



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**Trabajo de Grado**

**RIESGO A LA SALUD DEBIDO AL CONSUMO DEL  
AGUA SUBTERRANEA DEL ACUÍFERO PATIÑO EN  
EL DISTRITO DE LIMPIO, CON ENFOQUE A LOS  
NIVELES DE SALINIDAD PRESENTES**

**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado de  
Licenciado en Ciencias-Mención Geología

**SAN LORENZO – PARAGUAY**

**Diciembre – 2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**Trabajo de Grado**

**RIESGO A LA SALUD DEBIDO AL CONSUMO DEL  
AGUA SUBTERRANEA DEL ACUÍFERO PATIÑO EN  
EL DISTRITO DE LIMPIO, CON ENFOQUE A LOS  
NIVELES DE SALINIDAD PRESENTES**

**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

**Orientadora: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado de  
Licenciado en Ciencias-Mención Geología

**SAN LORENZO – PARAGUAY**

**Diciembre – 2019**

**RIESGO A LA SALUD DEBIDO AL CONSUMO DEL AGUA  
SUBTERRANEA DEL ACUÍFERO PATIÑO EN EL DISTRITO  
DE LIMPIO, CON ENFOQUE A LOS NIVELES DE SALINIDAD  
PRESENTES**

**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la  
Licenciatura Ciencias Mención Geología.

Fecha de aprobación: 26 de Diciembre del 2019.

**COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO**

MIEMBROS:

**Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici** .....  
*Universidad Nacional de Asunción.*

**Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín** .....  
*Universidad Nacional de Asunción.*

**Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz** .....  
*Universidad Nacional de Asunción.*

Aprobado por la Coordinación de Postgrado e Investigación del Departamento de  
Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de  
Asunción, en fecha.....de.....de 2019.

.....  
**Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz**  
Director de Postgrado e Investigación, FACEN – UNA

**DEDICATORIA**

A mi hermano Isaías Rolando.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme la vida, por su infinita misericordia y fidelidad para conmigo.

A mis padres Luz Maria y Rolando por su infinita paciencia durante estos años de mi formación. A mis hermanos Israel, Isaias Rolando, Luz Analia y Sara María por brindarme su apoyo incondicional.

A mi tía Gloria y a mi abuela Florinda por darme cobijo cada vez que lo necesité.

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para la Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici, la Prof. MSc. Sonia Molinas y el Prof. MSc. Moisés Gadea por sus valiosas orientaciones para la elaboración de este trabajo.

A Ever Cabrera por ser mi apoyo emocional en los momentos difíciles y por la confianza puesta en mí.

Al compañero Jairo Villalba por su colaboración para la elaboración de los mapas requeridos en este trabajo

A mis compañeros de Trabajo de Grado por brindarme su granito de arena para hacer posible esto.

**RIESGO A LA SALUD DEBIDO AL CONSUMO DEL AGUA  
SUBTERRANEA DEL ACUÍFERO PATIÑO EN EL DISTRITO DE LIMPIO,  
CON ENFOQUE A LOS NIVELES DE SALINIDAD PRESENTES.**

Autor: RUTH SELENA VALDEZ CANDIA.  
Orientador: PROF. DRA. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

**RESUMEN**

El Distrito de Limpio se encuentra ubicada en el sector norte del departamento Central siendo uno de los tantos usuarios que se abastecen de las aguas subterráneas del Acuífero Patiño, que a pesar de ser el acuífero más contaminado y sobre-explotado del país, cumple como la principal fuente de suministro de agua potable de dicho distrito. Debido a que el distrito de Limpio presenta proximidad con las zonas chaqueñas, las aguas del acuífero Patiño se ven influenciadas por acuíferos salobres provenientes de la región occidental, afectando la calidad de sus aguas para consumo, principalmente en las zonas ribereñas del Río Paraguay como lo son las Compañías de Piquete Cué y Rincón del Peñón. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que estas compañías además de presentar la mayor concentración de agua salobre de toda la ciudad, poseen también el mayor número de casos de hipertensión arterial registrados, presentando una relación muy significativa con el tipo de agua en la zona. Por ende, sabiendo la repercusión existente en la salud de esta parte de la población limeña, es importante monitorear el avance de la salinidad en la zona de Limpio y buscar alternativas de abastecimiento para los pobladores afectados.

**Palabras Claves:** Distrito de Limpio, Acuífero Patiño, salinidad, hipertensión arterial, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos.

# **HEALTH RISK DUE TO CONSUMPTION OF GROUNDWATER FROM PATIÑO AQUIFER IN LIMPIO DISTRICT, WITH FOCUS ON SALINITY LEVELS**

Author: RUTH SELENA VALDEZ CANDIA.  
Advisor: Prof. Dra. ANA MARIA CASTILLO CLERICI

## **SUMMARY**

The Limpio District is located in the northern sector of the Central Department, being one of the many users supplied by the groundwater from the Patiño Aquifer, which despite being the most polluted and over-exploited aquifer in the country, acts as the main source of drinking water supply for the aforementioned district. Due to Limpio District's proximity to the Chaco region, the waters in Patiño Aquifer are influenced by brackish aquifers from the Western Region, affecting the quality of its water for consumption, mainly in the riverside areas of the Paraguay River, such as so are the Piquete-cue and Rincón del Peñón Companies. The results obtained in this investigation indicate these companies, in addition to presenting the highest concentration of brackish water in the entire city, also have the highest number of cases of arterial hypertension registered, presenting a very significant relationship with the type of water in the area. Therefore, knowing the impact on the health of this part of the population of Limpio, it is important to monitor the advance of salinity in the Limpio area and look for alternative sources of water for the affected residents.

**Keywords:** Limpio District, Patiño Aquifer, salinity, arterial hypertension, electrical conductivity, total dissolved solids

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Geología Regional.....	8
2.3 Hidrogeología.....	13
2.4 El Agua.....	17
2.4.1 Agua superficial.....	18
2.4.2 Agua subterránea.....	19
2.4.2.1 Importancia del agua subterránea.....	19
2.4.2.2 El carácter químico del agua subterránea.....	20
2.4.2.3 Contaminación de Acuíferos.....	23
2.4.3 Agua potable.....	27
2.4.3.1 Consideraciones.....	27
2.5 Marco Legal.....	30
2.6 El Acuífero Patiño.....	32
2.6.1 Características del acuífero.....	33
2.6.2 Recarga de las aguas.....	33
2.6.3 Descarga de las aguas.....	33
2.6.4 Importancia del análisis del Balance Hídrico del Acuífero Patiño.....	34
2.6.5 Los usuarios en el acuífero.....	34
3. METODOLOGÍA.....	38



3.1 Características Generales del Área de Estudio.....	38
3.1.1 Localización.....	38
3.1.2 Topografía.....	39
3.1.3 Hidrografía.....	39
3.1.4 Clima.....	40
3.1.5 Vegetación.....	41
3.2 Materiales.....	41
3.3 Métodos.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1 Resultados.....	43
4.1.1 Resultados de la Potabilidad del agua desde el punto de vista del Total de Sólidos Disueltos presentes.....	48
4.1.2 Resultados de la influencia del consumo de agua en la salud de los ciudadanos de Limpio.....	54
4.2 Discusión.....	61
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1 Conclusión.....	64
5.2 Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	70

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Tipos de agua de acuerdo a la concentración de TSD presentes.....	23
Tabla 2. Clasificación de los problemas de calidad de agua subterránea.....	24
Tabla 3. Límites de Calidad de Agua Potable- ERSSAN.....	30
Tabla 4. Pozos de la Junta de Saneamiento de Rincón del Peñón.....	43
Tabla 5. Pozos de la Junta de Saneamiento de Piquete Cué.....	43
Tabla 6. Pozos de la Junta de Saneamiento de Salado.....	43
Tabla 7. Pozos de la Junta de Saneamiento del Centro de Limpio.....	44
Tabla 8. Pozos y Aguaterías del Distrito de Limpio.....	44
Tabla 9. Pozos de abastecimiento no aptos para consumo.....	49
Tabla 10. Pozos de abastecimiento dentro de los límites admisibles (aptos para consumo humano).....	52
Tabla 11. Pozos de abastecimiento dentro de los límites recomendados.....	53
Tabla 12. Número de casos nuevos con diagnóstico de Hipertensión.....	54
Tabla 13. Número de casos de HTA en seguimiento.....	55
Tabla 14. Casos de HTA en la ciudad de Limpio.....	55
Tabla 15. Valores registrados en los pozos de la Compañía Rincón del Peñón.....	61

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Areniscas de la Formación Patiño.....	10
Figura 2. Areniscas Columnares del Distrito de Limpio.....	10
Figura 3. Perfil topográfico del Distrito de Limpio con relación al Rift.....	12
Figura 4. Localización del área de Estudio.....	38
Figura 1: Principales cursos hídricos del Distrito de Limpio.....	39
Figura 2: Climograma del Distrito de Limpio.....	40
Figura 3: Diagrama de Temperatura del Distrito de Limpio.....	40
Figura 4. Lugares de muestreo.....	45
Figura 9. Tipos de agua subterránea en el Distrito de Limpio.....	46
Figura 10. Categorización de las aguas dulces del Distrito de Limpio enfocado al TSD presentes.....	47
Figura 11. Mapa de distribución de los tipos de agua del Distrito de Limpio enfocado al TSD presentes.....	47
Figura 12. Pozos no aptos para consumo humano.....	48
Figura 13. Pozos aptos para consumo humano.....	51
Figura 14. Calidad del agua en la ciudad de Limpio.....	53
Figura 15. Gráfico porcentual de los casos de HTA registrados en la ciudad de Limpio.....	56
Figura 16. Distribución geográfica de hospitales y puestos de salud de la ciudad de Limpio.....	57
Figura 17. Tipos de agua de acuerdo a la ubicación de puestos de salud y hospitales. 1*. USF Piquete Cué. 2*. USF 15 de Agosto. 3*. USF Sto Domingo. 4*. USF Villa Madrid. 5*. Hospital Indígena. 6*. Hospital distrital de Limpio. 7*.USF San Gerónimo. 8*. USF Don Bosco. 9*. USF Benigno Ferreira....	59
Figura 18. Zonas de riesgo1*. USF Piquete Cué. 2*. USF 15 de Agosto. 3*. USF Sto Domingo. 4*. USF Villa Madrid. 5*. Hospital	

Indígena. 6\*. Hospital distrital de Limpio. 7\*.USF San Gerónimo. 8\*. USF Don Bosco. 9\*. USF Benigno Ferreira.... 60

### **LISTA DE ANEXOS**

	Página
A1 Solicitud de Datos al Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA).....	70
A2. Solicitud de Datos al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible...	71
A3. Solicitud de datos a la Junta de Saneamiento de Rincón del Peñón.....	72
A4. Solicitud de datos a la Aguatería Paniagua.....	73
A5. Solicitud de datos al Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN).....	74

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.

<b>SENASA</b>	:	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental
<b>ERSSAN</b>	:	Ente Regulador de Servicios Sanitarios
<b>MADES</b>	:	Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>OMS</b>	:	Organización Mundial de la Salud
<b>HD</b>	:	Hospital Distrital
<b>USF</b>	:	Unidad de Salud de la Familia
<b>GPS</b>	:	<i>Global Positioning System</i>
<b>TDS</b>	:	Total de Sólidos Disueltos
<b>C.E</b>	:	Conductividad Eléctrica.
<b>pH</b>	:	Potencial hidrógeno
<b>ppm</b>	:	Partes por millón
<b>μS/cm</b>	:	Microsiemens sobre centímetro
<b>HTA</b>	:	Hipertensión Arterial

## **1. INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso indispensable para la subsistencia de la vida en el planeta. La comunidad científica ha dedicado décadas de estudio al agua, de manera a determinar las características y condiciones propicias que permitan al ser humano su consumo sin riesgos, estableciendo ciertos parámetros de aceptación, lo que hoy llamamos potabilidad.

Esta potabilidad puede verse afectada por diversos factores que actúan sobre la hidroquímica del agua, alterando sus características. Dichos factores pueden ser dados de manera natural, pero por lo general, la alteración de sus propiedades es dada por la alta tasa de contaminación, producto de la acción inconsciente del hombre.

El Paraguay es un país caracterizado por su alto potencial hidrogeológico, favorecido por un generoso régimen pluvial (Crespo 2000) y por la geología que presenta, especialmente en la Región Oriental. Gran parte de los acuíferos portan agua dulce aptas para el consumo de la ciudadanía. Pero así, como en gran parte del mundo, no se encuentran libres de contaminación.

El Acuífero Patiño es uno de los recursos hidrogeológicos de gran relevancia en el Paraguay, éste se extiende desde la localidad de Benjamín Aceval (Chaco) hasta la ciudad de Paraguarí, abasteciendo alrededor de 2.000.000 de personas en toda su extensión (Monte R. & Báez J., 2007). Dicho acuífero presenta una de las más altas

tasas de contaminación en el país, tanto químicas como biológicas producto de la acción antrópica, que alteran su calidad poniendo en riesgo a aquellos que de él se surten para consumo.

Este acuífero presenta uno de los problemas más significativos hoy en día el cual es el aumento de los niveles de salinidad, afectando en parte a las zonas urbanas ribereñas del río Paraguay.

El Distrito de Limpio, una localidad situada en el norte del Departamento Central, es uno de los usuarios que se abastecen de las aguas del Acuífero Patiño, principalmente mediante aguaterías privadas y juntas de saneamiento. Dicho distrito se ve afectado por el aumento de los niveles de sales en el agua subterránea, ocasionando que el agua utilizada para consumo humano no presente la calidad química necesaria como agua potable, pudiendo afectar en la salud de los consumidores.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

El distrito de Limpio posee 145. 760 habitantes (H.D. Limpio 2019) de los cuales el 94% de los habitantes dependen del acuífero Patiño (Jerozolimski y Gaal 2007), mientras que el 6% de los habitantes restantes se abastecen de otras fuentes.

En cuanto a Las actividades económicas (comercial e industrial) según los mapas temáticos sobre el mercado de trabajo en el Departamento Central en el año 2015, del distrito de limpio corresponden al 36% y 30% respectivamente del total del departamento central.

El registro de personas con problemas de hipertensión arterial en el distrito de limpio corresponde al 6,2 % del total de la población.

Así mismo, el Acuífero Patiño presenta un aumento de salinidad en el agua de consumo.

Es de conocimiento general que el consumo excesivo de sal que trae consigo varios problemas de salud, siendo la más común la hipertensión arterial. De acuerdo a este dato surgen las siguientes incógnitas ¿Podría ser el agua del Acuífero Patiño un factor potenciador de afecciones a la salud relacionadas a la ingesta excesiva de sal? y ¿Cuáles son las localidades del Distrito de Limpio que están siendo afectadas por la salinidad en el agua de consumo?

El presente trabajo trata del posible impacto en la salud de los pobladores debido al consumo de las aguas del acuífero Patiño en el Distrito de Limpio.



## **1.2 Justificación**

El fin de esta investigación, es el contribuir con la sociedad acerca del conocimiento de la calidad química del agua en determinadas zonas del acuífero Patiño de el Distrito de Limpio, de manera a buscar alternativas de abastecimiento para los pobladores que se ven afectados por dicho suceso, como así también concientizar a la sociedad sobre el impacto que puede tener la ingesta de agua salobre en la salud de la población limeña.

Bosch (2001) menciona que la explotación de un acuífero, independiente de que se trate de una sobreexplotación o no, puede provocar mezclas de aguas de diferentes calidades, lo que se puede traducir en una desmejora de la calidad.

La sobreexplotación de un acuífero es considerada uno de los principales problemas que afectan a las aguas subterráneas de propiedades aptas para el consumo humano en todo el mundo. A medida que aumenta la demanda, también aumenta los factores que son susceptibles a deteriorar la calidad de las mismas a consecuencia directa del aumento poblacional que carece de un plan de ordenamiento territorial y de gestión de recursos.

La salinización de un acuífero es un evento geológico acontecido en un lapso de tiempo determinado causado por diversos factores naturales. Este suceso puede ser pasado por alto en el caso de ser un área no habitada, pero al hablar de una zona urbanizada como es el área de Limpio, pasa a producir un impacto negativo en la sociedad debido a su importancia como fuente de abastecimiento de agua para consumo. Cabe resaltar que la acción antrópica toma un papel fundamental al hablar de la salinización de un acuífero, siendo este el causante de acelerar dicho proceso.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Conocer el impacto a la salud debido al consumo de agua del Acuífero Patiño en el Distrito de Limpio.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Categorizar la calidad de agua de distintos pozos distribuidos en el Distrito de Limpio
- Determinar las zonas de riesgo con respecto a la calidad de agua

### **1.4 Hipótesis**

Hi: El agua subterránea para el consumo humano del acuífero Patiño en el Distrito de Limpio influye en la salud de los pobladores.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

Los estudios de agua en Paraguay se inician con Bender F. en los años 60' con investigaciones hidrogeológicas en el Chaco Boreal, Central y Meridional. Más tarde Karpoff. R. (1966), en una misión geológica francesa, inicia un estudio sobre las condiciones de calidad y cantidad de las aguas, señalando las regiones más favorables para un desarrollo económico estable. Posteriormente Taylor, G.C. (1975) evalúa las condiciones del agua subterránea en la cuenca del Pilcomayo. Llega a la conclusión de que en general priman condiciones de ocurrencia más bien pobres. La información existente de los pozos de la parte central y oriental del Chaco, señala que el agua profunda es salobre o salina, inadecuada para uso humano o agrícola. Sin embargo, el agua existente en meandros abandonados y paleocauces, puede ser potable. Es importante, por lo tanto, debido a la escasez de agua potable, intensificar la búsqueda de esos recursos.

Otros estudios pioneros fueron el Organismo Técnico del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (1983), también de esa década, el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) con ayuda del Banco Mundial inició un programa de desarrollo de actividades sobre aguas subterráneas, a fin de dotar de agua potable a localidades rurales del interior de la república con poblaciones menores de 4000 habitantes. Esta primera etapa de los estudios abarca los departamentos de Central, Cordillera, Paraguari y San Pedro.

En base a la investigación periodística del **Diario Última Hora** de fecha 23 de enero del 2015 sobre el aumento de niveles de salinidad del agua en el Distrito de Limpio y la escases de agua potable se llevó a cabo una visita por parte de un equipo

de UH en donde pudieron constatar la situación en numerosos barrios de dicha ciudad que están siendo afectadas por la creciente salinidad de las aguas subterráneas, principalmente en los sitios retirados de la parte céntrica, como Piquete Cue, Salado, Villa Conavi, entre otros.

Las numerosas aguateras que proveen el servicio están sobrepasadas y no dan abasto ante la demanda que aumenta, en especial, en verano.

Además, la sal – Que proviene del Chaco por debajo del Río Paraguay- ocupa los espacios dejados por la pérdida de agua dulce y se filtra llegando incluso a los pozos subterráneos de varios proveedores.

Pobladores comentan que utilizan el agua solo para cubrir actividades de limpieza y preparación de alimentos, pero no para beber, para esto buscan auxilio en vecinos que si cuentan con agua apta para consumo.

De la misma manera, la publicación del **Diario abc color** de fecha 22 de enero del 2015 hace mención del aumento de la salinidad de las aguas en el distrito de Limpio, resaltando el lento avance de la “salinización” pudiendo dejar a los pozos cavados como no aptos para el suministro. En entrevista al titular de la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (Essap) Ludovico Sarubbi, explica que los inconvenientes obedecen a que los pozos en la localidad no dan abasto, más aún considerando que los mismos se van “salinizando”. El mismo expresó que el fenómeno sobre la mayor presencia de sal en las aguas de la zona obedece al “avance de las características” propias del Chaco paraguayo, debido a su cercanía. Para sostener su afirmación, el funcionario indicó que con un simple análisis del agua se evidencia la situación de los pozos, aunque aclaró que la situación no afecta a todos. Reafirmó, sin

embargo, que existen pozos de agua “potable” con un elevado nivel de sal, ya casi sobrepasando los niveles tolerables para el consumo. “Están a punto de pasar el límite y luego ya no serán potables” agregó. Señaló la necesidad de construir una planta de agua y adelantó que un proyecto está en estudio, a fin de evitar llegar a una situación de crisis.

La Organización Mundial de Salud (OMS) en su guía para la calidad de agua potable del 2006, explica que los cambios en el aspecto, olor o sabor del agua de consumo de un sistema de abastecimiento con respecto a sus características organolépticas normales pueden señalar cambios en la calidad del agua bruta o cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento, y deben investigarse.

La presente guía aclara que las sales de sodio (por ejemplo, el cloruro sódico) se encuentran en casi todos los alimentos (la principal fuente de exposición diaria) y en el agua de consumo. Aunque las concentraciones de sodio en el agua potable normalmente son inferiores a 20 mg/l, en algunos países pueden superar en gran medida esta cantidad.

Las personas consumen, en promedio, alrededor de 10 gramos de sal al día (OMS 2014). Esta cifra es aproximadamente el doble de la cantidad de sal de cualquier procedencia (alimentos procesados, comidas hechas y alimentos preparados en el hogar) recomendada por la OMS (menos de 5 gramos o menos de una cucharadita al día). El consumo excesivo de sal puede provocar hipertensión (o favorecerla) y aumentar considerablemente el riesgo de padecer enfermedades cardíacas y ACV.

En cuanto al agua, no se pueden extraer conclusiones definitivas con respecto a la posible asociación entre la presencia de sodio en el agua de consumo y la

hipertensión. Por consiguiente, no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/l, el agua podría tener un gusto inaceptable.

En los antecedentes de la determinación de valor de referencia mencionados para la elaboración de dicha guía. las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al sodio. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se concluyó que no había pruebas suficientes para justificar el establecimiento de un valor de referencia para el sodio en el agua basándose en consideraciones relativas al riesgo para la salud, pero se señaló que la ingesta de sodio en el agua de consumo puede afectar más a las personas que requieren una dieta baja en sodio y a los lactantes alimentados con biberón. Se estableció un valor de referencia para el sodio de 200 mg/l, basado en consideraciones gustativas. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sodio, puesto que no se pudieron extraer conclusiones definitivas con respecto a la posible asociación entre la presencia de sodio en el agua de consumo y la hipertensión. No obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/l, el agua podría tener un gusto inaceptable.

Mencionar el consumo recomendado de sal diario y que la oms no determina un valor en el agua aun

## **2.2 Geología Regional**

La geología local está constituida de la Formación Patiño que fue propuesto de manera formal por el Proyecto Par 83/005 (1986) para estos sedimentos denominando “Formación Patiño” para el relleno de la fosa del área de Asunción, cabe

resaltar que dicho nombre es debido a Spinzi (1983) quien llamó “Conglomerado Patiño” a sedimentos estudiados en el levantamiento geológico del Cerro Patiño en la zona de Areguá y alrededores.

El primero en mencionar sobre estos depósitos fue Harrington (1950), Eckel (1959), The Anschutz Co., (1981) entre otros, describieron estos sedimentos atribuyéndolos como pertenecientes a la Formación Misiones.

En el Proyecto Par 83/005 (1986) relata que el inicio de la sedimentación de esta unidad es del Cretácico superior siendo el final de la deposición probablemente en del Cenozoico inferior. Dicha formación está constituida por sedimentos conglomeráticos en la base y arenosos hacia el techo el cual posee fuerte coloración roja y afloran desde Asunción, hacia el SE, hasta Ybytymi, Caballero, en la depresión de Ypacaraí, una estructura asociada al Alto de Asunción. Fanglomerados de esta formación poseen un fuerte control estructural en su origen, constituyendo una auténtica tecto-facies.

Las capas conglomerádicas poseen una secuencia granulométrica decreciente, de abajo hacia arriba, muy bien expuesta en las localidades de San Antonio, Ypané, Arroyo Ytororó, Cerro Perú (Paraguarí), Compañía Salado-í (al norte de Limpio) y Cerro Patiño, donde se encuentra la exposición más completa de la formación. Los cantos de los conglomerados, con tamaños de hasta 40 cm., muestran una "suite" completa de las rocas regionales, incluso cantos de areniscas silisificadas de la Formación Misiones, de las intrusivas, alcalinas y rocas del Silúrico. En dirección al techo de la unidad hay una disminución de las capas conglomerádicas, con aumento de espesor de las capas arenosas.



Posteriormente, Gómez Duarte (1991) separa a la secuencia de sedimentos en tres formaciones: Patiño, Cerro Perú e Itapytapunta, conformando así el Grupo Asunción.

El mismo autor reconoce pequeñas unidades denominadas bloques debido a la forma geométrica que presentan. Nomina los siguientes Bloques: Bloque Benjamín Aceval; Bloque Limpio; Bloque Asunción; Bloque Central y Bloque Paraguari-Yaguaron.

El Bloque Limpio tiene una orientación NW-SE limitado al Este por la planicie del Rio Salado y al Oeste por un lineamiento fotogeológico concordante con el borde general del valle de Ypacaraí.

Las lomadas tienen un borde de manifestación Norte-Sur constituidos por sedimentos de la porción superior del Grupo Patiño, afloramientos de estos se observan en la Figura 1 los cuales se encuentran a orillas de Río Paraguay.



**Figura 1. Areniscas de la Formación Patiño.**

También se presentan Meta areniscas columnares como las observadas en la Figura 2, cuarcitas e intrusivas básica. En el borde oriental se encuentran gravas de cantos angulosos gruesos lítico



**Figura 2. Areniscas Columnares del Distrito de Limpio.**

En la Hoja Paraguari (1998) Wiens; González; Muff (1993) identifican tres ciclos de deposición gradacional para la fosa tectónica originada durante la apertura del Rift de Asunción (Jurásico tardío – Eoceno) el ciclo inferior, caracterizado por conglomerados y fanglomerados de sedimentación caótica, el ciclo medio de

sedimentación con aporte de material magmático alcalino de edad cretácico, y por último, un ciclo superior, constituido por areniscas heterogéneas, ellos se refieren al conjunto como “Formación Palacios”.

Más tarde Bertel (1994) define a la fosa tectónica como un semi-graben que se extiende a lo largo de una faja de dirección aproximada NW-SE, desde el pueblo de cerrito (Chaco) en la Región Occidental hasta la ciudad de Paraguarí en la Región Oriental el cual probablemente se habría originado entre el Jurásico al Cretácico inferior, en el contexto de la ruptura del paleocontinente Gondwana asignándole al relleno, basado en la datación de un cuerpo intrusivo que no llegó a afectar la base del mismo, una edad relativa Cretácico inferior (límite Jurásico/Cretácico) y adopta la denominación de Grupo Asunción (Gómez 1991). A este grupo Bertel lo divide en dos formaciones; el conglomerado basal de la Formación Patiño y la Formación Yaguaron compuesta por areniscas.

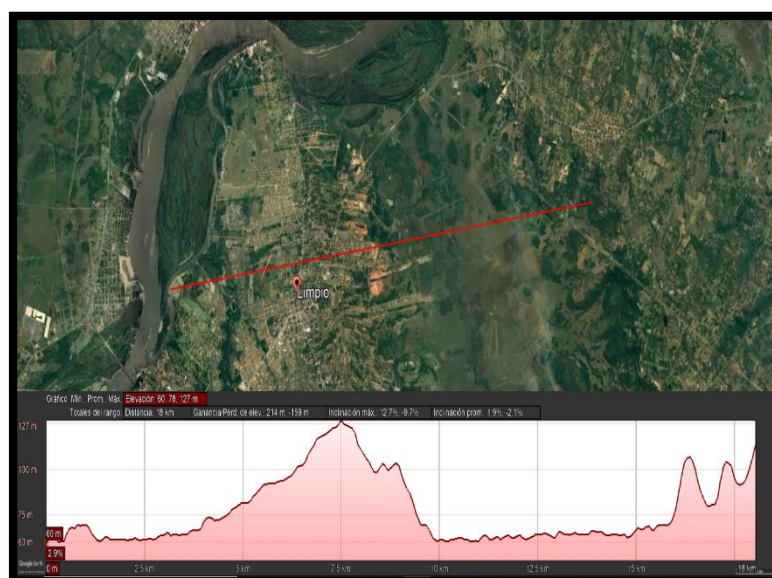
Otro trabajo sobre el mismo proceso tectónico, es el de Figueredo C. (2007) él menciona que el Grupo Asunción está representada por una sucesión de sedimentos clásticos rojos de ambiente continental predominantemente de origen fluvial (ríos entrelazados) y en menor proporción eólico depositados en un ambiente de medio fluctuante de alta y baja energía originando depósitos de fanglomerados, conglomerados gradando a areniscas conglomerádicas y areniscas arcillosas y en delgados lentes de arcillas. Yace en discordancia sobre los sedimentos paleozoicos del Grupo Caacupé.

El mismo autor explica que la base del Grupo Asunción está representada por la Formación Patiño, que consiste en una secuencia sedimentaria de aproximadamente 100 mts de espesor constituida por fanglomerados de color rojo, con abundantes fragmentos y bloques de rocas de varios orígenes, formas y tamaño provenientes del complejo cristalino Precámbrico, de rocas sedimentarias del Paleozoico, magmatitas y sedimentitas del mesozoico, todos depositados dentro de una matriz muy heterogénea compuesta por areniscas, arenisca arcillosa, limos y arcillas. En general, el fanglomerado está pobremente cementado, cuando no está asociado a

zonas de fallamiento y manifestaciones ígneas como se observa en la base del Cerro Patiño donde se presenta silisificadas.

Estos depósitos afloran en la margen Oriental a lo largo de una faja NW-SE que se extiende desde la ciudad de Paraguari hasta la ciudad de Limpio al Norte.

También se localizan en el Cerro Perú (norte de Paraguari) y suroeste de Areguá en la localidad tipo de esta Formación en el Cerro Patiño al cual se debe su denominación. La ciudad de Limpio forma parte tectónicamente del graben de Acahay y del Graben de Asunción (Figura 3). Gonzales M. y Bartel W. (1998) explican que conforman aparentemente brazos de una “triple Junction”, activos durante el proceso de rifting del Mesozoico. El graben de Asunción subside posterior a la fase magmática del Ciclo Tectónico Sudatlántico, probablemente a partir del Mesozoico Medio atribuyendo su origen a un último Pulso en la evolución del Rift. El relleno de esta fosa es denominado Grupo Asunción. En la Figura 3 se observa el perfil del graben donde aparece como una planicie rellenada.



**Figura 3. Perfil topográfico del Distrito de Limpio con relación al Rift.**

Fuente: Imagen satelital extraído de Google Earth

### **2.3 Hidrogeología**

En relación a mapeamiento de acuíferos, se realizó con el Proyecto Par 83/005 el Mapa Hidrogeológico del Paraguay (1986), que distingue tres grupos principales de

acuíferos los cuales son: Acuíferos Regionales de Gran Extensión, Acuíferos Regionales con Extensión Restringida por su patrón geométrico natural, el cual incluye al Acuífero Patiño, y Acuíferos locales. De acuerdo al mapa de distribución hidroquímica, las aguas del departamento central correspondientes al Acuífero Patiño se encuentran dentro de la categoría sulfato clorurada sódica, en donde las áreas de Limpio, Mariano Roque Alonso y alrededores, cerca de Asunción, se caracterizan por sus aguas bastante mineralizadas (Residuo fijo de 3000mg/l, cloruro de 1200 mg/l y sulfato de 750 mg/l).

Otros investigadores de calidad de agua fueron Godoy E. y Paredes J. (*sin año de publicación*) describen a las aguas del Acuífero Yrendá (Chaco) como aguas con alto contenido de sales, que se deben a la presencia de sales evaporíticas (principalmente yeso), en los sedimentos que rellenan la cuenca. Estas sales por su solubilidad dan origen a aguas salobres o saladas. Debido a la circulación regional de las aguas subterráneas, los periodos de permanencia y los tiempos de contacto con los materiales del acuífero son prolongados, por eso las aguas tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando en los diferentes iones. De un modo general, la tendencia de NO-SE de las aguas subterráneas del Acuífero Yrendá es una evolución normal hacia una composición química similar a la del mar.

Debido a su gran carga hidráulica, el acuífero Yrendá, contamina con agua salada los acuíferos de la región oriental, afectando una franja próximamente de 1 a 10 km a lo largo del río Paraguay. Esta masa de agua salada se hunde en forma de cuña a partir del río Paraguay, sobreponiéndosele un cuerpo de agua dulce con mayor potencia hidráulica y con flujos subterráneos provenientes de área de mayor altitud del este de la región oriental.

Posteriormente, Larroza F. (2002) en su tesis de doctorado: “Exploración y Aprovechamiento de los recursos hídricos del Chaco Central paraguay” menciona el déficit hídrico acontecido en el Chaco. Aquí el abastecimiento de agua potable es limitado, debido a la distribución irregular de las precipitaciones, una tasa alta de evaporación, falta de cursos de agua superficiales, una alta salinidad regional de las

aguas subterráneas de los paleocanales de agua de lluvia y la falta de implementación de algunas acciones de como explorar y aprovechar las aguas subterráneas de los paleocauces y agua de lluvia.

En el área del Chaco se encuentra en profundidad el complejo acuífero Yrendá el cual se extiende prácticamente por todo el Chaco representado por acuíferos confinados y semiconfinados. A los 350 metros de profundidad, la calidad de las aguas va de dulces a saladas en el sentido del flujo de las aguas subterráneas, los cuales son regionalmente W-E y NW-SE. En la parte superior se encuentra el acuífero freático denominado acuífero Paleocanal, o Acuífero Aluvial, producto de las áreas de inundación de ríos.

El agua subterránea dulce en el acuífero freático tiene ocurrencia en depresiones (recarga natural) o como producto de recarga artificial de agua de lluvia, en ambientes regionales de agua subterránea salada. Los lagos que se localizan más al SE del Chaco aumentan su conductividad eléctrica siguiendo el flujo regional subterránea, o sea NW-SE, en el caso de Isla Po'i ( $>40.000\mu\text{s}/\text{cm}$ ), Capitán ( $>54.000\mu\text{s}/\text{cm}$ ), Laguna Ganso ( $>82000\mu\text{s}/\text{cm}$ ) Localizados al sur de Loma Plata, permitiendo deducir una conexión con el acuífero freático el cual es salado regionalmente (Larroza & García, 1991).

Con respecto a la calidad del agua, el autor menciona tres tipos: Aguas dulces (bicarbonatadas cálcica-magnésica), salobres y saladas (cloruradas y sulfatadas sódicas). La cantidad y calidad de las aguas subterráneas son de importancia fundamental para el Chaco, los acuíferos del Chaco generalmente presentan aguas con alto contenido en sales porque los sedimentos se encuentran sales evaporíticos y carbonatos, los cuales, por su elevada solubilidad, pasan rápidamente a fase acuosa dando a las aguas un carácter salobre o salado. Larroza cita a UNESCO/CPRM, (1996), en donde explica que el factor geológico es uno de los factores más importantes debido a que las características litológicas, estructurales y tectónicas controlan las condiciones de ocurrencia, el movimiento y las cualidades de las aguas, las características fisiográficas, junto a las climatológicas, condicionan la infiltración y

recarga de los acuíferos, así como la dirección del flujo subterráneo y la descarga natural de las aguas subterráneas.

Los parámetros hidráulicos de la región indican que existe una permeabilidad alta, baja conductividad hidráulica y baja velocidad de flujo de las aguas subterráneas que teniendo en cuenta la diferencia de densidades de las aguas dulces-saladas, impiden una mezcla rápida entre agua dulce y salada.

La calidad del agua subterránea en el Chaco es variable horizontal como verticalmente, presentan una estratificación en su calidad. En profundidad frecuentemente intercalaciones delgadas de material arcilloso, separan el agua dulce de la salobre/salada.

El informe técnico realizado por el Proyecto Pas-Py (2012) sobre el Acuífero Patiño en el Distrito de Benjamín Aceval, Departamento de Presidente Hayes, explica una situación acontecida en donde la extracción de agua es superior a la recarga. El informe explica que, en un escenario de uso no sostenible del acuífero, se extraen el agua almacenada (sin recarga) donde los niveles de agua descenderán continuamente y, en consecuencia, los manantiales de las laderas se secan. Los pozos que se encuentran en el borde del acuífero serán los primeros en ser afectados, mientras que los que se encuentran en el centro del acuífero sufrirán pocos cambios de calidad de su agua durante algunos años dado que existe una reserva de agua almacenada bastante grande. Tras varios años de uso excesivo, el agua salada penetrará hasta la zona del acuífero Patiño y los valores de conductividad aumentarán constantemente hasta que alcanzan los valores límites. Este escenario ocurre en una sobre-explotación en áreas vulnerables como la ciudad de Villa Hayes y Limpio, para el primer caso es su única fuente de agua dulce.

La recuperación (desplazamiento de agua salada por agua dulce) del acuífero colapsado (saladas) es un proceso extremadamente lento, que puede durar varias décadas o siglos según experiencias registradas en diferentes países.

La delgada línea divisoria entre el agua dulce y el agua salada puede ser perturbada por la extracción de agua de pozos adyacentes, con lo que se puede producir una intrusión de agua salada. Por lo tanto, se requiere que los pozos estén a una distancia mínima de por lo menos unos 100 metros del borde del acuífero.

El Geólogo García D. (2016) explica en el informe del comportamiento de los niveles estáticos en relación a las precipitaciones red de pozos someros “secundaria” que, durante el desarrollo de esta, el inventario de pozos se realizó en dos zonas conflictivas, debido a la calidad de agua subterránea, siendo una de estas zonas el área comprendida entre el Río Salado-Limpio-Piquete Cué- Mariano Roque Alonso. Menciona que quizá esta región sea la que presenta mayores conflictos por la calidad de agua para el consumo humano.

Gadea M, (2017) verificó la existencia de aguas dulces pertenecientes al Acuífero Patiño asertivamente potables para consumo humano como predominio. Así mismo, reconoció pozos con aguas subterráneas saladas, con características físico-químicas propios de acuíferos chaqueños en la Región Oriental, en el banco San Miguel de Asunción y en el sector NW ribereño del Distrito de Limpio.

El mismo estudio menciona la localización de un pozo con aguas muy saladas en la urbanización Surubi'i de Limpio, resaltando que tal vez sea el pozo de mayor salinidad en toda la zona de la ribera del río Paraguay ya que sus propiedades organolépticas de sabor y olor son bastante sensibles. A pocos kilómetros al Noreste, en Villa Jardín, también perteneciente al municipio de Limpio, menciona el pozo de monitoreo número 38 de la SEAM con características semejantes al anterior, según los datos obtenidos por el monitoreo de aquella institución, aunque no con módulos de propiedades físico-químicas tan elevados.

Una publicación realizada en el año 2017 por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, en colaboración con la Universidad *Pierre et Marie Curie La Soborne* de París y el Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN), el cual es denominada “Recientes hallazgos en la hidroquímica del Acuífero Patiño –Paraguay” explica los resultados obtenidos durante



la toma de muestras de 55 pozos localizados en las zonas de vulnerabilidad del acuífero, según la contaminación potencial al cual se exponen. Resaltan valores elevados de conductividad en pozos de Limpio (143,0 a 943,0  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) en concordancia con la alta concentración de sales (71,0 a 463,0 ppm). Mencionan que este fenómeno ya ha sido reconocido en un estudio anterior (“Estudio del Acuífero Patiño para el fortalecimiento de estudio hidrológico de SENASA”, 2001) donde han obtenido altos niveles de conductividad en zonas próximas a la ribera del río Paraguay, sugiriendo la introducción de aguas con alta salinidad contenida en acuíferos del chaco. Actualmente esto se trata de una hipótesis, aunque en el año 2005, Monte Domecq R. (2006) ya mencionaba que en el acuífero Patiño ingresan en forma anual unos 175.800 millones de litros de agua y se extraen 249.000 millones (dato de 2005), arrojando una diferencia negativa de 73.200 millones de litros, por lo que la sobre explotación del acuífero sería un potencial motivo de la salinización de sus aguas.

## **2.4 El Agua**

La compañía Jonhson Division (1997), dedicada a los pozos, en su libro “El agua subterránea y los pozos” se refiere al agua como el elemento que más abunda en la tierra. Su abundancia la convierte en la más común de las sustancias, pero sus propiedades combinadas la hacen a su vez la más exclusiva.

Desde el punto de vista físico, el agua es un líquido transparente, carente de color, con un leve color azulado cuando se halla presente en grandes masas. El agua pura no tiene sabor alguno y ostenta siempre la misma composición, ya sea que se encuentre en forma líquida, sólida o gaseosa. El agua químicamente pura no existe en la naturaleza y solo se puede obtener a través de procedimientos especiales de purificación.

El agua resulta mucho más placentera al paladar cuando contiene pequeñas cantidades de gases disueltos que pudiera haber tomado del aire, y algunas sales minerales en solución desprendidas de los materiales terrestres con los cuales el agua haya permanecido en contacto.

### **2.4.1 Agua superficial**

Nuevamente la compañía Johnson Division (1997) explica que, al hablar de agua superficial, hay que tener en cuenta lo que es el ciclo hidrológico de la tierra o ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta. El ciclo no tiene principio ni fin, pero el concepto de ciclo hidrológico se origina en el agua de los océanos, lo cuales cubren las tres cuartas partes de la superficie terráquea.

La radiación solar lleva el agua de los océanos hasta la atmósfera por evaporación. El vapor de agua se eleva y luego se aglomera dando lugar a la formación de las nubes. Bajo ciertas condiciones, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a tierra.

El agua que se infiltra en el suelo denomina “agua superficial”, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, que puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporadas hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrogeológico. Segundo, que puede ser absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de transpiración, tercero, que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos.

La verdadera fuente de casi todas nuestras reservas de agua dulce la constituye la precipitación que cae sobre las áreas terrestres. De ella dependemos para renovar aquellas cantidades que se utilizan y se toman de los lagos corrientes superficiales y de los pozos que son destinadas a innumerables usos humanos.

### **2.4.2 Agua subterránea**

Al hablar de agua subterránea, Doménech (2000) explica que es aquella agua que se localiza en la zona saturada del subsuelo, es decir, en la región donde todos los poros están llenos de agua. Esta agua tiene su origen en la infiltración del agua superficial, lo cual hace que varíe su composición química, enriqueciéndose de elementos minerales y empobreciéndose de materia orgánica. Su elevada mineralización se debe a diversos procesos. Durante la infiltración del agua superficial se van incorporando sales solubles presentes en el suelo como cloruros, nitratos y sulfatos de metales alcalinos y alcalinotérreos.

Las aguas subterráneas se encuentran en los acuíferos. Custodio (1983) describe a un acuífero como un depósito subterráneo, constituido por una formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda obtenerla en cantidades apreciables para satisfacer sus necesidades

#### **2.4.2.1 Importancia del agua subterránea**

La compañía Johnson Division (1997). En realidad, algo menos de un tres por ciento de la disponibilidad del agua dulce fluida, de nuestro planeta tierra, corresponde a ríos y lagos. El 97% restante, algo así como 1230 km cúbicos de agua se encuentran en el subsuelo.

El agua dulce en estado líquido de lagos y ríos representa la parte que se halla en tránsito, en tanto que las fuentes subsuperficiales corresponden al agua almacenada. El agua subterránea se ha venido acumulando a través de varios siglos, aumentando ligeramente su volumen cada año por el efecto de la lluvia. Como promedio anual, el agua de los ríos es restituida unas 31 veces.

Más aun, no toda la cantidad de agua que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra puede extraerse de las formaciones que la contienen. Una parte se halla dentro de formaciones tan profundas que sólo los costos de bombeo invalidarían su extracción. Otra parte yace dentro de acuíferos que se oponen de diversas maneras a la extracción y desafían la acción de bombeo.

Aunque las cifras comparativas de los volúmenes de agua disponibles tanto en la superficie como en el subsuelo no pueden adoptarse como índices de los recursos reales, si nos revelan que la reserva subterránea es varias veces mayor que las de la superficie y que no se ha hecho suficiente hincapié en el desarrollo y utilización de las vastas reservas de agua dulce que yacen bajo la superficie de la tierra.

#### **2.4.2.2 El carácter químico del agua subterránea**

Al hablar del carácter químico del agua subterránea, la compañía Johnson Division (1997) Describe ciertas características generales a tener en cuenta:

##### **➤ Dureza**

Es la propiedad del agua para desperdiciar jabón, pues mientras los minerales que causan la dureza no se hayan eliminado al combinarse con el jabón no se producirán espumas en el agua dura. El material removido por el jabón se evidencia por una escoria insoluble – el conocido anillo que se observa en la tubería y que se forma durante el proceso de lavado.

Así toda la dureza del agua la producen el calcio (Ca) y el magnesio (Mg). Las siguientes sales minerales pueden ser las fuentes que producen los iones de calcio y magnesio presentes en el agua:

- ✓ Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ )
- ✓ Sulfato de calcio y magnesio (Ca, Mg ( $\text{SO}_4$ ))
- ✓ Cloruros de calcio y magnesio (Ca, Mg ( $\text{Cl}_2$ ))
- ✓ Nitrato de calcio y magnesio (Ca, Mg ( $\text{NO}_3$ )<sub>2</sub>)

En la solución se encontrarán como producto de la disolución de estos compuestos, tanto los iones metálicos de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) como los correspondientes de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), cloruro (Cl) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ).

Parte del calcio y del magnesio presentes en el agua dura contribuyen a formar las incrustaciones que se desarrollan cuando el agua sufre cambios de temperatura y presión. La incrustación referida se presenta cuando el balance de la solución se altera, dando por resultado la formación de los carbonatos insolubles de estos metales y, en algunos casos, sus sulfatos

### ➤ **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la habilidad de una determinada sustancia para conducir la corriente eléctrica. La conductividad de cada material es diferente. Para establecer una comparación de las propiedades conductoras de diferentes materiales, existe un patrón denominado “Conductividad eléctrica específica” que se define como la conductividad de un cubo de sustancia, de un centímetro de lado.

El agua químicamente pura ostenta una conductividad eléctrica muy baja, significando esto que es un buen aislante. Sin embargo, con la adición de una pequeñísima cantidad de minerales disueltos, el agua se vuelve conductiva. Esto tiene lugar cuando el material disuelto se separa en iones que llevan sus cargas negativas y positivas. Cuanto mayor la cantidad de iones, mayor será la conductividad de la solución.

La unidad de medida de la conductividad es el inverso de ohmios, la unidad para expresar la resistencia, y se escribe “mhos” pronunciándose “mos”. Los valores de la conductividad específica de las aguas subterráneas se reportan en millonésimas de mhos, o “micromhos”.

Para obtener una buena aproximación de los sólidos disueltos en la mayoría de las aguas subterráneas naturales, se debe multiplicar la conductividad específica por un factor que varía entre 0.55 y 0.75. Cuando se trata de aguas salinas, el factor es por lo general mayor, y en aguas con ácido libre puede ser mucho menor.

Es conveniente estimar la cantidad de sólidos disueltos totales mediante la medición de conductividad puesto que ello puede hacerse muy rápidamente.

➤ **Concentración del ión hidrógeno (pH)**

La concentración relativa de los iones de hidrógeno en el agua, es la que indica si esta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina.

Cuando la cantidad de iones de hidrogeno es excesiva en relación con otros iones en solución, tiene lugar una reacción ácida. Un agua tal, tiende a atacar los metales.

La concentración del ion hidrogeno del agua se expresa mediante su valor de pH. Un valor de pH de 7 indica una solución neutra, o sea, ni alcalina ni ácida. Un pH menor de 7, indica una condición ácida; un pH mayor que 7, corresponde a una solución alcalina.

➤ **Sólidos disueltos totales.**

La concentración total de minerales disueltos en el agua es un índice general de la adaptabilidad del agua para diversos usos. Los términos “sólidos totales”, (ST), solidos disueltos totales o sólidos disueltos, se usan más o menos como sinónimos. Los sólidos totales disueltos se pueden determinar a partir del residuo seco que queda de una muestra de agua que se haya dejado evaporar. También se puede calcular sumando las concentraciones determinadas por separado de todos los iones presentes en el agua.

Los sólidos disueltos calculados serán por lo general ligeramente menores que el residuo dejado por la evaporación. La diferencia puede alcanzar de 10 a 20 ppm en aquellas aguas que contengan 100 a 500 ppm de sólidos disueltos, y que puede ser mayor en el caso de aguas altamente mineralizadas.

El agua que contiene mucha materia mineral disuelta no es satisfactoria para ciertos usos. Si el agua contiene menos de 500 ppm de sólidos disueltos, es por lo general adecuada para uso doméstico y para varios propósitos industriales. Aquellas aguas con más de 1000 ppm de sólidos disueltos, contiene por lo general minerales que le imprimen un sabor desagradable o la hacen inapropiada en otros aspectos.

Teniendo en cuenta la concentración de TSD en el agua, se conocerá su carácter dulce o salino. En la tabla 1 se observan los valores de TSD establecido por Davis y De Wiest (1967) para determinar los tipos de agua:

**Tabla 1. Tipos de agua de acuerdo a la concentración de TSD presentes.**

<b>Tipo de agua</b>	<b>TDS en mg/l (ppm)</b>
Dulce	≤1.000
Salobre	1.000 - 10.000
Salada	10.000 - 100.000
Salmuera	≥100.000

Fuente: Davis y De Wiest (1967). Hidrogeología. Citado por Gadea M. (2017).

#### **2.4.2.3 Contaminación de Acuíferos**

Para Foster (1987).se entiende por vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero, el conjunto de características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante.

Causas comunes del deterioro de la calidad de agua subterránea

Según Hirata y Foster (1991) existen varias causas potenciales de deterioro de la calidad de un acuífero y/o fuentes de agua subterránea. Estas se clasifican por su génesis y se explican más adelante en la tabla 2:

**Tabla 2. Clasificación de los problemas de calidad de agua subterránea.**

<b>Tipo de problema</b>	<b>Causa subyacente</b>	<b>Contaminantes de interés</b>
Contaminación del acuífero	Protección inadecuada de acuíferos vulnerables contra descargas y lixiviados provenientes de actividades urbanas/industriales e	Patógenos, nitratos o amonio, cloruro, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico

	intensificación de cultivos agrícolas	disuelto, hidrocarburos aromáticos y halógenos, algunos pesticidas.
Contaminación de la cabecera de pozo	Construcción/diseño inadecuado del pozo que permite el ingreso directo de agua superficial o agua subterránea poco profunda contaminada	Principalmente patógenos
Intrusiones salinas	Agua subterránea salada (y a veces contaminada) inducida a fluir hacia acuíferos de agua dulce como resultado de una extracción excesiva	Principalmente cloruro de sodio, pero puede incluir además contaminantes persistentes provenientes de la acción del hombre.
Contaminación que ocurre naturalmente	Relacionado con la evolución química del agua subterránea y la solución de minerales (puede estar agravado por la contaminación antrópica y o la extracción excesiva)	Principalmente hierro y fluor solubles a veces sulfato de magnesio, arsénico, manganeso, selenio y otras especies inorgánicas.

Fuente: Hirata R. & Foster S. (1991). Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas.

### ➤ Formas de contaminación de los acuíferos

Los autores Hirata y Foster (1991) explican que las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente en la superficie del suelo. Como consecuencia la actividad humana en la superficie puede constituir una amenaza en la calidad de agua subterránea. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes.

Los perfiles naturales del subsuelo atenúan muchos contaminantes en forma activa, e históricamente han sido considerados potencialmente eficaces para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas. La autoeliminación de contaminantes durante el transporte subterráneo en la zona vadrosa (no saturadas) es resultado de la degradación bioquímica y de la reacción química, pero los procesos de retardo de contaminantes por fenómenos de adsorción son



igualmente importantes ya que aumentan el tiempo disponible para los procesos que conducen a su eliminación.

Sin embargo, no todos los perfiles del subsuelo y estratos subyacentes son igualmente eficaces en la atenuación de contaminantes, y los acuíferos son particularmente vulnerables a la contaminación cuando, por ejemplo, se encuentran rocas consolidadas altamente fisuradas. El grado de contaminación también varía ampliamente según el tipo de contaminantes y el proceso de contaminación en un ambiente determinado.

La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo, pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas confinadas son relativamente delgadas y permeables.

El movimiento del agua y transporte de contaminantes desde la superficie del suelo a los acuíferos puede ser, en muchos casos, un proceso muy lento. Puede tomar años o décadas antes que el impacto de un episodio de contaminación (por contaminantes persistentes) resulte evidente en un suministro de agua, especialmente en casos de pozos profundos. Este factor puede simultáneamente traer consigo un gran beneficio y un grave problema debido a que:

- ✓ Da tiempo suficiente para la descomposición de contaminantes degradables
- ✓ Puede favorecer una actitud complaciente ante la probabilidad de penetración de contaminantes persistentes.

La implicancia es también que una vez que la calidad del agua se ha deteriorado notoriamente, grandes volúmenes del acuífero estarán normalmente involucrados. Las medidas de limpieza, por lo tanto, casi siempre tiene un alto costo económico y a menudo son problemáticas desde el punto de vista técnico.

➤ **Evaluación de peligro de contaminación de agua subterránea**

El enfoque más lógico sobre el peligro de contaminación del agua subterránea según Hirata y Foster (1991) es considerarlo como interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo y la carga contaminante de aplica, será o podría ser aplicada en el medio subterráneos como resultado de la actividad humana.

Si adoptamos este enfoque podremos tener alta vulnerabilidad, pero ningún peligro de contaminación en los casos en que no exista una carga contaminante significativa al subsuelo y viceversa. Ambas situaciones son perfectamente consistentes en la práctica. Por otra parte, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero la vulnerabilidad de los acuíferos está determinada esencialmente por el entorno hidrogeológico natural.

La vulnerabilidad de la contaminación de los acuíferos puede mapearse con facilidad. En tales mapas los resultados de los reconocimientos de carga contaminantes potenciales pueden suponerse con el fin de facilitar la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea. El término peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo se refiere a la probabilidad de que el agua subterránea de un acuífero se contamine en concentraciones que superen los valores guías de la OMS para la calidad del agua potable. El que este peligro resulte en una amenaza para una determinada fuente de abastecimiento dada, depende fundamentalmente de su ubicación con respecto al área de captación de la fuente de agua subterránea y secundariamente de la movilidad y dispersión del o los contaminantes involucrados en el régimen local de flujo de agua subterránea.

### **2.4.3 Agua potable**

La OMS (2006) define al agua de consumo inocua (agua potable) como aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida.

#### **2.4.3.1 Consideraciones**

La Organización mundial de la salud (2006) explican a continuación las consideraciones a tener en cuenta para la potabilidad del agua de consumo:

##### **➤ Aspecto microbiológico**

La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud. La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correctas de una serie de operaciones de tratamiento, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías o de otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada. En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves). Los excrementos pueden ser fuente de patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos.

### ➤ **Desinfección.**

La desinfección es una operación de suma importancia para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos como el cloro. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos, durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución.

### ➤ **Aspectos químicos**

Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo son distintos de los asociados a la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única, excepto en el caso de una contaminación masiva accidental de una fuente de abastecimiento de agua de consumo. Además, la experiencia demuestra que, en muchos incidentes de este tipo, aunque no en todos, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspecto inaceptables.

Se han calculado valores de referencia para muchos componentes químicos del agua de consumo. Un valor de referencia representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida. Algunos valores de referencia se han fijado con

carácter provisional basándose en la concentración alcanzable mediante tratamiento y la capacidad de detección analítica. En estos casos, el valor de referencia es mayor que el calculado basándose en efectos sobre la salud.

➤ **Aspectos radiológicos**

Se debe tener en cuenta el riesgo para la salud asociado a la presencia en el agua de consumo de radionúclidos de origen natural, aunque su contribución a la exposición total a radionúclidos es muy pequeña en circunstancias normales.

No se fijan valores de referencia formales para radionúclidos individuales en agua de consumo, sino que se utiliza un sistema basado en el análisis de la radiactividad alfa total y beta total en el agua de consumo. Aunque la detección de niveles de radiactividad superiores a los umbrales de selección no indica que exista un riesgo inmediato para la salud, debe impulsar una investigación adicional para determinar qué radionúclidos son responsables de la radiactividad y los posibles riesgos existentes, teniendo en cuenta las circunstancias locales. Los niveles de referencia recomendados en esta publicación no son aplicables a sistemas de abastecimiento de agua de consumo contaminados durante situaciones de emergencia originadas por la liberación accidental de sustancias radiactivas al medio ambiente.

➤ **Aspectos relativos a la aceptabilidad**

El agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables para la mayoría de los consumidores. Los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose principalmente en sus sentidos. Los componentes microbianos, químicos y físicos del agua pueden afectar a su aspecto,

olor o sabor y el consumidor evaluará su calidad y aceptabilidad basándose en estos criterios. Aunque es posible que estas sustancias no produzcan ningún efecto directo sobre la salud, los consumidores pueden considerar que el agua muy turbia, con mucho color, o que tiene un sabor u olor desagradable es insalubre y rechazarla. En casos extremos, los consumidores pueden evitar consumir agua que es inocua pero inaceptable desde el punto de vista estético, y consumir en cambio agua de otras fuentes cuyo aspecto sea más agradable pero que puede ser insalubre. Es, por consiguiente, sensato conocer las percepciones del consumidor y tener en cuenta, además de los valores de referencia relacionados con efectos sobre la salud, criterios estéticos al evaluar sistemas de abastecimiento de agua de consumo y al elaborar reglamentos y normas.

El Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN) Organismo creado por la Ley N° 1.614 /2000, es el encargado de supervisar la prestación de los servicios de provisión de agua potable y/o alcantarillado sanitario en toda la República del Paraguay. En la tabla 3 se muestra los parámetros establecidos por el ente para la calidad de agua potable:

**Tabla 3. Límites de Calidad de Agua Potable- ERSSAN.**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite admisible</b>	<b>Límite Recomendable</b>	<b>Frecuencia de Muestreo</b>
<b>Características físicas</b>				
Color	UCV	15	≤5	Horaria
Sabor y Olor		Aceptable	Aceptable (4)	Horaria
Turbiedad (1)	UNT	5	<1	Horaria
PH (Pozos) (3)		6,5 a 8,5	6,5 a 8.5	Horaria
PH (Plantas)		PHs+/-1	PHs+/-1	Horaria
Conductividad	μs/cm	1.250	≤400	Diaria
<b>Componentes inorgánicos</b>				
Aluminio (Al)	mg/l	0.2	≤0,2	Diaria
Calcio (Ca <sup>+2</sup> )	mg/l	100	≤100	Diaria
Magnesio (Mg <sup>+2</sup> )	mg/l	50	≤30	Diaria

Potasio (K <sup>+1</sup> )	mg/l	12	≤10	Diaria
Alcalinidad (M) en CaCO <sub>3</sub>	mg/l	250	≤120	Horaria
Cloro Libre Residual (2)	mg/l	2.0	0,20-0,50	Horaria
Dureza Total en (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	400	≤250	Horaria
Solidos disueltos Totales (STD)	mg/l	1000	≤1000	Horaria

Fuente: Reglamento de Calidad en la Prestación del Servicio y Manual del Usuario-ERSSAN. (\*) los límites recomendables son los establecidos en la Guía OMS/OPS. (1) 95% del tiempo. De preferencia <1. (2) Sujeto a necesidad de la calidad de bacteriológica en el punto de suministro al Usuario. (3) 90% del tiempo. El prestador debe asegurar el suministro de agua no agresiva ni incrustante al Sistema de Distribución. (4) No desagradable para la mayoría de los consumidores

## 2.5 Marco Legal

La ley N° 3239 de los recursos hídricos del Paraguay tiene por objeto regular la gestión sustentable e integral de todas las aguas y los territorios que la producen, cualquiera sea su ubicación, estado físico o su ocurrencia natural dentro del territorio paraguayo, con el fin de hacerla social, económica y ambientalmente sustentable para las personas que habitan el territorio de la República del Paraguay.

Dicha ley se rige por principios que explican que las aguas superficiales y subterráneas, son propiedad de dominio público del estado y su dominio es inalienable e imprescindible, en donde el acceso al agua para la satisfacción de las necesidades básicas es derecho humano y debe ser garantizado por el Estado, en cantidad y calidad adecuada. Estos recursos hídricos poseen usos y funciones múltiples, y tal característica deberá ser adecuadamente atendida, respetando el ciclo hidrológico, y favoreciendo siempre en primera instancia el uso para consumo de la población humana como así impulsar y mantener un adecuado conocimiento de los recursos hídricos en cuanto a cantidad, calidad, oportunidad de aprovechamiento y su carácter condicionante de las actividades humanas.

Explica también la importancia de desarrollar un sistema de planificación del conocimiento y aprovechamiento de los recursos hídricos y el promover su coordinación con la planificación general del país. Exigir la preservación integral de los recursos hídricos, actuando fundamentalmente sobre las causas de contaminación o degradación y, en forma consecuente, sobre sus efectos.

El capítulo VI que trata de los derechos de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos menciona que todo habitante de la república del Paraguay tiene derecho al uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en armonía con las normas, prioridades y limitaciones en la presente ley. La cantidad mínima de agua potable por día, por persona, será establecida por vía reglamentaria por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.

El capítulo VIII del Régimen legal ambiental de los recursos hídricos menciona que corresponderá al MADES en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, la determinación de los niveles de calidad, a las que deberán ajustarse los vertidos que se realicen desde fuentes móviles o fijas a cuerpos receptores de agua. Para ello se tendrá en cuenta los niveles de calidad que deberán tener las aguas, la capacidad de dilución de las aguas, la sustentabilidad de la biodiversidad y los potenciales usos que se pueda hacer de estos cuerpos receptores de agua.

La ley N° 1.614/2000 del Marco Regulatorio y Tarifario del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, explica en el artículo 41, referente a la calidad de Agua Potable suministrada por el prestador, que el agua debe ser apta para consumo humano debiendo satisfacer los límites tolerables de calidad detallados en el reglamento mencionado. El ERSSAN tendrá facultad para incrementar gradualmente los estándares de calidad de modo que se acerquen a los límites recomendables conforme a la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) respectivamente. El artículo 43 referente a las contaminaciones accidentales explica que si ocurriese en algún punto del sistema, una contaminación accidental de origen físico, químico o bacteriológico, que altere la



calidad del agua potable suministrada, el Prestador deberá ejecutar, a su costo y riesgo, todas las medidas que resulten necesarias para impedir que la contaminación afecte a los Usuarios; simultáneamente deberá identificar las causas, y proceder al control de la fuente de origen de la contaminación.

En este supuesto, el Prestador estará obligado a informar al ERSSAN de inmediato acerca de la contaminación ocurrida, describiendo las causas y las medidas adoptadas para impedir su difusión.

## **2.6 El Acuífero Patiño**

El Acuífero Patiño se localiza dentro del Grupo Asunción según Jerolimski T. y Gaal R. (2007) y que está formado por depósitos sedimentarios sucesivos, estos autores se refieren a los sedimentos como “Formación Palacios” inferior, medio y superior, siendo Gonzales E. (1996) la primera en referirse con este nombre.

El acuífero Patiño, objeto del presente estudio se encuentra bajo una zona urbanizada, en un porcentaje que oscila entre el 30 y 50 % del área total y abarca a los distritos de Limpio, Mariano Roque Alonso, Asunción, Lambaré, Fernando de la Mora, San Lorenzo, Luque, Areguá, Capiatá, J. Augusto Saldívar, Itauguá, Itá, Ypané, Guarambaré, Villa Elisa, Ñemby, San Antonio, Yaguarón y parte de Paraguari e Ypacarai. Las zonas no urbanizadas son praderas, campos de pastoreo y agricultura. La superficie del acuífero es de 1173 Km<sup>2</sup>, correspondiente al 0.28 % de la superficie total del país, hospedando a casi la tercera parte de la población, unos 2.000.000 de habitantes en el año 2006. (Monte R. & Baez J., 2007).

### **2.6.1 Características del acuífero**

Con respecto a las características del acuífero Patiño, Godoy E., Paredes J. (*sin año de publicación*). Describen a este acuífero con una predominancia de condiciones hidráulicas libres, aunque a veces también existe artesianismo con surgencia. Por la condición litológica, su permeabilidad es muy variable, de 0,1 a 3,4

m<sup>2</sup>/ día y la transmisividad oscila entre 0,2 y 135 m<sup>2</sup>/ día. Es el acuífero más explotado del Paraguay, lo que se realiza sin control, ocasionando problemas de interferencias de pozos, sobreexplotación y también contaminación.

### **2.6.2 Recarga de las aguas**

Como consecuencia de la morfología del área, el Río Paraguay y otros cuerpos importantes de aguas superficiales (Lago Ypacaraí, Río Salado) no están en condiciones de recargar el Acuífero Patiño. Por lo tanto, la recarga natural del Acuífero Patiño básicamente proviene del excedente de las precipitaciones pluviales locales (recarga directa). (Jara S. *et al* 2015).

### **2.6.3 Descarga de las aguas**

La descarga del agua subterránea es por una parte por flujos subterráneos directamente al río Paraguay, por otra parte, por la ex filtración del agua a los numerosos arroyos de la zona (flujo base) y por evapotranspiración en humedales donde el nivel de agua se encuentra a profundidad somera. Además, el agua subterránea es explotada intensivamente mediante gran cantidad de pozos, que son la fuente de agua potable para gran parte de los dos millones de personas que viven en la zona. (Jara S. *et al* 2015).

Con respecto a los pozos, se puede observar que el uso de las aguas subterráneas ha ganado mucha importancia durante los últimos 20 a 25 años, debido a los programas de exploración de las aguas subterráneas y a la promoción simultánea de pozos perforados, a cuya consecuencia se bombean actualmente cantidades considerables de agua para distintos usos. Sin embargo, no hay registros ni controles o coordinación en relación a la explotación de las aguas subterráneas, además faltan previsiones tendientes a protegerlas contra la polución y para controlar impactos ambientales relacionados con la explotación de estos recursos. Dada la importancia y la intensidad de la explotación de las aguas subterráneas, tales deficiencias acarrearán inseguridad y constituyen riesgos significativos para el desarrollo óptimo y sostenible de la región. (Jerozolimski T., Gaal R. 2007).

#### **2.6.4 Importancia del análisis del Balance Hídrico del Acuífero Patiño**

El principal aspecto que hace importante el análisis del balance hídrico en el acuífero Patiño, según Monte R. y Baez J. (2007) es la concentración de población humana frente a la limitada capacidad de renovación natural del agua y los riesgos contaminación y sobre-explotación de la fuente de agua subterránea, por la falta de conocimiento de la disponibilidad y reserva de agua subterránea. Una eventual duplicación o triplicación de la población en el área, en los próximos 30 a 50 años, puede poner en riesgo la provisión de agua para los diversos usos, como el abastecimiento humano, la agricultura, la ganadería y la industria. Otro aspecto importante a considerar es la baja cobertura de los sistemas de drenaje pluvial y cloacal, los cuales impactan en las tasas de infiltración de agua al subsuelo.

#### **2.6.5 Los usuarios en el acuífero**

Según Jerolimski T. y Gaal R. (2007). Hasta el año 2000, el sector de agua potable carecía de una regulación específica y presentaba una estructura centralizada en los organismos del Gobierno, principalmente en el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, sin que existiera un organismo rector que planificara su desarrollo. Con la promulgación de la “Ley General del Marco Regulatorio y Tarifario del Servicio Público de Provisión de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario”, tal situación cambió. Esta Ley reorganizó el sector y creó el Ente Regulador de los Servicios Sanitarios (ERSSAN) tornando posible en Paraguay la separación de las funciones normativas y fiscalizadoras de aquellas productivas.

El Decreto 18.880/2002, que reglamenta la Ley 1.614/2000, estableció que el Poder Ejecutivo, en el ejercicio de su titularidad, será asistido por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC). Así, el MOPC es el responsable de proponer y diseñar las políticas sectoriales, incluyendo las de financiamiento con destino al desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.

Hasta el año 2000 el SENASA (organismo dependiente del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social) era el encargado de elaborar las normas técnicas, sin embargo, el ERSSAN asumió esta atribución a partir de la reforma implementada en dicho año. Sin embargo, la SEAM (Actualmente MADES) creada el año 2000 en el contexto del Sistema Nacional del Ambiente (SISNAM), tiene injerencia en el sector a través de las normas relacionadas con los niveles y estándares ambientales y, adicionalmente, fiscaliza la gestión y cumplimiento de los planes, programas y proyectos con impacto medioambiental.

Las modalidades de prestación de servicios de agua potable están definidas según zonas de servicio. En los centros urbanos el servicio está a cargo de la empresa pública ESSAP S.A., mientras que en las zonas periurbanas predomina la prestación por medio del sector privado, los “aguateros”, que son pequeñas empresas que ofrecen servicios de agua potable a través de cañería (operando sus propios pozos) y, finalmente, las Juntas de Saneamiento (JS) que operan en las áreas rurales.

Cabe señalar que la provisión del servicio por parte del sector privado está regulada por permisos de 10 años en sistemas con menos de 2.000 conexiones y por concesiones de hasta 30 años en los sistemas que superan este número.

ESSAP S.A. resultó de la transformación de la Corporación de Obras Sanitarias (CORPOSANA), la cual en virtud de la Ley 1.615/2000 fue declarada empresa pública en proceso de intervención y transformación, con vistas a la posterior concesión de sus servicios al sector privado.

De acuerdo a la Ley de creación de CORPOSANA, ésta tenía la responsabilidad de prestar el servicio de agua potable y alcantarillado en las poblaciones urbanas de más de 4.000 habitantes, y posteriormente con la Ley 1614/2000, en las poblaciones de más de 2.000 conexiones.

El SENASA promueve la creación de Juntas de Saneamiento (JS) que operan y administran los servicios de agua y saneamiento bajo su dirección y control para

poblaciones con menos de 2000 conexiones. Las Juntas son entidades que se rigen por el derecho privado, cuyos miembros son elegidos por la propia comunidad. SENASA, ejecuta las obras y las Juntas se responsabilizan por la administración, operación, mantenimiento y ampliación de los sistemas. Una vez construido el sistema de abastecimiento de agua potable la J. S. se hace cargo de la operación del sistema y cobra a los usuarios las tarifas correspondientes, incluso para pagar al SENASA una proporción del costo de construcción del sistema. En la mayoría de los casos el SENASA continúa prestándoles asistencia técnica durante la fase de explotación.

Las aguaterías privadas surgieron en los años 80 por la falta de cobertura de CORPOSANA (actual ESSAP) y del SENASA en determinadas áreas. Los aguateros son empresarios privados, que prestan exclusivamente servicios de agua potable mediante la explotación de pozos subterráneos. Están agremiados a la Cámara Paraguaya del Agua (CAPA).

Sin embargo, en el área del Gran Asunción se verifica una superposición de redes de distintos prestadores privados que compiten en las zonas periféricas de sus respectivos sistemas por la captación de clientes, como consecuencia de la falta de planificación integral y de normalización del sector en varias áreas urbanas.

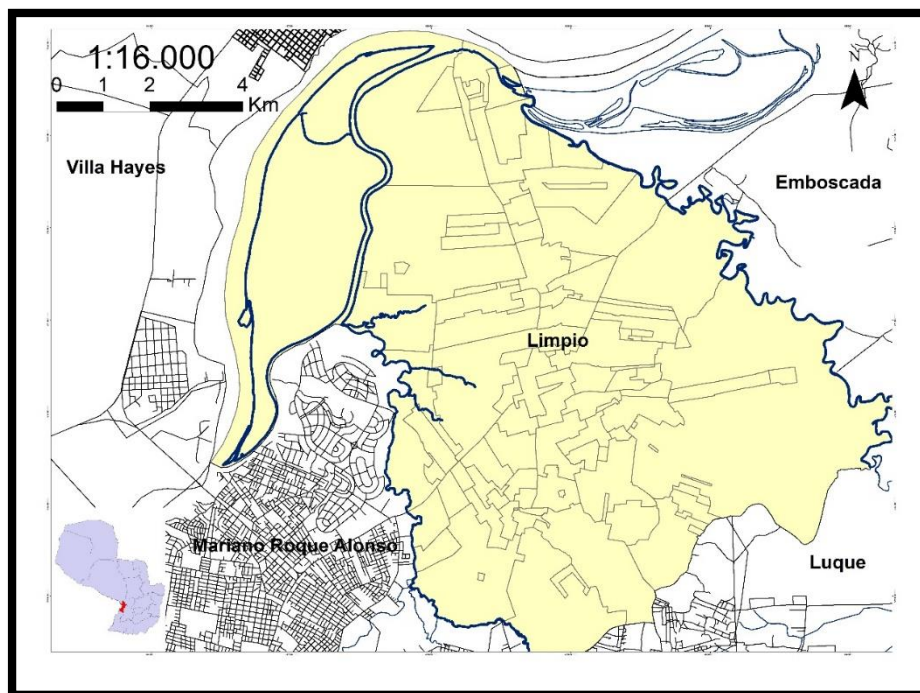
Además de estos usuarios, en el área del Acuífero Patiño hay que señalar la presencia de grandes consumidores de agua industriales que tienen sus propios pozos destacándose las industrias de gaseosas y las cervecerías. Como consumidores también debemos incluir los mataderos y los agricultores.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Características Generales del Área de Estudio

##### 3.1.1 Localización

El Distrito de Limpio se halla ubicado en el sector norte del Departamento Central, con costas sobre el Río Paraguay, tiene una extensión aproximada de 117 Km<sup>2</sup>, repartidos en 9 compañías y 20 barrios urbanos, urbanizaciones y villas. Tiene como límites al noroeste la ciudad de Emboscada (Dpto. Cordillera); al sur limita con el distrito de Luque, al suroeste linda con el distrito de Mariano Roque Alonso, y al noroeste el Municipio de Villa Hayes (Dpto. Presidente Hayes) separado por el Río Paraguay. (figura 4).



**Figura 4. Localización del área de Estudio.**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Topografía

Las características topográficas varían entre las curvas de nivel 60 metros sobre el nivel del mar, sobre el Río Paraguay y 80 metros sobre el nivel del mar en la zona céntrica del distrito. Todo el municipio presenta poca declividad salvo algunas elevaciones puntuales como el cerro ubicado cerca de Piquete Cué. La zona próxima al río Salado es bastante baja y forma parte del humedal del Río Salado.

### 3.1.3 Hidrografía

Prácticamente todo el distrito se halla delimitado geográfica y políticamente por cursos y cuerpos de agua. Al norte el Río Paraguay, al este el Río Salado, al sur el Arroyo Damián y al oeste el Arroyo Ytay y el Riacho San Francisco (brazo del Río Paraguay). También se tienen arroyos menores que fluyen a los mencionados, casi todos con una alta degradación por los vertidos industriales y domésticos.

En la figura 5 se puede observar en el mapa los principales cursos hídricos que se encuentran dentro del área de estudio.

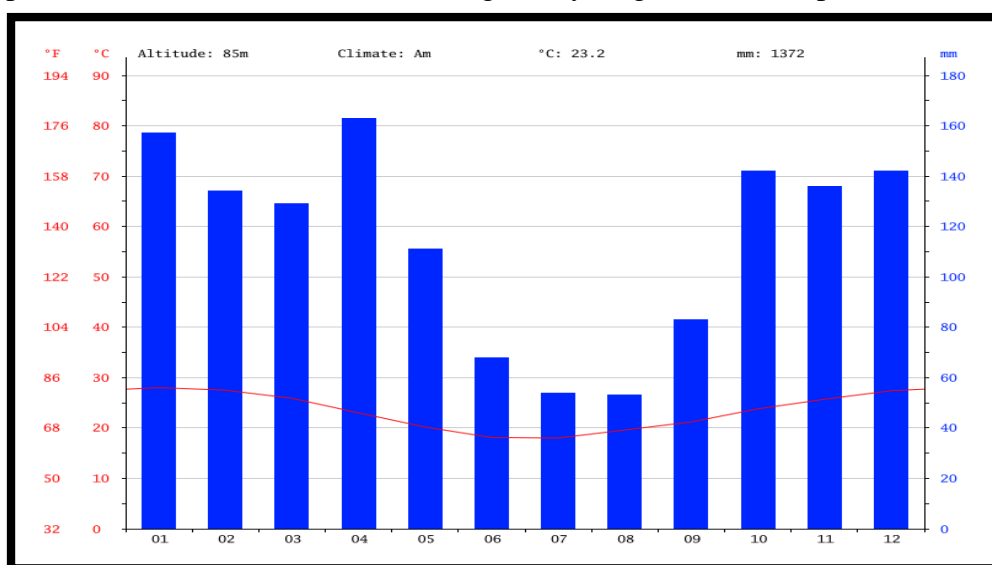


**Figura 5. Principales cursos hídricos del Distrito de Limpio.**

Fuente: Elaboración Propia.

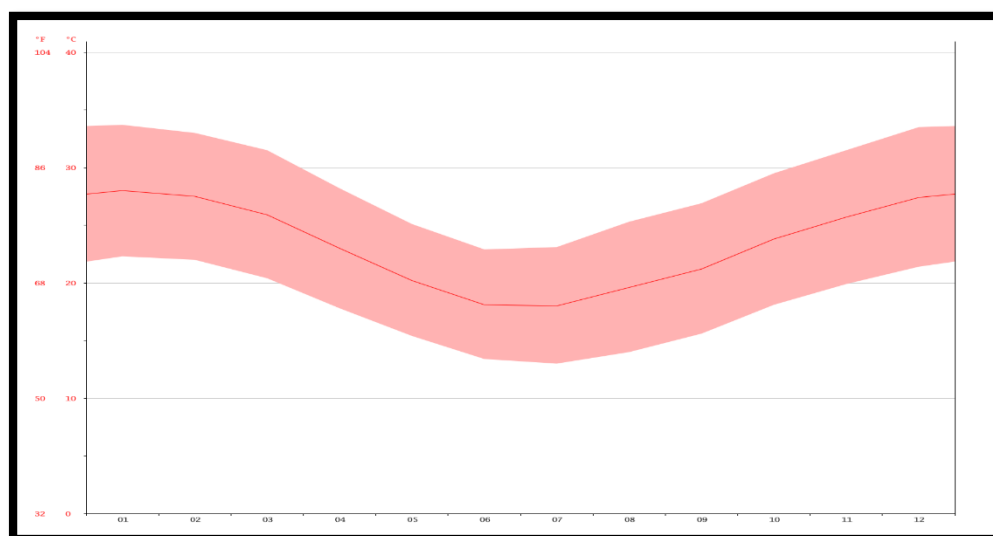
### 3.1.4 Clima

Según datos de CLIMATE-DATA.ORG, Este Distrito tiene un clima tropical, con precipitaciones significativas la mayoría de los meses, con una estación seca corta. Esta ubicación está clasificada como Am por Köppen y Geiger. La temperatura media anual en Limpio se encuentra a 23.2 ° C. Las temperaturas son más altas en promedio en enero, alrededor de 28.0 ° C. A 18.0 ° C en promedio, julio es el mes más frío del año. Aquí la precipitación promedio es de 1372 mm. En las figuras 6 y 7 se pueden observar el Gráfico del climograma y diagrama de Temperatura de Limpio.



**Figura 6. Climograma del Distrito de Limpio.**

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG.



**Figura 7. Diagrama de Temperatura del Distrito de Limpio.**

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG.



### **3.1.5 Vegetación**

Pertenciente a la ecorregión litoral central, es una ecorregión mesófila, constituida por agrupaciones arbóreas en macizos y masas irregulares y heterogéneas. Son masas boscosas de transición entre las Selva Central, Aquidabán y las del este del Chaco. En relación a la presencia de flora chaqueña, se puede citar a la Copernicia alba (*Karanda'y*). Cabe resaltar que la ciudad de Limpio es como conocida por sus artesanías de *Karanda'y*. (Solis E. 2015).

### **3.2 Materiales**

Para la presente investigación se utilizaron herramientas informáticas siendo estas *ArcGis* y *Google earth* para la elaboración de los mapas realizados.

Para la recolección de muestras de agua fueron utilizados botellas esterilizadas con el fin de que no haya contaminación alguna.

También fueron utilizados GPS para toma de coordenadas, cámara fotográfica y libreta de campo.

### **3.3 Métodos**

La investigación realizada es del tipo cuantitativo, consistiendo en la toma de mediciones de pH, Conductividad Eléctrica (C.E.) y Cantidad Total de Sólidos disueltos (T.S.D.) en los distintos pozos del Distrito de Limpio.

Al respecto, primeramente, se procedió en la recopilación de datos y publicaciones brindadas por las entidades correspondientes al monitoreo de los recursos hidrogeológicos (MADES) y saneamiento del agua para consumo humano (ERSSAN - SENASA), seguido de datos estadísticos de los puestos de salud del Distrito de Limpio sobre la frecuencia de consultas realizadas por hipertensión arterial.

En base a la información obtenida, se procedió a contactar a los proveedores de agua del Distrito de Limpio (Aguatarías, Juntas de Saneamiento, Comisiones vecinales) con el fin de solicitar una autorización para permitir la toma de muestras y acceso a los datos de los pozos a sus cargos, teniendo como prioridad los lugares con antecedentes de presencia de agua salada.

Para verificar la calidad del agua de los datos recolectados, se realizó la toma de muestras de agua, las cuales fueron etiquetadas, especificando en ella el nombre de la localidad, las coordenadas geográficas y la profundidad del pozo

Los análisis de las muestras obtenidas fueron realizados por apoyo de la Aguatería Paniagua para las mediciones de pH, Conductividad Eléctrica y Cantidad de Sólidos disueltos.

Mediante los valores obtenidos de conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos, se elaboró el mapa de los tipos de aguas en el Distrito de Limpio utilizando la herramienta de *ArcGis*, determinando así las posibles zonas de riesgo. La escala de trabajo es de 1:16000.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

En las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se describen los valores obtenidos de las muestras de cada pozo realizado en el Distrito de Limpio. Dichos datos son de elaboración propia, excepto el pozo 37 del MADES, estos pozos son la base para los mapas presentados más adelante.

**Tabla 4. Pozos de la Junta de Saneamiento de Rincón del Peñón.**

Pozo N°	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
	E	N				
1	452803	7219793	7,54	3450	2277	120
2	452807	7219831	6,97	557	366	100
3	452795	7219865	6,47	560	369	120
4	452805	7219775	7,75	300	198	130
5	452802	7219752	7,89	120	79	140
6	453448	7219721	7,36	205	135	140
7	452880	7218024	7,68	385	254	120

**Tabla 5. Pozos de la Junta de Saneamiento de Piquete Cué**

Pozo N°	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
	E	N				
8	452589	7220439	7,85	570	376	120
9	452587	7220341	7,74	4350	2871	110
10	452413	7220327	7,23	1700	1122	

**Tabla 6. Pozos de la Junta de Saneamiento de Salado.**

Pozo N°	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
	E	N				
11	454648	7215659	6,95	110	72	86
12	455607	7214996	7,14	75	49	83
13	454473	7214607	7,43	80	53	96

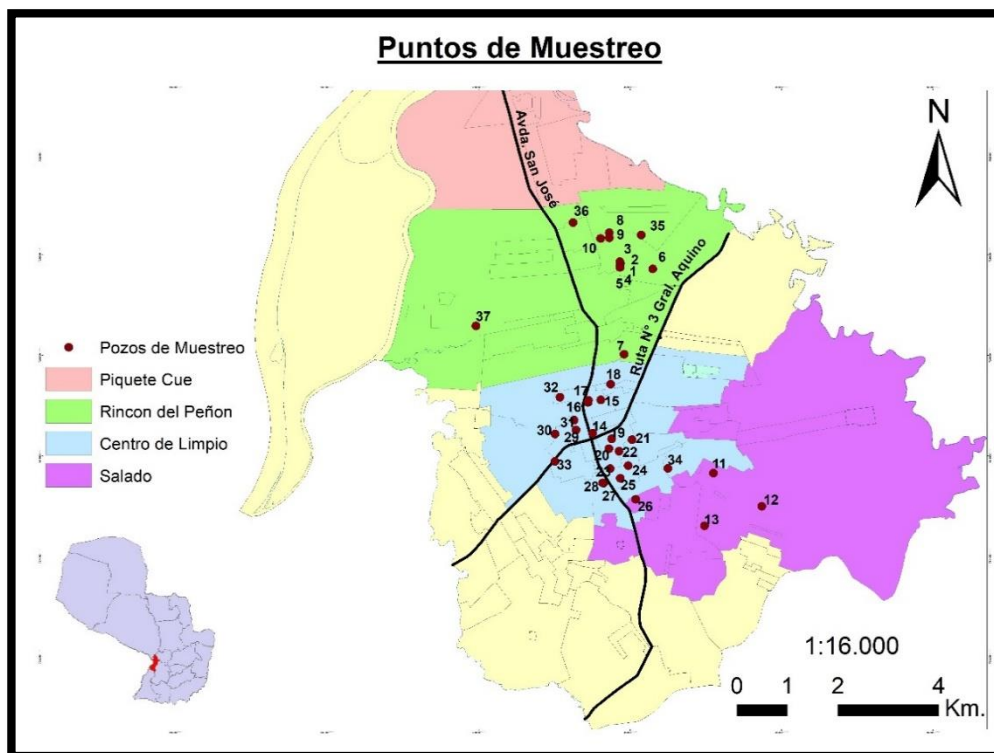
**Tabla 7. Pozos de la Junta de Saneamiento del Centro de Limpio.**

Pozo N°	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
	E	N				
14	452256	7216450	7,89	787	519	90
15	452419	7217113	7,07	295	195	86
16	452164	7217064	7,56	250	165	87
17	452173	7217106	7,81	265	175	90
18	452613	7217427	7,28	300	198	93
19	452634	7216341	7,12	286	189	76
20	452580	7216143	7,67	300	198	87
21	453036	7216324	6,70	270	178	90
22	452780	7216093	7,64	270	178	87
23	452605	7215745	6,71	400	264	90
24	452960	7215804	7,60	210	139	93
25	452804	7215555	7,45	250	165	92
26	453107	7215136	8,38	805	531	78
27	452476	7215460	8,20	435	287	86
28	452455	7215461	8,12	315	208	87
29	451930	7216516	7,94	300	198	85
30	451511	7216435	7,55	180	119	65
31	451888	7216711	8,16	430	284	85
32	451611	7217167	7,69	450	297	46
33	451515	7215890	8,15	1570	1036	

**Tabla 8. Pozos y Aguaterías del Distrito de Limpio.**

Pozo N°	Pozo y/o Aguatería	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
		E	N				
34	Emanuel	453747	7215750	6,16	210	138	108
35	Paniagua	453220	7220400	6,95	78	51	120
36	Paniagua	451870	7220643	6,98	2800	1848	
37	Pozo 38	449948	7218585	6.9	14,820	9781	30

El resumen de los datos presentados se verifica en el Figura 8.



**Figura 8. Lugares de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.

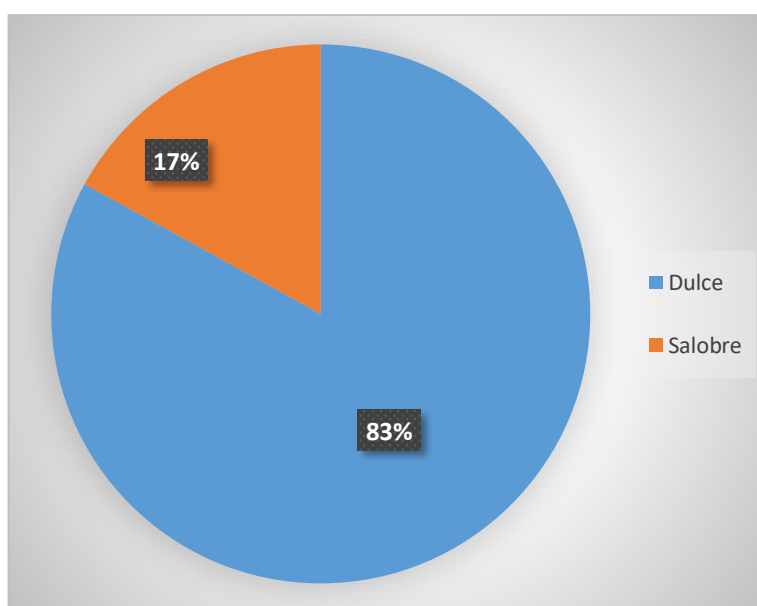
En este mapa se verifican los 37 muestreos mencionados, cabe resaltar que el pozo 37 perteneciente al pozo piezométrico del MADES no fue muestreado, para ello fue utilizado los datos brindados por la Dirección General de Protección y Conservación de Recursos Hídricos del MADES y fue incluido en la tabla de resultados.

En el mapa no fueron incluidos gran parte de los pozos localizados en el Distrito de Limpio debido a que muchos de los pozos se encuentran en zonas de difícil acceso por la falta de seguridad. También en parte se debe al recelo de los propietarios y/o encargados de algunos de los pozos. Los lugares de donde se obtuvieron muestras fueron la Compañía Piquete Cué, la compañía Rincón del Peñón, la Compañía Salado y el centro del Distrito de Limpio.

Los análisis de pH realizados, muestran valores dentro del rango admisible establecido por la ERSSAN (6,5 a 8,5) con un rango hacia el pH básico.

Para la determinación de los tipos de agua subterráneas presentes en el Distrito de Limpio, se tomaron los criterios de clasificación de Davis y De Wiest (1967) teniendo en cuenta el TSD presentes en el agua cuyos valores son:

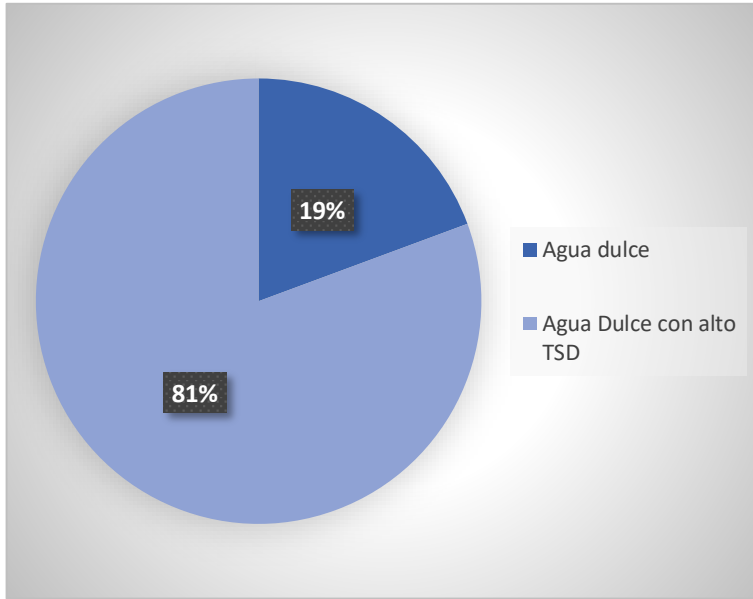
- Para aguas dulces: valores  $\leq 1.000$  ppm de TSD.
- Para aguas Salobres: valores entre  $1.000 - 10.000$  ppm de TSD.
- Para aguas Saladas: Valores entre  $10.000 - 100.000$  ppm de TSD.
- Para Salmueras: Valores  $\geq 100.000$  ppm de TSD.



**Figura 9. Tipos de agua subterránea en el Distrito de Limpio.**

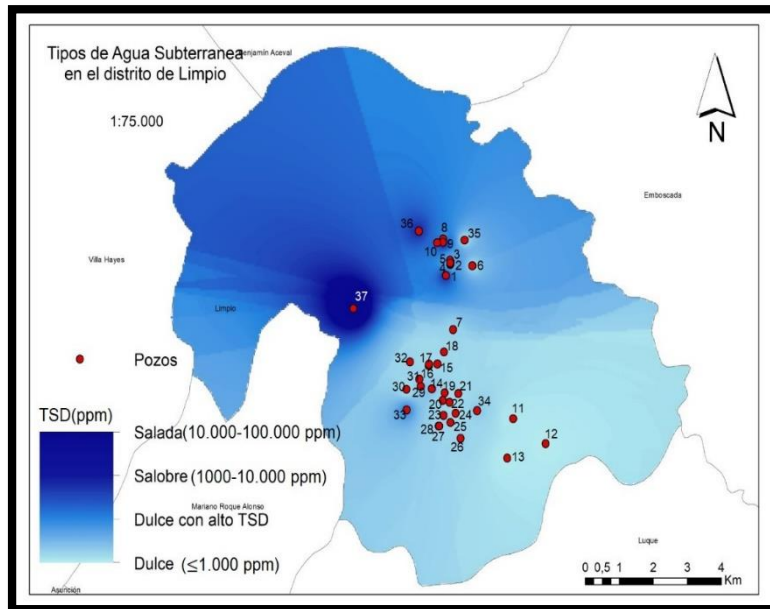
Como se logra apreciar en la Figura 9 el Distrito de Limpio presenta un 83 % de agua dulce y un 17% de agua salobre. No se obtuvieron datos con pozos de agua salada o salmuera.

Aquellos pozos con TSD que presentan valores a partir de los 120 ppm en adelante, en este trabajo se los considera como Agua dulce con alto TSD, obteniendo así el siguiente gráfico:



**Figura 10. Categorización de las aguas dulces del Distrito de Limpio enfocada al TSD presentes.**

La distribución de los tipos de agua en el Distrito de Limpio se observa en la Figura 11:



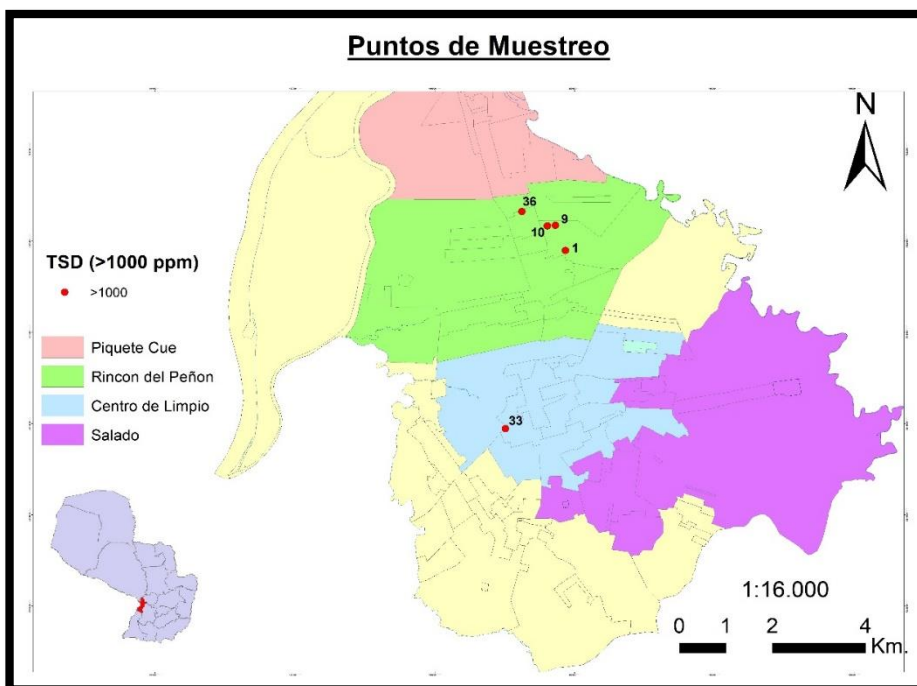
**Figura 11. Mapa de distribución de los tipos de agua del Distrito de Limpio enfocada al TSD presentes.**

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 11, de distribución aproximada de los tipos de agua en el distrito de Limpio, la diferencia de tonalidad hace referencia al tipo de agua localizada en cada zona. Aquellas áreas de color azul intenso, son aquellas que presentan agua salobre, las áreas con un celeste fuerte, son áreas que presentan agua dulce con alto TSD y las áreas de coloración celeste claro son aquellas que presentan agua dulce.

#### 4.1.1 Resultados de la Potabilidad del agua desde el punto de vista del Total de Sólidos Disueltos presentes

Para categorizar la calidad del agua del Distrito de Limpio, se tomaron los límites de potabilidad establecidos por la ERSSAN (tabla 3) en donde se agrupan los pozos de acuerdo a los valores de TSD presentes en el agua, ya que, como menciona Davis y De Wiest (1967) determina el carácter dulce o salino del agua. Para esta agrupación, no se incluyó el pozo 37, perteneciente al pozo piezométrico del MADES, ya que éste no cumple la labor de abastecimiento a la ciudadanía.



**Figura 12. Pozos no aptos para consumo humano.**

Fuente: Elaboración propia.



En la Figura 12 se muestran aquellos pozos que presentan un valor de TSD por encima de los límites admisibles establecidos por la ERSSAN, siendo no aptos para consumo de la ciudadanía.

En la Tabla 9 se muestran las características de los pozos no aptos para el consumo:

**Tabla 9. Pozos de abastecimiento no aptos para consumo.**

Pozo N°	Lugar	Coordenadas (UTM)		pH	C.E (µS/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
		E	N				
1	Rincón del Peñón	452803	7219793	7,54	3450	2277	120
9	Piquete Cué	452587	7220341	7,74	4350	2871	110
10	Piquete Cué	452413	7220327	7,23	1700	1122	
33	Centro de Limpio	451515	7215890	8,15	1570	1036	
36	Ag. Paniagua	451870	7220643	6,98	2800	1848	

Como se ha demostrado, en la tabla 9 se agrupan los puntos de muestreo cuyas aguas presenta un valor por encima de los 1000 ppm de TSD.

Al observar la ubicación de los pozos con respecto al Río Paraguay, la mayor parte de ellos se encuentran en áreas próximas al Río Paraguay.

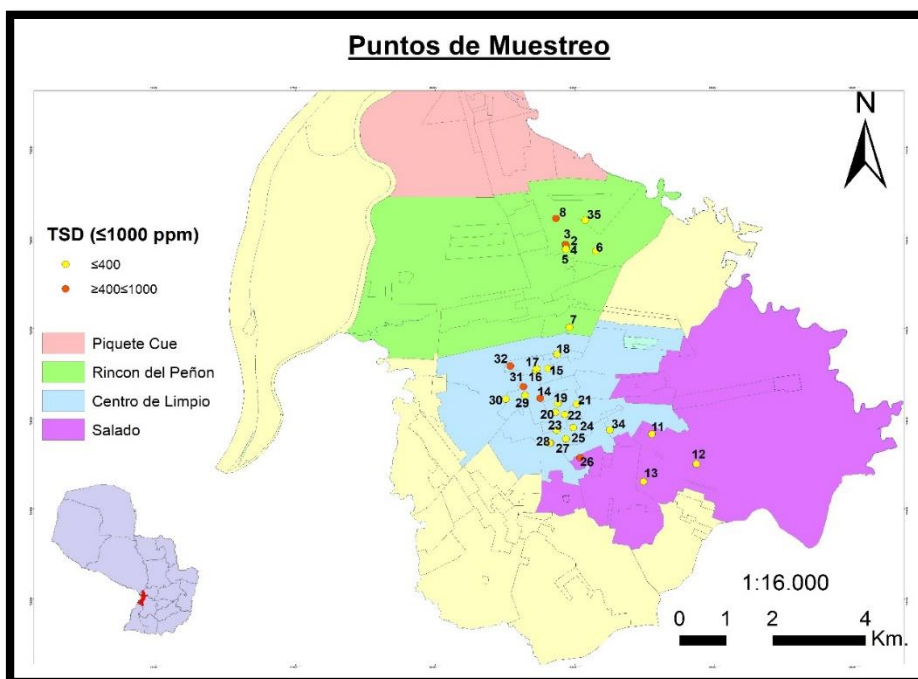
El pozo N° 1 perteneciente a la Junta de Saneamiento de Rincón del Peñón se encuentra inhabilitado debido a alta salinidad que presenta, en cambio los demás pozos restantes se encuentran habilitados para el abastecimiento de la ciudadanía. Los Pozos 9 y 10 pertenecientes a la Junta de Saneamiento de Piquete Cué se encuentran localizados en el Barrio “15 de agosto” de la Compañía de Rincón del Peñón. Los encargados del mantenimiento de dichos pozos explicaron que estos no se encuentran en Piquete Cué debido a la salinidad del agua de la zona. Esta Junta de Saneamiento cuenta con alrededor de 2000 usuarios aproximadamente que se abastecen del agua de estos pozos. A parte del problema que presenta la salinidad en el agua, existe también la escasez de esta, siendo el método de trabajo para el abastecimiento de los ciudadanos de la compañía de Piquete, la abertura de la red de circulación de seis de la mañana a

doce del mediodía, en este lapso los usuarios se ven obligados a juntar toda el agua posible para el uso diario, y nuevamente el servicio vuelve a habilitarse desde las seis de la tarde a diez de la noche. Si observamos la Tabla 5 podemos ver que la Junta de Saneamiento de Piquete Cué cuenta con un pozo de agua dulce (teniendo en cuenta los parámetros de potabilidad establecidos por la ERSSAN). Se podría decir que dicho pozo es el encargado de “disminuir” la percepción del sabor del agua, ya que esta y los otros dos terminan mezclándose en el tanque reservorio de la Junta.

El pozo 33, perteneciente a la Junta de Saneamiento del Centro de la Ciudad de Limpio se encuentra habilitado. El encargado del mantenimiento de los pozos explica que no lo pueden inhabilitar ya que esto causaría que gran parte de la ciudadanía se quede sin agua.

El pozo 36, perteneciente a la Aguataría Paniagua, el cual se ubica en la compañía Rincón del Peñón, se encuentra habilitado pero que próximamente se estaría sellando, debido a la invasión por agua salobre, dicho pozo sólo es habilitado en temporadas de alta demanda (verano) afectando relativamente a la calidad del agua de consumo, según explicó uno de los propietarios. También menciona que este problema de la salinidad se remonta desde hace bastantes años, (cerca del año 2000 aproximadamente) lo cual llevó a inhabilitar varios pozos que fueron invadidos por agua salada y los obligó a migrar a zonas más alejadas del río en busca de áreas con presencia de agua dulce. Mencionan también que cada pozo que han sellado, presenta una vida útil de aproximadamente 5 a 6 años antes de que la salinidad los afecte.

En la figura 13 se observa, la distribución de los pozos con aguas aptas para el consumo de la ciudadanía:



**Figura 13. Pozos aptos para consumo humano.**

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 se observan los pozos que tienen valores de TSD menores a 1000 ppm en el en el agua, los colores amarillo y naranja corresponden al rango de conductividad eléctrica.

Aquellos que presentan valores de TSD por debajo de los 400 ppm, son los que presentan una C.E. dentro del límite recomendado establecido por la ERSSAN ( $\leq 400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

En la tabla 10 se muestran las características de los pozos aptos para el consumo:

**Tabla 10. Pozos de abastecimiento dentro de los límites admisibles (aptos para consumo humano).**

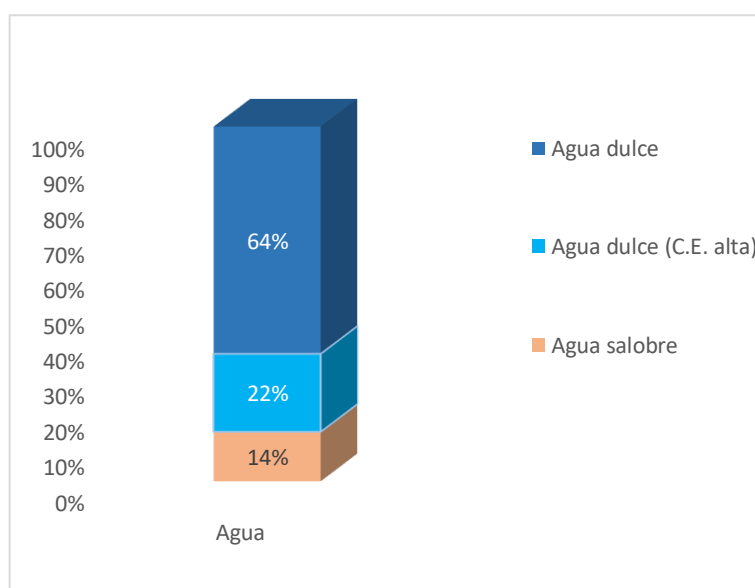
Pozo N°	Lugar	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
		E	N				
2	Rincón del Peñón	452807	7219831	6,97	557	366	100
3	Rincón del Peñón	452795	7219865	6,47	560	369	120
4	Rincón del Peñón	452805	7219775	7,75	300	198	130
5	Rincón del Peñón	452802	7219752	7,89	120	79	140
6	Rincón del Peñón	453448	7219721	7,36	205	135	140
7	Rincón del Peñón	452880	7218024	7,68	385	254	120
8	Piquete Cué	452589	7220439	7,85	570	376	120
11	Salado	454648	7215659	6,95	110	72	86
12	Salado	455607	7214996	7,14	75	49	83
13	Salado	454473	7214607	7,43	80	53	96
14	Centro de Limpio	452256	7216450	7,89	787	519	90
15	Centro de Limpio	452419	7217113	7,07	295	195	86
16	Centro de Limpio	452164	7217064	7,56	250	165	87
17	Centro de Limpio	452173	7217106	7,81	265	175	90
18	Centro de Limpio	452613	7217427	7,28	300	198	93
19	Centro de Limpio	452634	7216341	7,12	286	189	76
20	Centro de Limpio	452580	7216143	7,67	300	198	87
21	Centro de Limpio	453036	7216324	6,70	270	178	90
22	Centro de Limpio	452780	7216093	7,64	270	178	87
23	Centro de Limpio	452605	7215745	6,71	400	264	90
24	Centro de Limpio	452960	7215804	7,60	210	139	93
25	Centro de Limpio	452804	7215555	7,45	250	165	92
26	Centro de Limpio	453107	7215136	8,38	805	531	78
27	Centro de Limpio	452476	7215460	8,20	435	287	86
28	Centro de Limpio	452455	7215461	8,12	315	208	87
29	Centro de Limpio	451930	7216516	7,94	300	198	85
30	Centro de Limpio	451511	7216435	7,55	180	119	65
31	Centro de Limpio	451888	7216711	8,16	430	284	85
32	Centro de Limpio	451611	7217167	7,69	450	297	46
34	Ag. Emanuel	453747	7215750	6,16	210	138	108
35	Ag. Paniagua	453220	7220400	6,95	78	51	120

En la tabla 11 se agrupa a aquellos que presentan una conductividad eléctrica dentro del límite recomendado:

**Tabla 11. Pozos de abastecimiento dentro de los límites recomendados.**

Pozo N°	Lugar	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
		E	N				
4	Rincón del Peñón	452805	7219775	7,75	300	198	130
5	Rincón del Peñón	452802	7219752	7,89	120	79	140
6	Rincón del Peñón	453448	7219721	7,36	205	135	140
7	Rincón del Peñón	452880	7218024	7,68	385	254	120
11	Salado	454648	7215659	6,95	110	72	86
12	Salado	455607	7214996	7,14	75	49	83
13	Salado	454473	7214607	7,43	80	53	96
15	Centro de Limpio	452419	7217113	7,07	295	195	86
16	Centro de Limpio	452164	7217064	7,56	250	165	87
17	Centro de Limpio	452173	7217106	7,81	265	175	90
18	Centro de Limpio	452613	7217427	7,28	300	198	93
19	Centro de Limpio	452634	7216341	7,12	286	189	76
20	Centro de Limpio	452580	7216143	7,67	300	198	87
21	Centro de Limpio	453036	7216324	6,70	270	178	90
22	Centro de Limpio	452780	7216093	7,64	270	178	87
23	Centro de Limpio	452605	7215745	6,71	400	264	90
24	Centro de Limpio	452960	7215804	7,60	210	139	93
25	Centro de Limpio	452804	7215555	7,45	250	165	92
28	Centro de Limpio	452455	7215461	8,12	315	208	87
29	Centro de Limpio	451930	7216516	7,94	300	198	85
30	Centro de Limpio	451511	7216435	7,55	180	119	65
34	Ag. Emanuel			6,16	210	138	108
35	Ag. Paniagua	453220	7220400	6,95	78	51	120

El siguiente gráfico representa la disposición de agua en Limpio desde el punto de vista de TSD:



**Figura 14. Calidad del agua en la ciudad de Limpio.**

En la figura 14 se observa que 64% del agua de las muestras realizadas son consideradas aptas para el consumo humano de acuerdo a los parámetros de la ERRSAN, el 22% son de aguas dulces con valores de C.E. que sobrepasan los límites de potabilidad y el 14% no son aptas para consumo.

#### 4.1.2 Resultados de la influencia del consumo de agua en la salud de los ciudadanos de Limpio

Es importante mencionar antes que nada que el Paraguay presenta la población más hipertensa de Sudamérica con una prevalencia de hipertensión arterial (HTA) en adultos del 45,8% nuestro país. (Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. 2017).

Los encargados de abastecimiento de agua de la compañía de Piquete Cué, Rincón del Peñón y el Centro de Limpio coinciden con que el aumento de la salinidad del agua que consumen inicio hace un año aproximadamente. Con relación a este dato, en la tabla 12 se muestran los casos nuevos con diagnóstico de HTA registrado en los hospitales y puestos de salud de la ciudad de Limpio en este último año, coincidente con el inicio de la “salinización”.

**Tabla 12. Número de casos nuevos con diagnóstico de Hipertensión.**

<b>Posición</b>	<b>Hospitales y Puestos de Salud.</b>	<b>Números de casos nuevos con Diagnóstico de Hipertensión.</b>
1er	H.D. <sup>1</sup> . de Limpio	1317
2do	USF <sup>2</sup> 15 de Agosto-USF Sto. Domingo	684
3ro	USF Piquete Cué	571
4to	USF San Gerónimo	384
5to	USF Hospital Indígena	363
6to	USF Villa Madrid	312
7mo	USF Don Bosco	302
8vo	USF Benigno Ferreira	363
<b>TOTAL</b>		<b>4122</b>

Fuente: Sistema SAA y HIS Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (1) Hospital Distrital. (2) Unidad de Salud de la Familia.

Las USF 15 de Agosto y Sto. Domingo se encuentran ubicadas en la compañía Rincón del Peñón, al pertenecer ambas a la misma compañía, los datos de ambos serán sumados y considerados como un solo registro. De la misma forma es importante tener en cuenta los casos de HTA en seguimiento observados en la siguiente tabla, para el caso de la Las USF 15 de agosto y Sto. Domingo se aplica el mismo sistema que en la tabla 13:

**Tabla 13. Número de casos de HTA en seguimiento.**

<b>Posición</b>	<b>Hospitales y Puestos de Salud.</b>	<b>Números de casos de Hipertensión en seguimiento.</b>
1er	H.D. <sup>1</sup> de Limpio	2024
2do	USF <sup>2</sup> 15 de Agosto- USF Sto. Domingo	1336
3ro	USF Hospital Indígena	384
4to	USF Piquete Cué	363
5to	USF San Gerónimo	312
6to	USF Don Bosco	213
7mo	USF Villa Madrid	148
8vo	USF Benigno Ferreira	90
<b>TOTAL</b>		<b>4967</b>

Fuente: Sistema SAA y HIS Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (1) Hospital Distrital. (2) Unidad de Salud de la Familia.

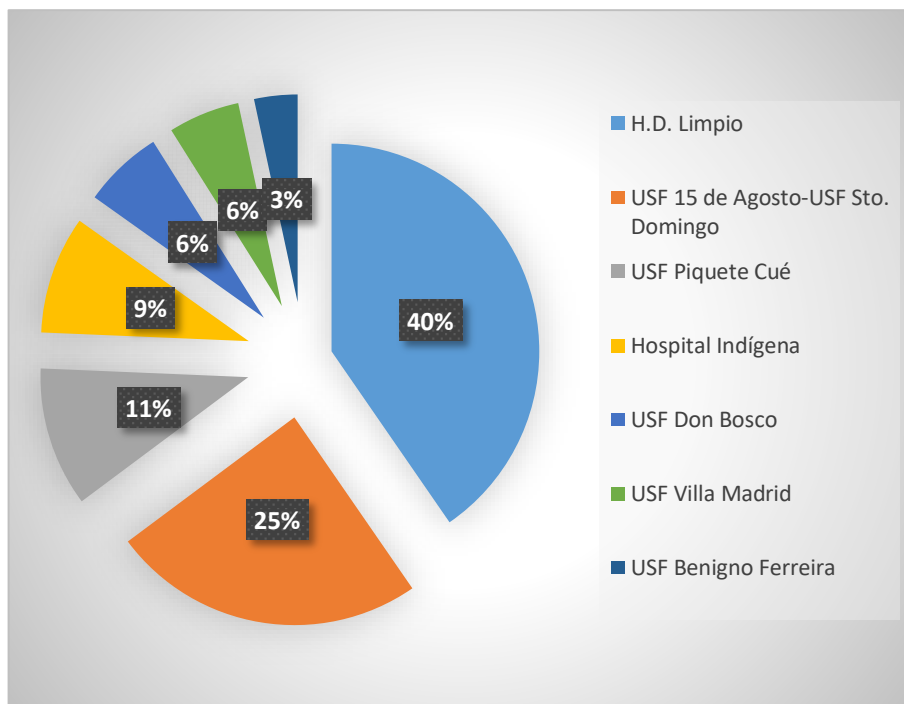
En la siguiente tabla se resumen la cantidad de casos de HTA por cada puesto de salud y hospital:

**Tabla 14. Casos de HTA en la ciudad de Limpio.**

<b>Posición</b>	<b>Hospitales y Puestos de Salud.</b>	<b>Casos de HTA</b>
1er	H.D. <sup>1</sup> de Limpio	3341
2do	USF <sup>2</sup> 15 de Agosto- USF Sto. Domingo	2020
3ro	USF Piquete Cué	899
4to	Hospital Indígena	759
5to	USF San Gerónimo	756
6to	USF Don Bosco	515
7mo	USF Villa Madrid	460
8vo	USF Benigno Ferreira	279
<b>TOTAL</b>		<b>9029</b>

Fuente: Sistema SAA y HIS Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (1) Hospital Distrital. (2) Unidad de Salud de la Familia.

La tabla 14 se resume en el siguiente gráfico porcentual:

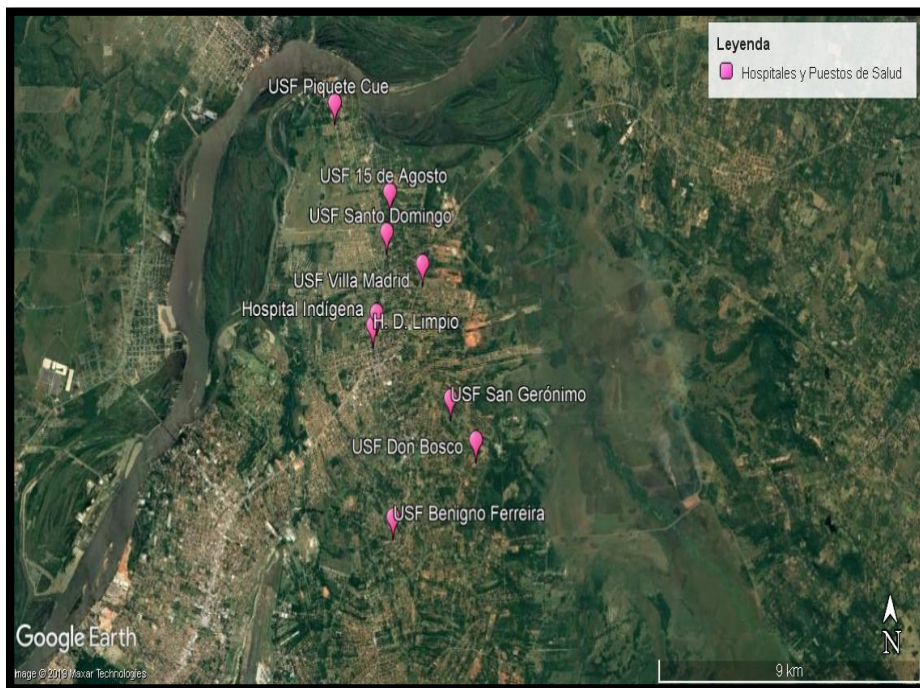


**Figura 15. Gráfico porcentual de los casos de HTA registrados en la ciudad de Limpio**

El distrito de Limpio cuenta aproximadamente con 145.760 habitantes, según los datos brindados por el Hospital distrital de Limpio. Teniendo en cuenta los datos de la Figura 15, el 6,2 % de la población de Limpio se encuentra con HTA.

La ubicación geográfica de los Hospitales y Centros de Salud se presentan en la siguiente Figura:





**Figura 16. Distribución geográfica de hospitales y puestos de salud de la ciudad de Limpio.**

Fuente: Imagen satelital extraído de google earth.

Al relacionar la ubicación geográfica de los puestos y hospitales de la ciudad de Limpio (figura 16) con la posición en la que se encuentran en la Tabla 14 y el tipo de agua de la zona en la que se encuentran, se estima la influencia de los tipos de agua sobre la población de la zona que se abastecen de ella.

El Hospital Distrital de Limpio encabeza la Tabla 14, su ubicación se debe a que, como su nombre lo dice, es el Hospital del Distrito de Limpio, el cual presenta mayores recursos y atención disponible las 24 horas, los casos registrados aquí pueden ser relacionados a múltiples factores, donde no se podría corroborar si la calidad del agua influye en la salud de estos pacientes. No está demás decir que el centro de Limpio presenta un predominio de agua dulce con alto TSD, donde varios pozos presentan C.E. fuera del rango admisible de potabilidad, indicando la presencia de sal en el agua, lo que podría influir, pero a menor escala en la salud de los pobladores limpeños.

En segundo lugar, en la tabla 14 tenemos la USF 15 de agosto y la USF Sto. Domingo de la compañía de Rincón del Peñón, seguido en el tercer lugar la USF de Piquete Cué.

Los casos registrados en la USF 15 de Agosto sumados con los casos registrados en la USF Sto. Domingo de la compañía Rincón del Peñón, se pueden relacionar con la calidad de agua consumida por los pobladores de la zona. Si bien existe más proveedores de agua a parte de la Junta de Saneamiento perteneciente a la compañía y la Aguatería Paniagua.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el agua de los pozos muestreados de la zona de Rincón del Peñón, existe un predominio de agua dulce con alto TSD donde varios pozos presentan C.E. fuera del rango admisible de potabilidad, indicando la presencia de sales en el agua, pero también se presentan pozos con agua de carácter salobre (Pozo 1, Pozo 36) a parte de los pozos pertenecientes a la Junta de Saneamiento de Piquete Cué que también presentan agua salobre. Es importante recordar que uno de los propietarios de la Aguatería Paniagua comentaba que varios de sus pozos ubicados en la zona tuvieron que ser sellados por haber sido afectados por la salinidad.

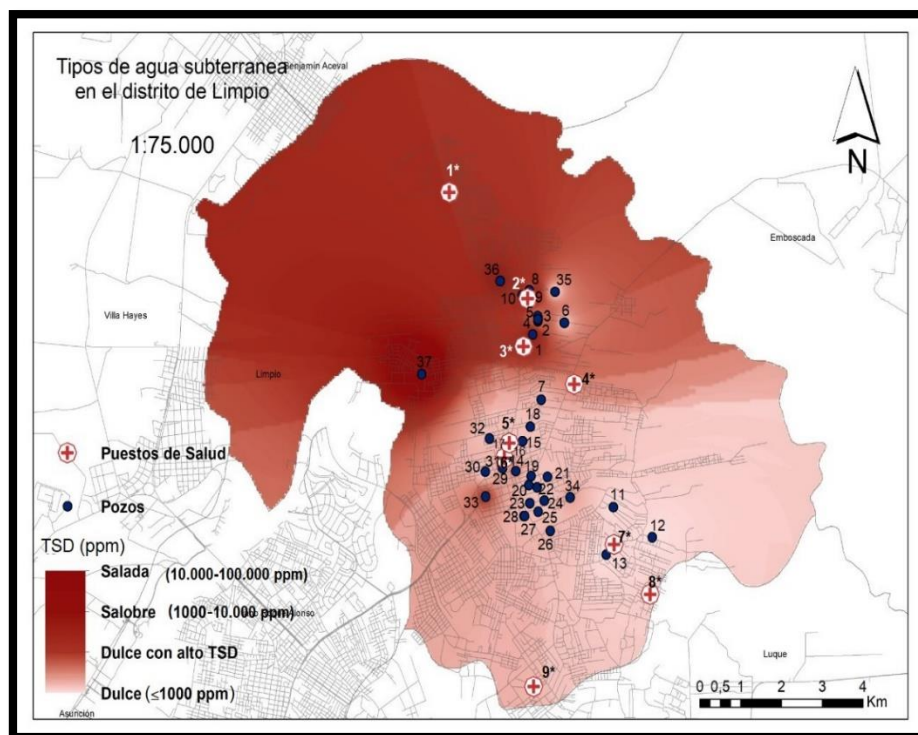
Los casos registrados en la USF de Piquete Cué en la tabla 14 también se puede relacionar con la calidad del agua con la que se abastece gran parte de su población. Como bien ya fue mencionado los pozos de abastecimiento de la Junta de Saneamiento de Piquete Cué no se encuentran en la compañía debido a que el área que abarca esta compañía presenta mayormente agua de carácter salobre, estos pozos se encuentran en el Barrio 15 de agosto (Compañía Rincón del Peñón) y cuyos valores de TSD denotaban un carácter salobre sobrepasando los límites permisibles de potabilidad establecidos por la ERSSAN.

Los casos registrados en el Hospital Indígena que toman el 4to lugar en la tabla 14 ya pueden deberse a factores comunes asociados a la HTA. Cabe resaltar que Limpio no presenta comunidades indígenas propias de la ciudad y que este hospital atiende a los indígenas provenientes de varios lugares fuera de la ciudad de Limpio.

Los casos registrados en la USF San Gerónimo localizado en la compañía de Salado también pueden deberse a factores comunes asociados a la HTA. Si bien, la compañía Salado presenta agua dulce de buena calidad, durante el recorrido para la toma de muestras, los encargados de esos pozos también comentaban que la gente ubicada en las cercanías del Río Salado se quejaba de que el agua de la zona empezaba a adquirir un sabor salado. Esto no pudo corroborarse debido a la complejidad del acceso a la zona.

A partir del 6to lugar de la tabla 14 se muestran los casos registrados que pueden deberse a factores comunes de la HTA. De todas formas, es difícil relacionar la cantidad de casos con el tipo de agua localizada en la zona debido a que no se obtuvieron muestras por las dificultades presentadas para lograr ingresar a la zona.

En la figura 17 se resume la relación existente entre los puestos de salud y Hospitales distribuidos por la ciudad de Limpio con el tipo de agua de la zona en la que se ubican:

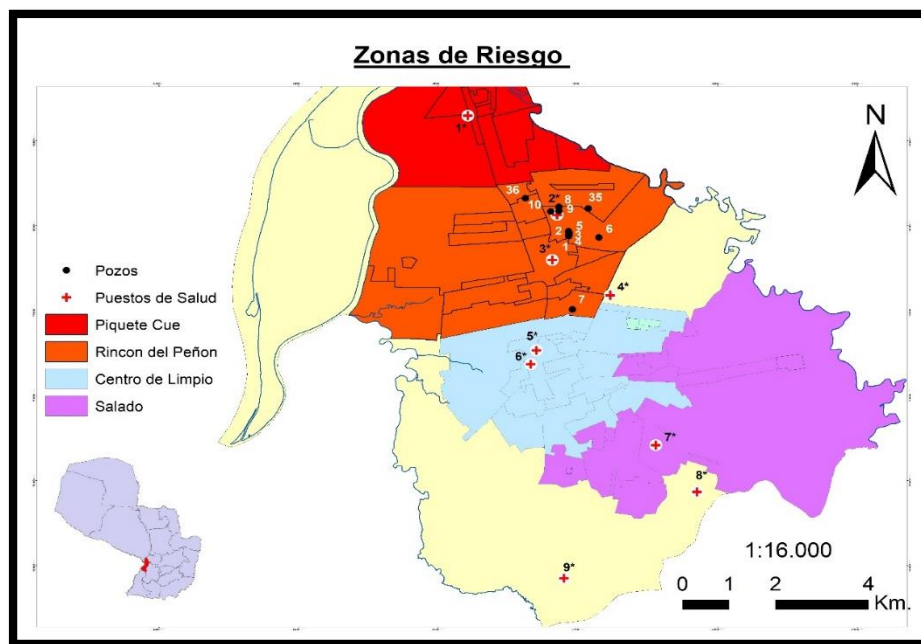


**Figura 17. Tipos de agua de acuerdo a la ubicación de puestos de salud y hospitales. 1\*. USF Piquete Cué. 2\*. USF 15 de Agosto. 3\*. USF Sto Domingo. 4\*. USF Villa Madrid. 5\*. Hospital Indígena. 6\*. Hospital distrital de Limpio. 7\*.USF San Gerónimo. 8\*. USF Don Bosco. 9\*. USF Benigno Ferreira**

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se observa el tipo de agua presente en la localización de cada puesto de Salud de la ciudad, claramente se observa que la USF Piquete Cué, 15 de Agosto y Santo Domingo se encuentran dentro de un área con agua salobre y agua dulce con alto TSD.

La Figura 18 resume la relación Tipo de agua con las zonas de riesgos:



**Figura 18. Zonas de riesgo** 1\*. USF Piquete Cué. 2\*. USF 15 de Agosto. 3\*. USF Sto Domingo. 4\*. USF Villa Madrid. 5\*. Hospital Indígena. 6\*. Hospital distrital de Limpio. 7\*.USF San Gerónimo. 8\*. USF Don Bosco. 9\*. USF Benigno Ferreira

Fuente: Elaboración propia

La Figura 18 muestra la relación del agua subterránea del Acuífero Patiño con la salud del Distrito de Limpio. Los pozos localizados en la compañía Rincón del Peñón de los cuales parte se encarga de abastecer a los pobladores de la Compañía Piquete Cué, presentan en su gran mayoría agua salobre y agua dulce con alto TSD. De la misma forma, ambas compañías registran el mayor número de casos de HTA de todo el Distrito. De esta forma, se constata que la calidad de agua del acuífero Patiño en esas zonas influye en la salud de los pobladores.

En la tabla 15 se muestran los valores registrados de los pozos de la Compañía Rincón del Peñón:

**Tabla 15. Valores registrados en los pozos de la Compañía Rincón del Peñón.**

Pozo N°	Lugar	Coordenadas (UTM)		pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	TSD (ppm)	Prof. (m)
		E	N				
1	Rincón del Peñón	452803	7219793	7,54	3450	2277	120
2	Rincón del Peñón	452807	7219831	6,97	557	366	100
3	Rincón del Peñón	452795	7219865	6,47	560	369	120
5	Rincón del Peñón	452802	7219752	7,89	120	79	140
8	Piquete Cué	452589	7220439	7,85	570	376	120
9	Piquete Cué	452587	7220341	7,74	4350	2871	110
10	Piquete Cué	452413	7220327	7,23	1700	1122	
33	Centro de Limpio	451515	7215890	8,15	1570	1036	
35	Ag. Paniagua	453220	7220400	6,95	78	51	120
36	Ag. Paniagua	451870	7220643	6,98	2800	1848	

En la tabla 15 se observan los pozos localizados en la compañía Rincón del Peñón, el pozo 1 es el único que se encuentra actualmente en desuso, los demás pozos siguen cumpliendo su labor de abastecimiento. De los diez pozos registrados, ocho son los que pasan los límites de potabilidad en cuanto a conductividad eléctrica y TDS.

#### 4.2 Discusión

En base a los antecedentes e investigaciones realizadas sobre la salinidad que afecta al Acuífero Patiño, se sabe que este suceso de salinización de sus aguas es un problema a que afecta mayormente a las zonas ribereñas del Río Paraguay, el cual se debe a la influencia de aguas provenientes del Chaco con alto contenido en sales, tratándose así de un proceso natural de salinización de acuíferos. Pero al tratarse de un acuífero con alta demanda de consumo, este proceso de salinización se ve acelerado presentando un impacto negativo a la sociedad.

Al tomar como referencia inicial la compañía de Piquete Cué en dirección al centro de la ciudad de Limpio, el agua presenta un descenso en la concentración de sales. Aproximadamente la concentración de agua salobre abarca la mayor parte de Piquete Cué hasta el barrio 15 de Agosto de la compañía Rincón del Peñón (Próximo

a la compañía Piquete Cué) y a partir de aquí en dirección al centro de la ciudad de Limpio, ya se encuentran pozos con agua que van desde dulces, dulces con alto TSD hasta salobres. La variación del tipo de agua ya se debe a la diferencia de profundidad de cada pozo y a la demanda que presenta cada uno de ellos. Es importante resaltar que varios pozos de la zona se encuentran sellados, los cuales tuvieron un promedio de vida útil de 5 a 6 años antes de ser afectados por la salinidad.

Con relación a los casos registrados de HTA, si nos ubicamos en la tabla 14 al no tomar en cuenta los casos registrados en el Hospital Distrital de Limpio, la USF Rincón del Peñón pasaría a tomar el primer puesto en los registros de casos nuevos de HTA, seguido de la USF Piquete Cué. La relación entre el tipo de agua y el número de casos registrados es un hecho muy llamativo que no puede pasarse por alto teniendo en cuenta que estas zonas presentan agua salobre y gran parte de esa población consume esa agua, ya sea a la hora de tomar (incluye la elaboración de hielo, jugos y tereré) sin percatarse del sabor que presenta debido a la costumbre, como también para la preparación de alimentos. De todo el municipio de Limpio, el área abarcada por la compañía Piquete Cué y la Compañía Rincón son las que presentan mayor riesgo a la salud por la calidad del agua que presentan.

El centro de la ciudad de Limpio presenta un predominio de agua dulce con alto TSD, pero teniendo en cuenta que en esta zona se concentra la mayor parte de la ciudadanía Limpeña, existen zonas donde el agua dulce con alto TSD presentan valores de C.E. por encima de los 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (presencia de sal) lo que da un sabor desagradable y bastante perceptible al agua. Un ejemplo de este hecho es el Pozo 14 de la Junta de Saneamiento del Centro de Limpio cuya medida de TSD sobrepasa los 400 ppm y presentando una C.E. de 787  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; este pozo se encarga de abastecer a la zona del Mercado municipal, donde se concentran la mayor parte de la actividad comercial. Aquí la concentración poblacional conlleva al aumento de la demanda de agua, sobre exigiendo la capacidad del pozo que lo abastece, produciendo que este empiece a captar el agua, que, por diferencia de densidad, se encuentra por debajo del agua dulce de la formación geológica.

También no se puede descartar la idea de que los altos niveles de TSD de las aguas puede deberse en parte a la contaminación antrópica, es decir, los desechos cloacales lanzados a la calle, la actividad de los negocios como talleres, estaciones de servicio o lavaderos, entre otros.

En cambio, la zona del distrito de Salado, existe un predominio de agua dulce dentro de los límites óptimos para el consumo humano, siendo esta una zona propicia para abastecimiento de la ciudadanía. Pero es importante recordar que probablemente existan zonas de agua salobre próximas al Río Salado teniendo en cuenta lo comentado por los pobladores del lugar.

A todo esto, es importante sumar que el proceso de salinización de un acuífero tarda muchos años si ocurre de forma natural pero la intervención inconsciente del hombre se encarga de acelerar procesos naturales como este. Culturalmente persiste el concepto de “abundancia” de agua subterránea y el no riesgo de su agotamiento, lo cual es reflejado por la proliferación de construcción de pozos artesianos y de menor profundidad para todo tipo de usos, (Monte R. & Baez J. 2007).

Hay que tomar en cuenta que el área del acuífero Patiño en la que se encuentra en el Distrito de Limpio es una zona con presencia de agua salobre proveniente del chaco, que al presentar mayor densidad que el agua dulce, queda por debajo de esta. El aumento de la demanda por encima de la capacidad de recarga del acuífero produce un ascenso de las aguas de mayor densidad las cuales pasan a ocupar los niveles de agua dulce que son captadas por los pozos de la zona.

La recuperación (desplazamiento de agua salada por agua dulce) del acuífero colapsado (saladas) es un proceso extremadamente lento, que puede durar varias décadas o siglos según experiencias registradas en diferentes países. (Proyecto Pas-Py 2012).

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusión**

Se logró cumplir con los objetivos trazados en este trabajo donde se obtuvo verificar el posible impacto a la salud debido al consumo de agua del acuífero Patiño en la población limeña tomando en cuenta que las aguas de Limpio son influenciadas por acuíferos chaqueños.

Se constató que las compañías de la ciudad próximas al Río Paraguay (Compañía Piquete Cué y Compañía Rincón del Peñón) concentran el mayor número de casos de HTA (Sin considerar los casos del HD de Limpio) constatando la relación con la calidad del agua de abastecimiento de la zona. A través de estos datos, se determinan que el área representa una zona de riesgo para la salud de la población que toma agua de estas localidades.

Comparando los tipos de agua según la cantidad de TSD presentes, la ciudad de Limpio cuenta con un 83% de agua dulce del cual un 81% es considerado agua dulce con alto TSD, y un 17% de agua salobre. A su vez acorde a los parámetros de potabilidad, la ciudad de Limpio cuenta con un 64% de agua dulce aptas para el consumo, un 22% de agua dulce con C.E. que sobrepasan los límites de potabilidad y un 14% de agua salobre no aptas para consumo, pero de igual forma la comunidad se abastece de ella.

Es importante tener en cuenta que los pozos de agua que se encuentran más alejados de la zona del río Paraguay son las que presentan una mejor calidad en sus aguas, como es el caso de los pozos de la Compañía Salado, en cambio, aquellos pozos



localizados en las zonas próximas al río, son los que presentan una menor calidad en sus aguas como lo son en el caso de la Compañía Piquete Cué y la Compañía Rincón.

## **5.2 Recomendaciones**

Al no haber podido abarcar en totalidad el área del Distrito de Limpio, es importante que este trabajo presente una continuidad, de manera a abarcar mayor escala en área estudiada, para determinar de forma más precisa la distribución de los tipos de agua presentes en la ciudad de Limpio.

Se debería realizar un análisis multitemporal sobre el avance de la salinidad en el distrito de Limpio y a la par el aumento de los casos de HTA de manera a tener más certeza de la influencia del agua en la salud de la población.

Se recomienda que las autoridades municipales estén al tanto de este suceso de modo a buscar otras alternativas de abastecimiento a la ciudadanía, principalmente en las zonas de Piquete Cué y Rincón del Peñón ya que presentan la mayor concentración de agua salobre en la ciudad y el mayor número de registros de HTA. Para ello es necesario considerar fuentes de alternativas de abastecimiento como el río o agua de lluvia.

No está demás decir que se podrían realizar investigaciones con bases experimentales acerca de la influencia del agua dulce-mineralizada en pacientes hipertensos. Es más, teniendo en cuenta que este trabajo consideró solamente a los pobladores con HTA, es importante ver si la calidad del agua influye también en los pobladores con otras afecciones relacionadas al consumo de la sal, pero ya sería una investigación del ámbito geológico y de la salud.

Este estudio nos da certeza que la población limeña debe saber acerca de qué tipo de agua consume, principalmente aquellos localizados en las zonas de riesgo sobre la calidad del agua de la ciudad, de manera a que tomen conciencia del riesgo que

puede causar el agua con altos niveles de sales y explicar en términos simples el riesgo que causa la sobre-explotación del acuífero que deriva en calidad de la salud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSCH A. 2001. Sobreexplotación de Acuíferos y Desarrollo Sostenible. Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería. España.
- CRESPO A. 2000. Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en el Paraguay. 105 Pág.
- CLIMA DE LIMPIO. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/paraguay/central/limpio-56809/>.
- CUSTODIO E. 1983. Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Ed. Omega S.A., Barcelona- España. 2350 Pág.
- EQUIPO UH. (2015, 23 enero). En Limpio, el agua está cada vez más Saladas y las aguateras no abastecen. Ultima Hora. Recuperado de <https://www.ultimahora.com/en-limpio-el-agua-esta-cada-vez-mas-salada-y-las-aguateras-no-abastecen-n866338.html>
- EQUIPO ABC. (2015, 22 enero). Agua de Limpio está cada vez más salada. Abc color. Recuperado de <https://www.abc.com.py/nacionales/agua-de-limpio-esta-cada-vez-mas-salada-1329232.html>
- FACETTI J. *et al.* 2017. Recientes Hallazgos en la Hidroquímica del Acuífero Patiño-Paraguay. XXXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Asunción, Paraguay.
- FIGUEREDO C. 2007. Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción. Informe Técnico 2.2. 12 Pág.
- GADEA M. 2017. Determinación de los Niveles de Salinidad del Acuífero Patiño. Tesis de Maestría. San Lorenzo. Universidad Nacional de Asunción.
- GODOY E.& PAREDES J. *Sin año de publicación.* Acuíferos Potenciales del Paraguay. DRH/BGR. Casilla de Correo 984/273. Filadelfia-Chaco. Paraguay.
- GOMEZ, D., 1991. Consideraciones morfoestructurales y estratigráficas de la antiforma de Asunción y su relación con la exploración de aguas subterráneas. 1er Simposio sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay. Casa de la Cultura, Asunción. Paraguay.

- GONZÁLEZ M. & BARTEL, W. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000: Hoja Paraguairí 5469. MOPC-BGR. Texto Explicativo Asunción Paraguay.
- IRATA R. & FOSTER S. 1991. Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas. Programa Regional de Prevención y Control de la Contaminación de Agua Subterráneas. Organización Mundial de La Salud Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente CEPIS. Lima Perú.
- JARA S. *et al.* 2015. Relatorio de Impacto Ambiental. Proyecto “Constitución y Puesta en Funcionamiento de la Sede Central, Administrativa. Talleres y Depósitos H. Petersen. Limpio. Paraguay.
- JEROZOLIMSKI T. & GAAL R. 2007. Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción. Informe Técnico 2.13. 82 Pág.
- JOHNSON DIVISION UOP INC. 1997. El agua subterránea y los pozos. 1era Ed. Saint Paul, Minnesota 55165. USA
- LARROZA F. 2002. Exploração de Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Chaco Paraguaio. Tese de Doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo.
- LEY N° 3239/ DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL PARAGUAY. Disponible en <http://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2724/de-los-recursos-hidricos-del-paraguay>
- LEY GENERAL DEL MARCO REGULATORIO Y TARIFARIO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO. Ley N° 1.614/2000
- Reglamento de Calidad en la Prestación del Servicio Permisarios.
- MAPAS TEMÁTICOS SOBRE EL MERCADO DE TRABAJO, DEPARTAMENTO CENTRAL. 2015. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.
- MONTE R, & BÁEZ J. 2007. Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de aguas subterráneas en el área metropolitana de Asunción (Acuífero Patiño). Informe Técnico 2.11. 156 Pág.
- MUNICIPALIDAD DE LIMPIO 2001. Plan de desarrollo comunal de la ciudad de Limpio. 112 Pág.
- PROYECTO PAR 83/005. 1986. Mapa Geológico del Paraguay. PNUD – MDN, Mapa Escala 1:1.000.000. Texto Explicativo. 93pág. PROYECTO PAR 83/005. 1986. Mapa Hidrogeológico de la República del Paraguay. PNUD, Mapa Escala 1:1.000.000. Texto Explicativo.

SEAM. 2012. Investigación del Acuífero Patiño. Distrito de Benjamín Aceval, Departamento de Presidente Hayes. Informe Técnico. Proyecto Manejo sostenible y Protección de las aguas Subterráneas en Paraguay (PAS-PY). 49 Pág. 134-135.

SOLIS E. 2015. Relatorio de Impacto Ambiental: 6 tramos viales a pavimentar. Ecorregión Litoral Central. Pág 7-8.

## ANEXOS

### A2 Solicitud de Datos al Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA)

Asunción, 27 de Agosto de 2019.

*Sra Ing. Sara Inés López de Caballero*  
**DIRECTORA GENERAL**  
*Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental*

Presente

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para manifestar mi interés en acceder a los datos con que cuenta su institución acerca de las Juntas de Saneamiento localizadas en la ciudad de Limpio, como así datos de análisis físico-químico de los pozos de agua localizadas en dicha ciudad. Dichos datos serán utilizados para la realización de un Trabajo Final de Grado, requisito para acceder al título de Lic. en Ciencias mención Geología de la FACEN - UNA, en el mismo se investigará sobre la salinidad del Acuífero Patiño, el cual posee un gran valor para toda la ciudad de Limpio, de manera a elaborar posteriormente planes de acción para contrarrestar la salinización del acuífero beneficiando a toda la comunidad de Limpio.

Agradeciéndole la colaboración que pueda prestar para la efectiva realización de ésta actividad, se despide de usted.

Atentamente

*Selena V.C.*



**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**  
C.I: 5.281.164

<b>SENASA</b> <b>MESA DE ENTRADA UNICA</b>	
Exp. N°.....	3579
Fecha.....	27 AGO. 2019
Firma:.....	padc Hora: 10:31


Contactos: (0982) 372-459  
selevaldez96@gmail.com

(021) 448.408  
SENASA

**A2. Solicitud de Datos al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.**

	<b>Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	<b>GOBIERNO NACIONAL</b>
<b>Departamento de Mesa de Entrada ( SG )</b>		
Fecha: 08/10/2019	<b>Número de expediente</b> <b>SGDME - 12332/2019</b> Código de Verificación: J34NA5	
Hora: 09:51		
Número interno: Sin número		
Encargado: Guillermo Eladio Franco Aquino		
Título: PRESENTA NOTA SOLICITANDO DATOS SOBRE EL ACUÍFERO PATIÑO, PERFILES DE POZOS REGISTRADOS EN LA CIUDAD DE LIMPIO		
Remitente: RUTH SELENA VALDEZ CANDIA		
Cargo:		
Entidad:	<small>Verifique el estado de su documento online, ingrese al portal institucional en la siguiente dirección: <a href="http://www.seam.gov.py">www.seam.gov.py</a></small>	

Atentamente

  
**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

Contactos: (0982) 372-459  
Selevaldez96@gmail.com

### A3. Solicitud de datos a la Junta de Saneamiento de Rincón del Peñón

Asunción, 18 de Octubre de 2019.

**Sr. Oscar Miskilich**  
**PRESIDENTE**  
**Junta de Saneamiento, Rincón del Peñón**

Presente

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para manifestar mi interés en acceder a tomar muestras de agua de los pozos pertenecientes a la junta, dichas muestras serán de utilidad para la realización de un Trabajo Final de Grado, requisito para acceder al título de Lic. en Ciencias mención Geología de la FACEN - UNA, en el mismo se investigará sobre la salinidad del Acuífero Patiño, el cual posee un gran valor para toda la ciudad de Limpio, de manera a elaborar posteriormente planes de acción para contrarrestar la salinización del acuífero beneficiando a toda la comunidad de Limpio.

Agradeciéndole la colaboración que pueda prestar para la efectiva realización de ésta actividad, se despide de usted.

Atentamente



17/10/19



**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

Contactos: (0982) 372-459  
selevaldez96@gmail.com



Scanned with  
CamScanner



#### A4. Solicitud de datos a la Aguatería Paniagua.

Asunción, 18 de Octubre de 2019.

*Sr. Julio Paniagua Vázquez*  
**PROPIETARIO**  
*Aguatería Paniagua*

Presente

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para manifestar mi interés en acceder a los datos de los pozos de agua con los que cuenta la empresa, como así los análisis físico-químicos de dichos pozos (específicamente conductividad eléctrica, cantidad de sólidos disueltos, cantidad de cloruros presentes y pH), también manifiesto mi interés en acceder a la toma de muestras de agua de los pozos de la empresa. Dichos datos serán de utilidad para la realización de un Trabajo Final de Grado, requisito para acceder al título de Lic. en Ciencias mención Geología de la FACEN - UNA, en el mismo se investigará sobre la salinidad del Acuífero Patiño, el cual posee un gran valor para toda la ciudad de Limpio, de manera a elaborar posteriormente planes de acción para contrarrestar la salinización del acuífero beneficiando a toda la comunidad de Limpio.

Agradeciéndole la colaboración que pueda prestar para la efectiva realización de ésta actividad, se despide de usted.

Atentamente



**AGUATERIA PANIAGUA**  
Sistema Privado de Agua Corriente  
Tel.: (0985) 773.273 - Limpio, Py

*Ruth Selena Valdez Candia*  
**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**

Contactos: (0982) 372-459  
selevaldez96@gmail.com



Scanned with  
CamScanner

**A5. Solicitud de datos al Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN).**

Asunción, 27 de agosto de 2019.

**Sra. Ec. Cristina Solana Muñoz**  
**PRESIDENTA**  
**Ente Reguladora de Servicios Sanitarios**

Presente

Tengo el agrado de dirigirme a usted, con la intención de solicitar los datos con que cuenta su institución sobre las aguatarias presentes en la ciudad de Limpio como así de las Juntas de Saneamiento localizadas en dicha ciudad, los análisis físico-químicos practicados en los pozos de las aguatarias y Juntas, a la vez de una autorización por parte del ente para la toma de muestras de agua para análisis de conductividad eléctrica, dichos datos serán utilizados para la realización de un Trabajo Final de Grado, requisito para acceder al título de Lic. en Ciencias mención Geología de la FACEN - UNA, en el mismo se investigará sobre el grado de salinidad del Acuífero Patiño, el cual posee un gran valor para toda la ciudad de Limpio, de manera a elaborar posteriormente planes de acción para contrarrestar la salinización del acuífero beneficiando a toda la comunidad de Limpio.

Agradeciéndole la colaboración que pueda prestar para la efectiva realización de ésta actividad, se despide de usted.

Atentamente

*Seleu V.C.*

**RUTH SELENA VALDEZ CANDIA**  
C.I: 5.281.164



ENTE REGULADOR DE SERVICIOS SANITARIOS	
<b>ERSSAN</b>	
MESA DE ENTRADA	
Nota N° <input type="checkbox"/>	Fecha <b>27, 08 19</b>
Exp. N° <input checked="" type="checkbox"/> <b>15.10</b>	FELICITA VARGAS
UNIDAD DE ATENCIÓN AL PÚBLICO	
Firma	

Contactos: (0982) 372-459  
selevaldez96@gmail.com