproducido con la aprobación de CLA Consultora y Laboratorio de Analisis de Alimentos.

Habilitación Municipal N° 11833	CUIT: 27-28702333-8
---------------------------------	---------------------