

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Escuela de Ingeniería Civil



**Informe técnico final: Propuestas para la
remoción de arsénico y nitritos del agua de
bebida de la comunidad rural de Colonia Las
Pichanas, provincia de Córdoba**

Agustina Krapp

Dr. Ing. Franco M. Francisca (tutor interno)
Dra. Inga. Magalí E. Carro Pérez (tutora externa)

Córdoba, Marzo de 2015

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Franco Francisca, al Dr. Marcos Montoro y a la Dra. Magalí Carro Pérez, a quienes admiro profundamente por su dedicación y entrega, por su excelencia profesional y por su calidad humana. Por todo el tiempo que me dedicaron y su paciencia, sus críticas y sus enseñanzas. Por creer en mí. Por ser ejemplos de motivación y modelos a seguir como profesionales.

A Lali y a Jose, pilares fundamentales a lo largo de la carrera y mi familia en Córdoba. Sin ellas el camino hubiera sido muy árido.

A todos aquellos compañeros y amigos con los que compartí recreos, cafés en el patio, horas de estudio y diversión. A aquellos profesores que lograron transmitirme inspiración además de conocimientos.

A mi mamá, por todo. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud y admiración hacia ella.

Córdoba, Argentina, marzo del año 2015.

Agustina Krapp

RESUMEN

En este trabajo se analizó el agua subterránea de la localidad Colonia Las Pichanas y se evaluaron los factores fisicoquímicos y microbiológicos más relevantes, encontrando arsénico y nitritos en el agua de bebida. Se tuvo especialmente en cuenta el contexto geográfico y socioeconómico de la localidad y se relevó información sobre el grado de concientización que tiene su población sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo. También se realizaron actividades para interactuar con dicha población a los fines de transmitirles la importancia de esta problemática en la calidad de vida.

A partir del estudio de antecedentes y análisis de material bibliográfico, se propusieron alternativas tecnológicas y sustentables para la remoción del arsénico y nitritos en el agua de bebida. Se modeló la red de agua potable actual y futura de Colonia Las Pichanas en un programa computacional y se ejecutaron ensayos de laboratorio para evaluar la eficacia de las alternativas propuestas.

Para el abatimiento del arsénico se planteó el empleo de un filtro domiciliario, como una alternativa económica y viable. En primer lugar, porque se propuso el empleo de un material filtrante de bajo costo, de carácter natural, sin alteración alguna y al alcance de cualquier persona, que permite reducir la concentración de As en el agua de bebida, sin alterar ninguna de las demás propiedades fisicoquímicas, bacteriológicas ni organolépticas del agua. En segundo lugar, porque la facilidad en la construcción y en el montaje del filtro propuesto favorece el uso y mantención por parte de usuarios sin necesidad de capacitación especial.

Para la remoción de nitritos se proyectó un sistema de cloración, atendiendo a la situación particular y a los condicionantes locales, procurando la máxima sencillez y eficacia posible. El mismo está compuesto por un dosificador de cloro y un tanque elevado que permita asegurar el tiempo de contacto necesario entre el agua y el cloro.

Ambas alternativas contribuyen a mejorar la calidad del agua de bebida, son sencillas y aplicables tanto a Colonia Las Pichanas como a localidades vecinas, debido a la similitud en la situación social, económica y cultural de dichas poblaciones.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN.....	2
ÍNDICE.....	3
CAPÍTULO 1: MARCO DEL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA.....	13
1.1.- Ámbito del desarrollo de la Práctica Supervisada	13
1.2.- Objetivos de la Práctica Supervisada	14
1.3.- Actividades desarrolladas durante la Práctica Supervisada.....	15
1.4.- Aplicación de conocimientos de materias cursadas en la carrera de Ingeniería Civil en la Práctica Supervisada	15
1.5.- Organización de este informe	16
CAPÍTULO 2: COLONIA LAS PICHANAS. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y SOCIOECONÓMICO	17
2.1.- Contexto geográfico.....	17
2.1.1.-Ubicación.....	17
2.1.2.- Geomorfología y geología	18
2.1.3.- Clima.....	19
2.2.- Contexto socioeconómico.....	19
2.3.-Escenario social que da origen a este trabajo	22
2.4.- Relevamiento de información sobre el grado de concientización de la población de Colonia Las Pichanas sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo.....	23
2.4.1.-Confeción de una encuesta	23
2.4.2.-Análisis de los resultados	24
2.4.3.-Síntesis de los resultados de la encuesta.....	31
2.5.- Preparación de una charla-taller expuesta en la Escuela “Congreso de Tucumán”	31
2.6.- Muestreo y análisis del agua de consumo	33
2.6.1.- Puntos monitoreados	34
2.6.2.- Resultados obtenidos	35
2.6.3.- Interpretación de los resultados	38

*Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba*

2.7.- Problemas a resolver	40
2.8.- Justificación de la importancia de este trabajo	40

**CAPÍTULO 3: INFLUENCIA DEL ARSÉNICO Y LOS NITRITOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE
BEBIDA**

41	41
3.1.- Introducción.....	41
3.2.-Arsénico.	41
3.2.1.-Descripción y caracterización	41
3.2.2.- Presencia de arsénico en el ambiente.	42
3.2.3.- Problemática del As	43
3.2.4.- Efectos sobre la salud	44
3.2.5.- Límites admisibles de concentraciones de arsénico en agua de consumo	45
3.2.6.- Métodos de remediación.....	46
3.3.-Nitritos.	46
3.3.1.-Descripción y caracterización	46
3.3.2.- Presencia del nitrógeno en el ambiente	47
3.3.3.- Efectos sobre la salud	51
3.3.4.- Límites admisibles de concentraciones de nitritos en agua de consumo	51
3.3.5.- Métodos de remediación.....	51
3.4.-Cloración	52
3.4.1.-Introducción	52
3.4.2.-Factores que influyen en la eficacia del método	53
3.4.3.- Límites admisibles de concentraciones de cloro en agua de consumo	53
3.4.4.- Productos del cloro disponibles y sus propiedades	53
3.4.5.- Sistemas de dosificación	54
3.4.6.- Consideraciones para la elección producto de cloro a emplear y del sistema de dosificación	61
3.5.-Síntesis	62

**CAPÍTULO 4: FILTRO NATURAL DE BAJO COSTO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL
AGUA DE COLONIA LAS PICHANAS**

4.1.- Introducción.....	63
-------------------------	----

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

4.2.- Principio de funcionamiento del dispositivo casero de remoción de arsénico propuesto	63
4.3.- Trabajo de laboratorio	65
4.3.1.- Material reactivo	65
4.3.2.- Técnicas empleadas para la determinación de concentraciones de arsénico	67
4.3.3.- Ensayos de adsorción batch	74
4.3.4.- Ensayos de adsorción batch empleando hidróxidos dobles laminares (HDLs) como material adsorbente	77
4.3.5.- Ensayo de columna	83
4.3.6.- Montado y ensayo del filtro comercial	86
4.3.7.- Montado y ensayo de filtro diseñado por estudiantes de Diseño Industrial de la FAUDI - UNC	91
4.4.- Síntesis y conclusiones	95

CAPÍTULO 5: REMOCIÓN DE NITRITOS MEDIANTE CLORACIÓN AL AGUA DE COLONIA LAS PICHANAS97

5.1.- Introducción.....	97
5.2.- Parámetros de diseño..	97
5.2.1.- Período de diseño	97
5.2.1.- Población a abastecer	97
5.2.3.- Dotación.....	99
5.3.- Caudal de diseño.....	99
5.4.-Red de distribución de agua de Colonia Las Pichanas	99
5.5.- Sistema de cloración propuesto	103
5.5.1.- Tanque elevado	104
5.5.2.- Dosificación necesaria.....	108
5.5.3.- Inyector Venturi	132
5.5.4.- Planos y detalles	142
5.6.- Cómputo y presupuesto de la alternativa propuesta	142
5.7.- Síntesis y conclusiones	143

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	145
6.1.- Conclusiones	145
6.2.- Recomendaciones para la continuación de este trabajo	146
ANEXO	147
Plano General del Sistema de Cloración propuesto para Colonia Las Pichanas	148
Casilla de cloración - Corte	149
Casilla de cloración – Planta	150
Detalle tanque elevado	151
Detalle inyector Venturi, modelo 784 marca Mazzei.....	152
BIBLIOGRAFÍA.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Ubicación de Colonia Las Pichanas (Google Earth, 2014)	17
Figura 2.2: Pampa loessica plana (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003)	18
Figura 2.3: Paisaje de Colonia Las Pichanas	20
Figura 2.4: Colonia Las Pichanas: (1) Puesto policial; (2) Instalaciones de la Escuela “Congreso de Tucumán”; (3) Casa comunal/Dispensario (Google Earth, 2014)	20
Figura 2.5: Calle principal de Colonia Las Pichanas. A la derecha, la casa comunal	21
Figura 2.6: Escuela “Congreso de Tucumán”	21
Figura 2.7: Vehículos adquiridos por la comuna para trasladar alumnos y docentes a la escuela.	22
Figura 2.3: Lugares de residencia: (1) En la comuna; (2) A menos de 5 km de la comuna; (3) Entre 5 y 10 km de distancia de la comuna; (4) Entre 10 y 15 km de distancia de la comuna; (5) A más de 15 km de la comuna	25
Figura 2.4: Tiempo de residencia: (1) Menor a 5 años; (2) Entre 5 y 15 años; (3) Mayor a 15 años	25
Figura 2.5: Fuente de agua empleadas en actividades cotidianas: (a) Bebida, (b) Cocinar, (c) Aseo, (d) Lavado, limpieza y riego, (e) Animales.....	28
Figura 2.6: Parámetros sobre la calidad del agua (a) Sabor extraño en el agua del pozo surgente (b) Olor extraño en el agua del pozo surgente (c) Coloración extraña en el agua del pozo surgente (d) Impurezas notables a simple vista en el agua del pozo surgente	29
Figura 2.7: Calidad del agua del pozo surgente según los consumidores.	29
Figura 2.8: Conocimiento de la presencia de algún contaminante en el agua del pozo surgente.	30
Figura 2.9: Precedentes de algún tipo de cáncer, enfermedad hereditaria o crónica	30
Figura 2.10: Charla-taller expuesta en la Escuela “Congreso de Tucumán”	32
Figura 2.11: Procedimiento previo a la extracción	33
Figura 2.12: Obtención de una muestra	34
Figura 2.13: Colonia Las Pichanas, (1) Boca de pozo, (2) Pico comunal, (3) Última casa servida por la red, (4) Casa comunal, (5) Instalaciones de la Escuela “Congreso de Tucumán”, (6) Destacamento policial. (Google Earth, 2014)	35

Figura 3.1: Distribución geográfica del suelo loessico en la Argentina y en la provincia de Córdoba (Las flechas indican la dirección del flujo de las aguas subterráneas). (Francisca y Carro Pérez, 2009).....	44
Figura 3.2: Ciclo del nitrógeno (Miller, 1994)	49
Figura 3.3: Sistema de tanque con válvula flotador (Organización Panamericana de la Salud, 2007)	55
Figura 3.4: Sistema de tubo con orificio en flotador (OPS, 2007).....	56
Figura 3.5: Dispositivo vaso/botella (OPS, 2007).....	56
Figura 3.6: Hipoclorador de diafragma de desplazamiento positivo alimentando una tubería a presión (OPS, 2007).....	57
Figura 3.7: Esquema de operación del Venturi (OPS, 2007).....	57
Figura 3.8: Operación de un dosificador de tabletas de hipoclorito de calcio (OPS, 2007)	58
Figura 3.9: Elementos del hipoclorador de flujo difusión (OPS, 2007)	59
Figura 4.1: Modelo de un sistema de adsorción (EPA, 2002)	64
Figura 4.2: Ubicación del sitio de extracción del material para filtro	65
Figura 4.3: Ubicación del sitio de extracción del material para filtro.....	66
Figura 4.4: Curva granulométrica del material ensayado.....	67
Figura 4.5: Test kit QUANTOFIX [®] Arsénico 10.	68
Figura 4.6: Metodología de uso del Test kit QUANTOFIX [®] Arsénico 10.	69
Figura 4.7: Curva de calibración polinómica.....	72
Figura 4.8: Curva de calibración lineal.....	72
Figura 4.9: Esquema de un arreglo FIAS típico. M: muestra; R: reductor; A:portador; BP: Sistema de bombas peristálticas; VI: valvula de inyección; Ar: Argon; Ri: rizo de reacción; S: separador gas-liquido; D: Desecho	73
Figura 4.10: Agitador termomagnético y matraz con la solución ensayada.....	75
Figura 4.11: Centrifugadora de mesa	75
Figura 4.12: Curva de calibración polinómica.....	76
Figura 4.13: Porcentaje de remoción de As.....	76
Figura 4.14: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Concentración final	79
Figura 4.15: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Remoción.	80
Figura 4.16: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Variación de concentración	80

Figura 4.17: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Concentración final.....	81
Figura 4.18: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Remoción	82
Figura 4.19: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Variación de concentración.....	82
Figura 4.20: Columna de acrílico para ensayos de filtro	84
Figura 4.216: Columna ensayada.....	84
Figura 4.22: Ensayo de filtro	86
Figura 4.23: Componentes del filtro comercial Cole-Parmer	87
Figura 4.24: Remoción de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente.....	88
Figura 4. 25: Concentración final en función del tiempo para filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente	88
Figura 4.26: Porcentaje de remoción de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente	89
Figura 4.177: Concentración final de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente.....	89
Figura 4.28: Render del filtro diseñado por estudiantes de grado de Diseño Industrial.....	91
Figura 4.189: Prototipo construido por estudiantes de Diseño Industrial	92
Figura 4.30: Componentes del prototipo.....	92
Figura 4.31: Compartimento superior con suelo reactivo.....	93
Figura 4.32: División con microperforaciones para permitir el paso del agua	93
Figura 4.33: Pieza hiperbólica sobre la que se instala un bidón de agua	94
Figura 4.34: Placa circular con perforaciones y canaletas	94
Figura 4.35: Porcentaje de remoción de arsénico en función del tiempo para prototipo ensayado	95
Figura 5.1: Esquema de la red actual de distribución de agua de Colonia Las Pichanas	102
Figura 5.2: Esquema de la red de distribución de agua de Colonia Las Pichanas al final del período de diseño	102
Figura 5.3: Red modelada en EPANET para el inicio del período de diseño.....	106
Figura 5.4: Red modelada en EPANET para el final del período de diseño	107
Figura 5.5: Red modelada en EPANET para el inicio del período de diseño. En rojo, los puntos monitoreados.....	111

Figura 5.6: Red modelada en EPANET para el final del período de diseño. En rojo, los puntos monitoreados.....	112
Figura 5.7: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	113
Figura 5.8: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$) ...	114
Figura 5.9: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	115
Figura 5. 10: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	116
Figura 5. 11: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	117
Figura 5.12: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$) .	118
Figura 5.13: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	119
Figura 5.14: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	120
Figura 5.15: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	121
Figura 5.16: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$) .	122
Figura 5. 17: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo O ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	123
Figura 5.18: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	124
Figura 5.19: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	125
Figura 5. 20: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	126
Figura 5.21: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$) .	127
Figura 5.22: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo O ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)	128
Figura 5.23: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	129
Figura 5.24: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	130

Figura 5.25: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo 0 ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)	131
Figura 5.26: Esquema simplificado de un inyector Venturi	132
Figura 5.27: Esquema de la sección transversal de un inyector Venturi típico	133
Figura 5.28: Esquema básico de instalación de un inyector Venturi: 1) Válvula de regulación; 2) Válvula de compuerta; 3) Válvula de retención; 4) Inyector Venturi; 5) Filtro.....	133
Figura 5.29: Modelo comercial con accesorios (Mazzei)	134
Figura 5.30: Inyector instalado en paralelo (Mazzei, 2014)	135
Figura 5.31: Inyector instalado en la conducción principal (Mazzei, 2014)	135
Figura 5.32: Inyector instalado en paralelo con bomba elevadora (Mazzei, 2014)	136
Figura 5.33: Casilla de inspección donde se instalará el inyector Venturi.....	136
Figura 5.34: Inyectores posibles de la marca Mazzei para Colonia Las Pichanas (Mazzei Inyector Selector, 2014)	140
Figura 5.35: Kit de succión (Mazzei, 2014)	141
Figura 5.36: Esquema de instalación de válvula dosificadora (Mazzei, 2014)	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Fuentes de agua empleadas habitualmente.....	26
Tabla 2.2: Resultados de los muestreos de agua realizados en el año 2012.....	36
Tabla 2.3: Resultados de los muestreos de agua realizados en el año 2013.....	37
Tabla 2.4: Resolución 608/93 de la Di.P.A.S.	38
Tabla 3.1: Propiedades de los productos del cloro (Organización Panamericana de la Salud, 2007)	54
Tabla 3.2: Atributos de los dosificadores (OPS, 2007)	59
Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de los distintos métodos de dosificación (OPS, 2007)	60
Tabla 4.1: Ficha de extracción del material a ser utilizado.....	65
Tabla 4.2: Valores empleados para graficar la curva de calibración	71
Tabla 4.3: Primera serie de ensayos batch con LDHs. Técnica de medición: Test kit QUANTOFIX [®] Arsénico 10.....	79
Tabla 4. 4: Segunda serie de ensayos batch con LDHs. Técnica de medición: <i>espectroscopia de absorción atómica</i>	81
Tabla 4.5: Resultados de los ensayos de columna.....	85
Tabla 4.6: Filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente	88
Tabla 4.7: Filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente	89
Tabla 4.8: Resultados del ensayo del prototipo	95
Tabla 5.1: Población Dpto San Justo, Córdoba (INDEC)	98
Tabla 5.2: Coeficientes de caudal (ENOHSA)	100
Tabla 5.3: Comparación entre coeficientes de pico para Colonia Las Pichanas según distintos criterios	100
Tabla 5. 4: Presiones en la red para distintas alturas del tanque elevado, al inicio del período de diseño. En rojo, los valores que no verifican la presión mínima.	106
Tabla 5.5: Presiones en la red para distintas alturas del tanque elevado, al final del período de diseño. En rojo, los valores que no verifican la presión mínima	107
Tabla 5.6: Resultados de ensayos realizados con cloro.....	109
Tabla 5.7: Datos necesarios para la determinación del modelo de inyector	137

CAPÍTULO 1: MARCO DEL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

1.1.- Ámbito del desarrollo de la Práctica Supervisada.

La Práctica Profesional Supervisada se ha llevado a cabo por la alumna desarrollando distintas actividades relacionadas con la actividad profesional de la Ingeniería Civil, en el Centro de Vinculación de Ingeniería GeoAmbiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos, en el cual, además, se ha desempeñado como ayudante de investigación desde mediados del año 2011.

Las tareas llevadas a cabo responden al estudio y propuesta de alternativas para mejorar la calidad del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, situada en el noreste de la provincia de Córdoba.

Algunas de estas tareas se realizaron en el marco de dos proyectos de extensión universitaria, por los cuales la alumna recibió dos becas para su desarrollo. Las mismas fueron otorgadas por la Secretaría de Extensión Universitaria y por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba. El primero de los proyectos fue titulado “Propuesta de implementación de un filtro natural de bajo costo para el abatimiento de arsénico en el agua de bebida de Colonia Las Pichanas - Córdoba”. El mismo surgió debido a la inquietud por la presencia de una elevada concentración de arsénico en el agua de consumo de la localidad, expresada por parte del jefe comunal de Colonia Las Pichanas a los miembros del Centro de Vinculación de Ingeniería GeoAmbiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos. En los últimos años, los miembros de este centro han llevado a cabo trabajos en procesos de remediación de arsénico en agua a través de adsorción en geo-materiales, y este proyecto significó una oportunidad de articulación de acciones entre este grupo científico-técnico y un grupo poblacional concreto. El segundo proyecto, “Mejoramiento del diseño de filtros lentos de remoción de arsénico como productos de consumo de la población rural dispersa”, surgió como continuación del anterior.

A raíz del trabajo iniciado en Colonia Las Pichanas, se detectó otra problemática a tratar. En los muestreos de agua realizados pudo observarse también la presencia de nitritos en una concentración mayor a los límites permitidos por las normativas vigentes. Es por ello

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

que en este trabajo se presentan también tareas realizadas con el fin de buscar una solución a este otro problema.

1.2.- Objetivos de la Práctica Supervisada.

Entre los objetivos de la Práctica Profesional Supervisada se pueden nombrar los siguientes:

- Proponer alternativas tecnológicas y sustentables que permitan mejorar la calidad del agua de bebida de los pobladores de Colonia Las Pichanas, y en consecuencia, su calidad de vida.
- Monitorear el agua subterránea de la localidad para evaluar el comportamiento de los factores fisicoquímicos y microbiológicos más relevantes desde el punto de vista de la salud del consumidor.
- Relevar información sobre el grado de concientización que tiene la población de Colonia Las Pichanas sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo.
- Orientar a los miembros de la Comuna de Colonia Las Pichanas en los aspectos relevantes de la calidad del agua de consumo, los tratamientos aplicables al agua y los recaudos que deben tomarse para garantizar la disponibilidad de agua segura para bebida.
- Interactuar con la comunidad educativa de la localidad, como grupo responsable de concientizar a la misma, sobre la importancia de la calidad del agua de bebida, en relación a la presencia de arsénico, sus efectos sobre la salud y las implicancias en su calidad de vida.

A nivel de la formación personal de la alumna, como futura profesional de la ingeniería civil, pueden mencionarse los siguientes objetivos:

- Interactuar con un grupo de trabajo interdisciplinario, conformado por ingenieros civiles y profesionales de las ramas de la química y la biología.
- Analizar e interpretar correctamente los problemas a resolver y los impactos de los mismos.
- Afianzar y ampliar los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera y aprender a aplicarlos en un ámbito profesional de trabajo.
- Desarrollar criterios para la solución de diversos problemas propios de la actividad profesional.

1.3.- Actividades desarrolladas durante la Práctica Supervisada.

Durante el desarrollo de la Práctica Profesional se han encomendado a la alumna las siguientes tareas:

- Estudio de antecedentes.
- Análisis de material bibliográfico.
- Realización de reuniones e instancias de intercambio con el jefe comunal y empleados administrativos de la localidad de Colonia Las Pichanas.
- Visitas a la localidad de Colonia Las Pichanas, junto con miembros del Centro de Vinculación de Ingeniería GeoAmbiental, Medios Porosos y Flujos Subterráneos, con el fin de tomar muestras de agua.
- Ejecución de ensayos de laboratorio. Para modelar el funcionamiento del filtro propuesto para la remoción de arsénico del agua de bebida, se realizaron ensayos de adsorción batch y de columna, y se montaron y ensayaron dos prototipos de filtro. Para estudiar el tratamiento de los nitritos, se midió el poder de remoción de soluciones con distintas concentraciones de cloro.
- Presentación de resultados y elaboración de informes.
- Confección de una encuesta, interpretación de los resultados obtenidos y elaboración de conclusiones sobre los mismos.
- Preparación de una charla-taller para ser expuesta ante la comunidad educativa de Colonia Las Pichanas.
- Cálculo y modelación de la red de agua potable actual y futura de Colonia Las Pichanas.
- Propuesta de un sistema de tratamiento para eliminar los nitritos del agua de bebida.
- Presupuesto de la alternativa de tratamiento recomendada.
- Simulación hidráulica en el software EPANET para observar la evolución de cloro añadido a la red de agua de Colonia Las Pichanas.

1.4.- Aplicación de conocimientos de materias cursadas en la carrera de Ingeniería Civil en la Práctica Supervisada.

Para llevar a cabo las tareas requeridas se han utilizado los conocimientos adquiridos en diversas materias cursadas a lo largo de la carrera.

La asignatura Química Aplicada, dictada en el primer año, fue de gran utilidad a la hora de realizar ensayos de laboratorio, en lo referido a preparación de soluciones y cálculos de concentraciones.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Geotecnia I y Geotecnia II, de segundo y tercer año respectivamente, aportaron conocimientos sobre las características y comportamiento a evaluar del geomaterial empleado en los ensayos de adsorción de arsénico realizados.

La materia Hidrología y Procesos Hidráulicos, de cuarto año, aportó conceptos sobre los distintos tipos de acuíferos y sus comportamientos.

Ingeniería Ambiental, del último año de la carrera, fue de gran aplicación. Conceptos básicos, dictados al inicio de la asignatura, permitieron comprender los procedimientos empleados en los muestreos de agua realizados y la interpretación correcta de los resultados de los mismos. La teoría debida al ciclo del nitrógeno permitió entender la presencia de nitritos. Los conceptos de cinética de reacciones permitieron realizar una simulación hidráulica para observar la reacción del cloro añadido con el agua de bebida de Colonia Las Pichanas.

Para realizar el cálculo y modelación de la red de distribución de agua potable de Colonia Las Pichanas, se aplicaron conocimientos obtenidos en las asignaturas de tercer y quinto año, Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Sanitaria, a saber, conceptos sobre redes de malla abierta y ecuaciones básicas de la hidráulica.

1.5.- Organización de este informe.

El presente informe está constituido por seis capítulos, reseñados a continuación.

En el presente capítulo, se describe el proyecto que dio origen a la Práctica Profesional Supervisada y las actividades realizadas por la alumna.

En el Capítulo 2 se presenta una descripción de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, contraparte de este proyecto. Se analiza su contexto geográfico y socioeconómico y se relatan las actividades realizadas en dicha comuna.

En el Capítulo 3 se aborda las problemáticas del arsénico y los nitritos en las aguas subterráneas y su impacto en la calidad de vida de las personas expuestas a su consumo. Para ambas cuestiones, se comentan y analizan los posibles métodos de remediación.

En el Capítulo 4 se describe la metodología de trabajo seguida para evaluar la eficacia de un dispositivo de filtrado domiciliario de remoción de arsénico como vía de solución a este problema.

En el Capítulo 5 se propone la cloración como alternativa para remover los nitritos del agua de Colonia Las Pichanas. Se definen los parámetros a considerar y se caracteriza el funcionamiento del sistema propuesto.

Finalmente, el Capítulo 6 presenta una síntesis de las principales conclusiones de este trabajo final.

CAPÍTULO 2: COLONIA LAS PICHANAS. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y SOCIOECONÓMICO.

2.1.- Contexto geográfico.

2.1.1.-Ubicación.

La localidad de Colonia Las Pichanas está situada en el departamento San Justo, en el noreste de la provincia de Córdoba. (Figura 2.1)



Figura 2.1: Ubicación de Colonia Las Pichanas (Google Earth, 2014)

Se encuentra ubicada sobre la ruta provincial N° 158 y dista de la Ciudad de Córdoba aproximadamente 200 km. El viaje para llegar hasta allí dura alrededor de tres horas. Se transita camino asfaltado hasta la localidad de La Tordilla, atravesando las localidades de Montecristo, Río Primero, Arroyito y San Francisco. A partir de La Tordilla y hasta Colonia Las Pichanas, el camino es de tierra, lo que pone en evidencia la necesidad de camionetas 4x4 para los moradores de la zona debido a lo complicado que resulta transitar estos caminos durante o después de una lluvia o tormenta.

2.1.2.- Geomorfología y geología.

Colonia Las Pichanas pertenece a la región natural denominada “pampa loessica plana”, la cual constituye la parte central de la llanura cordobesa (Figura 2.2). El relieve es marcadamente plano, con pendientes regionales hacia el Este, que no superan el 0,5% de gradiente.

Los materiales son predominantemente de naturaleza eólica (loésicos) aunque en partes retrabajados por agua. Los derrames de los ríos Suquía, Xanaes y Ctalamochita, cuyas actividades han generado formas de naturaleza fluviales, han retrabajado los depósitos eólicos originales (paleocauces, albardones, planicies de inundación), modificando la homogeneidad de los materiales, que varían desde arenosos en paleocauces a limosos en las planicies de inundación. Este cambio de materiales se refleja no sólo en las formas del paisaje, sino en la naturaleza de los suelos, que pasan a integrar complejos indiferenciados con una alta variabilidad espacial y un intrincado patrón de asociación, que le imprimen características distintivas a determinados sectores de la región.

Las tierras de la región presentan una larga historia de uso agrícola, lo que ha desencadenado procesos de erosión hídrica. Esta situación se agrava por la coincidencia de las épocas de laboreo con los picos de erosividad de la lluvia. Las cuencas son extensas, poco definidas, como corresponde a estas llanuras, por lo que eventualmente los caminos funcionan como colectores de escurrimientos hídricos, causando serios problemas de transitabilidad.



Figura 2.2: Pampa loessica plana (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003).

2.1.3.- Clima.

El clima de esta región es templado con estación seca en invierno. Se destacan las amplitudes térmicas elevadas con máximas de hasta 45°C y mínimas de -8°C. El período lluvioso se extiende de octubre a marzo, el cual representa el 80 % de las precipitaciones anuales. Las heladas ocurren entre los meses de mayo y septiembre.

2.2.- Contexto socioeconómico.

Se estima que está compuesta por más de 500 habitantes, de los cuales 120 residen en la comuna y el resto se encuentra disperso en los alrededores.

La principal actividad económica es la agricultura seguida por ganadería, siendo los principales cultivos la soja y el maíz. La producción láctea también tiene relevancia en la economía local. En la Figura 2.3 puede observarse el paisaje de Colonia Las Pichanas.

Existen en la localidad un dispensario, una escuela primaria/secundaria, un puesto policial y un edificio comunal en el cual se efectúan gran parte de las funciones administrativas. (Figura 2.4 y Figura 2.5)

La escuela, denominada “Congreso de Tucumán” (Figura 2.6), posee desde hace algunos años los tres niveles del sistema educativo: inicial, primario y secundario. Anteriormente sólo contaba con nivel primario, y para poder finalizar el secundario la única posibilidad era asistir a una escuela de localidades vecinas, como San Bartolomé, Las Varillas o Villa Fontana, las cuales quedan a más de 70 km de Las Pichanas. Debido a esto, la mayoría de la población adulta no tiene los estudios secundarios completos.

Actualmente asisten a la escuela 130 alumnos, de los cuales no todos residen en la comuna, sino en sus alrededores a varios kilómetros. Por ello hace algunos años la comuna adquirió vehículos utilitarios que transportan a los alumnos que viven lejos (Figura 2.7). Los mismos son manejados por habitantes de la comuna, quienes a partir a las 9 de la mañana, retiran a los niños de 1° a 6° grado, para que lleguen puntuales a las clases que comienzan a las 10 hs. Los alumnos del secundario son recogidos más tarde, ya que sus actividades en la escuela comienzan a las 12 del mediodía. Todos son devueltos a sus hogares alrededor de las 17 hs. La actividad escolar se ve diariamente afectada por el clima y estado del tiempo por cuanto los días que se avecina una tormenta o lluvia no se dictan clases, por lo dificultoso que resulta hacer largos trayectos por caminos de tierra para recoger o devolver niños a sus casas.

El jardín de infantes para niños de 3, 4 y 5 años fue implementado hace dos años y cuenta con 10 alumnos que comparten una única sala a cargo de dos docentes. El nivel

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

primario cuenta con 3 docentes y 3 aulas compartidas: un aula para los chicos de 1° y 2° grado, un aula para los de 3° y 4° y otra aula para los de 5° y 6°.

Las clases del nivel secundario son impartidas por profesores que no residen en Las Pichanas, quienes también llegan a la comuna por medio de los vehículos utilitarios mencionados anteriormente, que los recogen en Villa Concepción del Tío, otra localidad del departamento San Justo.



Figura 2.3: Paisaje de Colonia Las Pichanas



Figura 2.4: Colonia Las Pichanas: (1) Puesto policial; (2) Instalaciones de la Escuela “Congreso de Tucumán”; (3) Casa comunal/Dispensario (Google Earth, 2014)

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba



Figura 2.5: Calle principal de Colonia Las Pichanas. A la derecha, la casa comunal



Figura 2.6: Escuela "Congreso de Tucumán"



Figura 2.7: Vehículos adquiridos por la comuna para trasladar alumnos y docentes a la escuela.

2.3.- Escenario social que da origen a este trabajo.

Colonia Las Pichanas se encuentra asentada en una región afectada por acuíferos con presencia de arsénico según datos históricos. En estudios preliminares sobre muestras extraídas en esta región, se han hallado concentraciones de arsénico de casi 60 ppb, es decir, seis veces más que el límite máximo permitido.

La vulnerabilidad de un grupo poblacional frente a la exposición a altos niveles de arsénico en el agua de bebida depende en una primera instancia de la calidad del agua a la que dicho grupo tiene acceso y por ende del sistema de distribución del agua de consumo. En el caso de poblaciones con sistema de distribución de agua por red, la legislación argentina establece que es responsabilidad del operador de la red proveer a la población de agua potable. Por lo tanto si se utiliza una fuente de agua cruda con una concentración de arsénico superior al límite permitido, es responsabilidad del operador implementar la tecnología para abatir el arsénico hasta niveles aceptables para el consumo del agua distribuida. El problema tiene otra dimensión cuando se trata de poblaciones sin sistema de distribución de agua tratada por red. En estos casos no hay una entidad responsable de la calidad del agua distribuida, y la población queda expuesta al consumo de un agua, que desde el punto de vista

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

fisicoquímico y/o microbiológico puede representar un riesgo para la salud. Esto se agrava por el hecho de que para la población en general, suele ser difícil entender que un agua con aspecto eventualmente cristalino, carente de sabores y aromas extraños, puede no ser segura.

Los pobladores de la Colonia Las Pichanas cuentan con un pozo de 350 metros de profundidad como única fuente de agua para consumo, el cual se encuentra a una gran presión -aproximadamente 15 metros de columna de agua-, lo que permite extraer el agua sin el empleo de bombas. El agua extraída se lleva a la red de distribución sin ser sometida a ningún tratamiento previo.

Para aquellos pobladores que no residen en la comuna sino alejados en el campo, hay disponible un pico comunitario, al frente de la casa comunal, del que hacen uso para cargar bidones con agua para cocinar, consumo, etc. El agua proviene también del pozo mencionado anteriormente.

Este pozo fue aprobado anteriormente por la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (Di.P.A.S.) cuando los límites permitidos de arsénico en agua eran mayores. Más tarde, el límite permisible fue reducido y el pozo se encontró fuera de norma. Como este problema se repite en numerosas localidades de la provincia, la Di.P.A.S. dictaminó una resolución transitoria por la cual mantiene transitoriamente los límites anteriores hasta que se fijen metas de mejora para los próximos años.

Esto pone en evidencia la vulnerabilidad de los habitantes de Colonia Las Pichanas, cuya agua de bebida de origen subterráneo se encuentra fuera de los estándares admitidos a nivel internacional como ser la Organización Mundial de la Salud o la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Estas personas están expuestas a todos los riesgos (químicos y biológicos) vinculados al consumo de agua no tratada y entre esos riesgos está el consumo crónico de agua con arsénico.

2.4.- Relevamiento de información sobre el grado de concientización de la población de Colonia Las Pichanas sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo.

2.4.1.- Confección de una encuesta.

Se confeccionó una encuesta diagnóstica para relevar el grado de conocimiento que la población de Colonia Las Pichanas tiene sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo y la problemática concreta del arsénico. La misma se distribuyó entre los pobladores de la comuna y su área de influencia (aproximadamente 15 km). Se trató de una encuesta anónima, para ser llenada por toda persona mayor a cinco años de edad.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Se indagó respecto a las siguientes cuestiones:

- Distancia de residencia respecto a la comuna de Colonia Las Pichanas
- Antigüedad de residencia
- Fuentes de agua empleadas habitualmente y usos dados
- Percepción de sabor, coloración, olor extraño o impurezas en el agua de consumo
- Calificación del agua consumida en términos de calidad
- Conocimiento sobre la presencia de contaminantes en el agua de la región
- Recaudos tomados antes de consumir el agua
- Problemas de salud

2.4.2.- Análisis de los resultados.

En total fueron encuestadas 48 personas, de las cuales el 67% fueron mujeres y el 33% restante hombres. Dado que Colonia Las Pichanas y su área de influencia cuenta con un poco menos de 500 habitantes, el tamaño de la muestra encuestada fue de aproximadamente del 10%.

En esta zona rural, los habitantes no se encuentran todos concentrados en la comuna de Colonia Las Pichanas sino que una gran parte de los mismos se encuentra dispersa, residiendo en distintos radios alrededor de la comuna. Los datos respecto a lugar y antigüedad de residencia se muestran en las Figura 2.8 y Figura 2.9. En la Tabla 2.1 se muestran las fuentes de agua empleadas habitualmente según el lugar de residencia de las personas.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

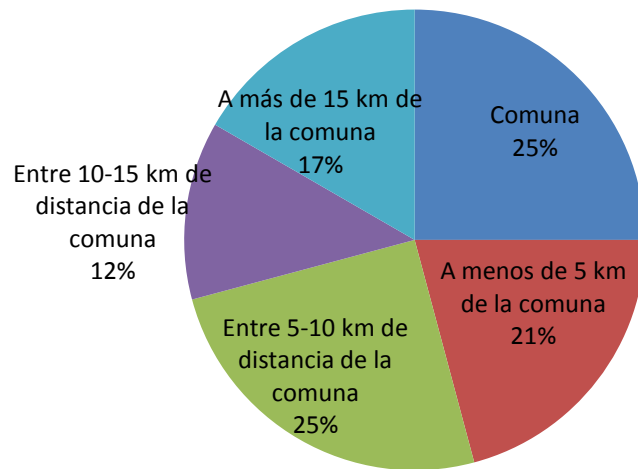


Figura 2.8: Lugares de residencia: (1) En la comuna; (2) A menos de 5 km de la comuna; (3) Entre 5 y 10 km de distancia de la comuna; (4) Entre 10 y 15 km de distancia de la comuna; (5) A más de 15 km de la comuna

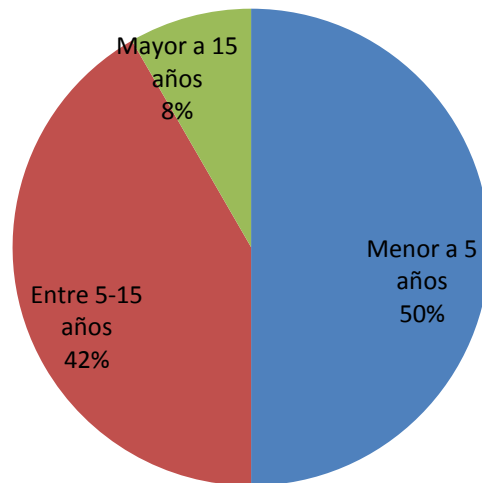


Figura 2.9: Tiempo de residencia: (1) Menor a 5 años; (2) Entre 5 y 15 años; (3) Mayor a 15 años

Tabla 2.1: Fuentes de agua empleadas habitualmente

	Gente que reside en la comuna de Colonia Las Pichanas	Gente que reside a menos a 5 km de la comuna	Gente que reside a una distancia entre 5 y 10 km de la comuna	Gente que reside a una distancia entre 10 y 15 km de la comuna	Gente que reside a más 15 km de la comuna
Pozo surgente de la comuna	Todos (100%) lo emplean.	Solo el 30% hace uso del mismo.	Ninguno consume agua del mismo.	Ninguno consume agua del mismo.	Ninguno consume agua del mismo.
Pozo propio	17% de los encuestados emplea uno	60% de los encuestados emplea uno	100% emplea uno	El 50% emplea uno.	El 75% emplea uno.
Primera napa	17% hace uso	50% de los encuestados hace uso	Ninguno hace uso	El 33% hace uso	Ninguno hace uso
Aljibes	Ninguno indicó el empleo	40% posee un aljibe del cual hace uso para ciertas actividades.	El 17% posee un aljibe del cual hace uso para ciertas actividades.	17% posee un aljibe del cual hace uso para ciertas actividades.	Ninguno hace uso
Agua mineral o potable envasada comercial	25% de los mismos consumen	10% de los mismos consumen	8% de los mismos consumen	17% de los mismos consumen.	25% de los mismos consumen.
Otro	No indicaron	No indicaron	No indicaron	33% indicó sin aclarar a qué se refería.	25% indicó sin aclarar a qué se refería.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

A partir de la información mostrada en la Tabla 2.1, puede verse que el pozo surgente de la comuna pierde su área de influencia a los 5 km, por lo que a continuación el análisis se limita a los resultados relacionados con los que hacen uso de ese pozo.

La Figura 2.10 muestra cuáles son las **fuentes de agua empleadas por los pobladores** en sus actividades cotidianas. En la misma puede verse el gran uso que se realiza del agua proveniente del pozo comunal.

La Figura 2.11 refleja la **percepción de los usuarios sobre la calidad del agua del pozo surgente** en términos de sabor, olor, coloración y pureza, mientras que en la Figura 2.12 se observa la calificación general otorgada por los mismos a la calidad del agua consumida.

Por otro lado, la Figura 2.13 está referida a la **conciencia de los usuarios sobre la aptitud del agua para consumo**. En ella se destaca el gran desconocimiento de la mayoría de los mismos respecto a la presencia de contaminantes en el agua del pozo. Aquellos encuestados que manifestaron tener conocimiento, indicaron como contaminante del agua la “sal”. Ninguno hizo referencia al arsénico.

En cuanto a los **recaudos tomados antes de consumir el agua del pozo**, el 100% de los encuestados indicó que no emplea ningún filtro purificador en el domicilio ni otro método de purificación, en tanto que el 20% de los encuestados indicó que hierve el agua antes de beberla o usarla para cocinar.

Con respecto a los **problemas de salud detectados en los consumidores**, el 60% de los encuestados indicó afecciones en ellos o en algún miembro de su familia, mostrándose en la Figura 2.14 la respuesta de los encuestados respecto a la existencia de precedentes de algún tipo de cáncer o enfermedad. Los problemas mencionados fueron los siguientes:

- Dolores de cabeza: Indicado por el 67% de los que respondieron afirmativamente.
- Dificultades en la respiración: indicado por el 44% de los que respondieron afirmativamente.
- Problemas en riñones, intestinos, manchas en los dientes y lesiones en la piel: indicados por el 33% de los que respondieron afirmativamente.
- Problemas hepáticos, debilidad: indicados por el 22% de los que respondieron afirmativamente.

A su vez, debe mencionarse que aquellos encuestados que respondieron afirmativamente no indicaron si los familiares con estas afecciones residieron en Colonia Las Pichanas. Además, el 90% aseguró no conocer la/s causa/s de estos problemas.

Resulta muy llamativo que en una muestra tan pequeña más de la mitad indique el padecimiento, por parte propia o de algún familiar, de las afecciones típicas causadas por la ingesta prolongada de esta agua.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

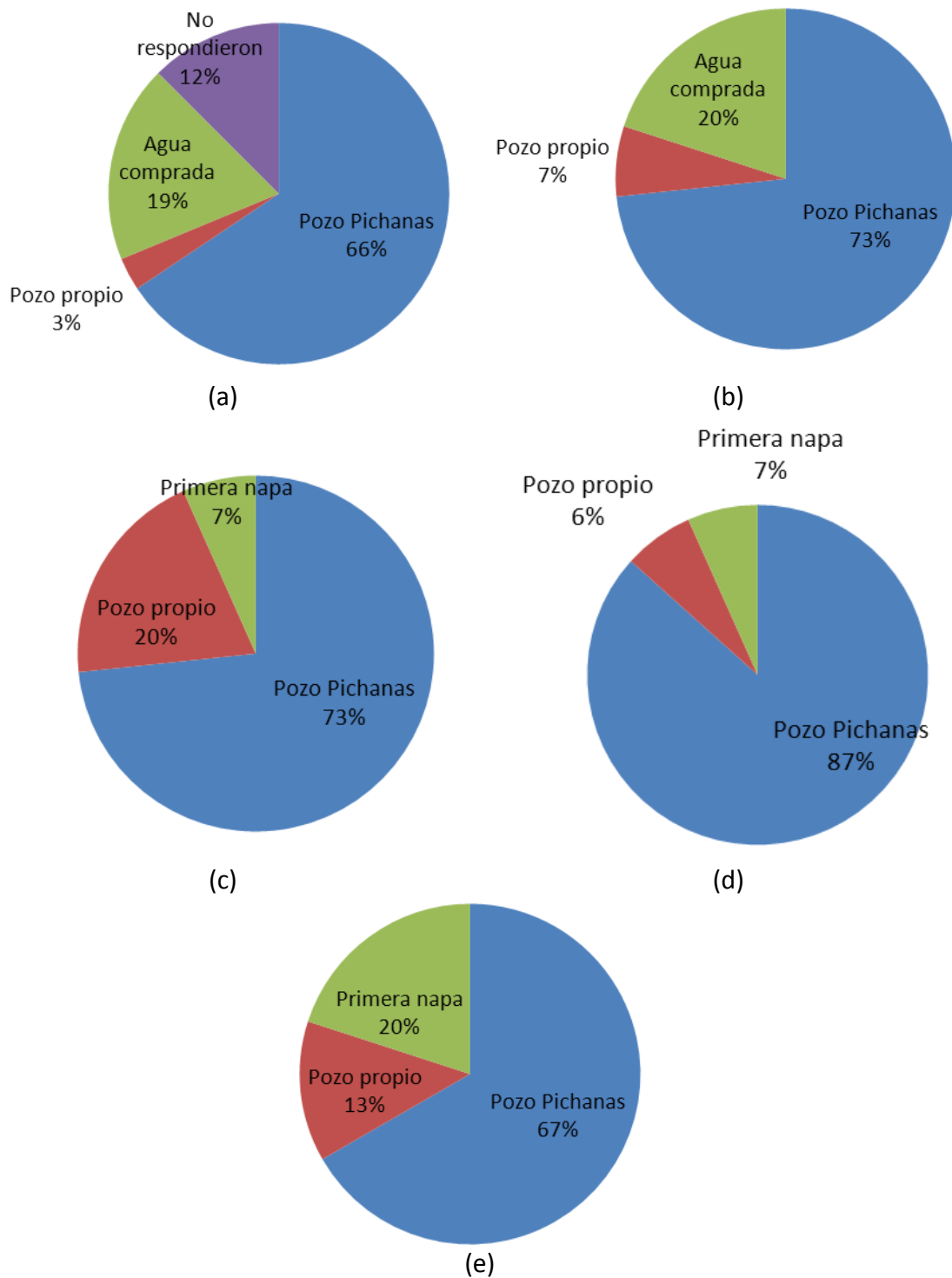


Figura 2.10: Fuente de agua empleadas en actividades cotidianas: (a) Bebida, (b) Cocinar, (c) Aseo, (d) Lavado, limpieza y riego, (e) Animales

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

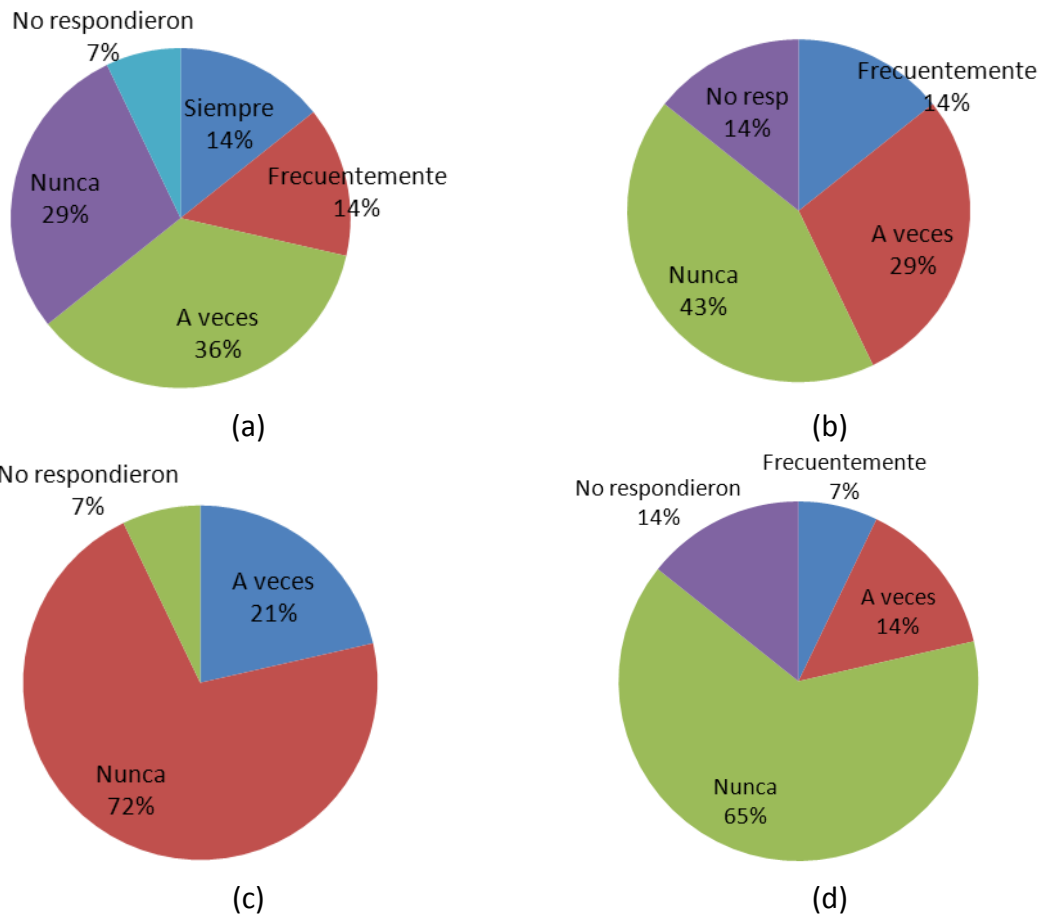


Figura 2.11: Parámetros sobre la calidad del agua (a) Sabor extraño en el agua del pozo surgente (b) Olor extraño en el agua del pozo surgente (c) Coloración extraña en el agua del pozo surgente (d) Impurezas notables a simple vista en el agua del pozo surgente.

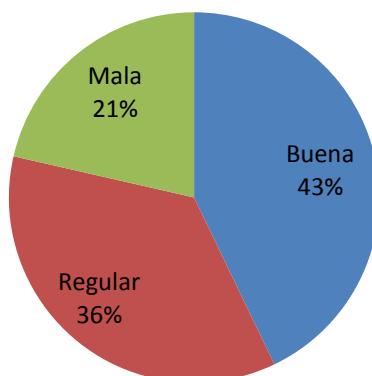


Figura 2.12: Calidad del agua del pozo surgente según los consumidores.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

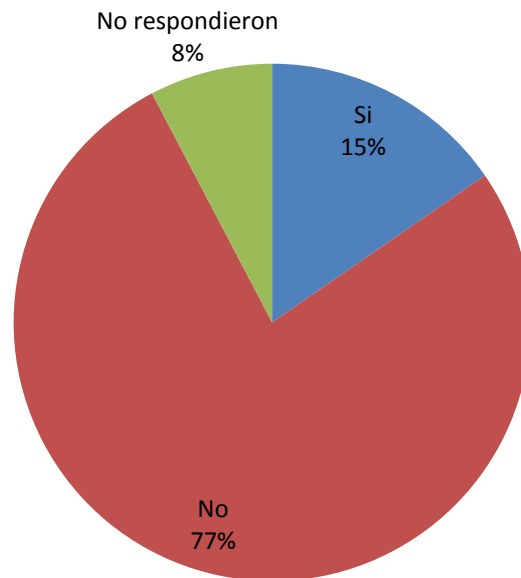


Figura 2.13: Conocimiento de la presencia de algún contaminante en el agua del pozo surgente.

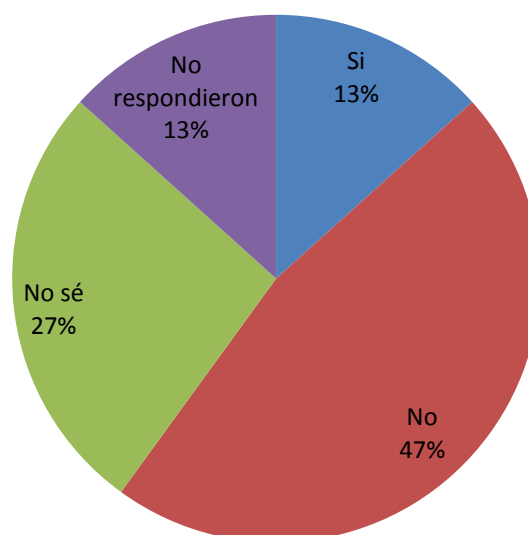


Figura 2.14: Precedentes de algún tipo de cáncer, enfermedad hereditaria o crónica.

2.4.3.- Síntesis de los resultados de la encuesta

- El pozo surgente de la comuna pierde su área de influencia a los 5 km. A distancias mayores, nadie hace uso del mismo, sino que consumen agua de perforaciones propias.
- Si bien aquellos encuestados que residen en la comuna dieron cuenta de que el agua que consumen en varias ocasiones presentar sabor, olor y coloración extraña, contrariamente a lo que se esperaría, no toman recaudos necesarios como el empleo de un filtro purificador de agua en su domicilio, y muy pocos de ellos hierven el agua antes de consumirla para bebida o cocina.
- La población no relaciona los problemas de salud con la calidad del agua que consumen.
- La mitad de la gente que respondió la encuesta vive desde hace muy poco allí, por lo tanto es difícil establecer como causa principal de los problemas de salud el consumo crónico de agua con arsénico.

2.5.- Preparación de una charla-taller expuesta en la Escuela “Congreso de Tucumán”

A principios de agosto del año 2013 se llevó a cabo una exposición oral, con modalidad de taller, ante la comunidad educativa de la Escuela “Congreso de Tucumán” de Colonia Las Pichanas, en las instalaciones de la misma. A la charla concurrieron todos los miembros de la escuela -alumnos desde primer grado hasta el último año del secundario y profesores- y algunos vecinos de la comuna. Por este motivo la charla fue preparada con contenidos temáticos importantes pero sin mayor complejidad, dado que la heterogeneidad del público así lo exigía. Los ejes temáticos tratados fueron los siguientes:

- 1) La importancia del agua para la vida:
 - El agua y sus propiedades
 - El agua y la tierra
 - El agua y los seres humanos
 - Concepto de agua subterránea
- 2) Calidad del agua:
 - Concepto de calidad del agua
 - Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de importancia
- 3) Contaminación del agua:
 - Concepto de contaminación

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

- Contaminación del agua subterránea
 - Arsénico en el agua: propiedades, efectos sobre la salud
- 4) Purificación del agua para bebida:
- Métodos de purificación
 - Presentación del filtro: concepto, uso, funcionamiento

Al finalizar la charla, hubo una instancia de debate, en la cual los disertantes respondieron preguntas de los asistentes. Con el objeto de promover la participación de los destinatarios y la interacción con el equipo de trabajo, se realizaron actividades lúdicas con los alumnos (sopa de letras, bingo) con las que fue posible evaluar el nivel general de atención y comprensión del público sobre los contenidos expuestos.



Figura 2.15: Charla-taller expuesta en la Escuela “Congreso de Tucumán”

2.6.- Muestreo y análisis del agua de consumo

En los años 2012 y 2013, se realizaron cuatro muestreos en diferentes puntos de la comuna para analizar la variación estacional de la calidad del agua subterránea en términos fisicoquímicos y microbiológicos. Los mismos fueron analizados en los laboratorios de las áreas de Microbiología y Aguas y Efluentes del CEQUIMAP.

Esta actividad estuvo a cargo de integrantes del equipo de trabajo pertenecientes al CEQUIMAP, quienes, previo a la extracción de las muestras, siguieron el siguiente protocolo:

-En el caso de muestras para análisis microbiológicos, se desinfectaron las canillas con alcohol y fuego para eliminar las bacterias que pudieran estar presentes en el grifo (Figura 2.16). Las muestras extraídas fueron luego almacenadas en envases estériles.

-En el caso de muestras para análisis fisicoquímicos, se abrió el grifo y se dejó correr el agua 5 minutos antes de tomar las muestras. Las mismas fueron almacenadas en envases limpios (Figura 2.17).



Figura 2.16: Procedimiento previo a la extracción.



Figura 2.17: Obtención de una muestra.

2.6.1.- Puntos monitoreados.

Los puntos de los que se tomaron muestras de agua a lo largo del tiempo fueron tres. Los mismos se seleccionaron con el objeto de poder tener información relevante de toda la red de distribución de agua en la localidad.

Dado que sobre el pozo surgente existe una casilla con una manguera conectada al mismo, se escogió este punto para observar las características del agua a la salida inmediata del pozo. En los resultados mostrados en el inciso siguiente, dicho punto se denomina “Boca de pozo”.

Los otros dos sitios escogidos fueron el pico comunitario, sobre la calle principal, y la última casa de familia servida por la red, la cual se encuentra a unos 375 metros de distancia del pozo surgente.

La ubicación de los sitios mencionados puede observarse en la imagen satelital de la Figura 2.18.



Figura 2.18: Colonia Las Pichanas, (1) Boca de pozo, (2) Pico comunal, (3) Última casa servida por la red, (4) Casa comunal, (5) Instalaciones de la Escuela “Congreso de Tucumán”, (6) Destacamento policial. (Google Earth, 2014)

2.6.2.- Resultados obtenidos.

En la Tabla 2.2 y Tabla 2.3 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos químicos junto con los correspondientes límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para cada parámetro.

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

Tabla 2.2: Resultados de los muestreos de agua realizados en el año 2012

	Marzo/2012		Julio/2012			CAA (mg/L)
	Boca de pozo	Casa de familia	Boca de pozo	Pico comunal	Casa de familia	
Magnesio	0.2	0.2	0,26	0,3	0,3	-
Calcio	42.0	49.0	37,2	25	31,7	-
Potasio	2.2	3.0	4,3	2,2	3,4	-
Sodio	310	321	244	236	230	-
Zinc	<LQ:0.08,LD:0.02	<LQ:0.08,LD:0.02	<LQ:0.08,LD:0.02	<LQ:0.08,LD:0.02	<LQ:0.08,LD:0.02	5
Alcalinidad Total	29,8	27,9	27,9	22,3	29,8	Dureza 400
Amonio	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	0,2
Arsenico	0,05	0,047	0,059	0,055	0,048	0,01
Cloro Residual	ND, LD: 0,03	ND, LD: 0,03	ND, LD: 0,03	ND, LD: 0,03	ND, LD: 0,03	-
Cloruro	103	111	111	950	103	350
Fluoruro	1,2	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2
Grado de mineralización	Media	Media	Media	Fuerte	Media	-
Hierro	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	0,3
Nitrato	6,9	6,9	6,9	5,4	6,9	45
Nitrito	0,71	0,57	0,57	0,2	0,71	0,1
pH	8,7	8,5	8,5	8	8,7	6,5-8,5
Residuo seco	1180	1160	1160	2530	1180	SDT 1500
Sulfato	722	698	698	1560	722	400
Coliformes totales	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	3
Coliformes fecales	-	-	-	-	-	-
Bacterias aerobias	2900	31 UFC/mL	31 UFC/mL	<30	2900	<500 UFC/100 mL
Pseudomonas	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia
Giardia lambia	-	-	-	-	-	-
Ecoli	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

Tabla 2.3: Resultados de los muestreos de agua realizados en el año 2013

	Febrero/2013			Agosto/2013			CAA (mg/L)
	Boca de pozo	Pico comunal	Casa de familia	Boca de pozo	Pico comunal	Casa de familia	
Magnesio	0,19	0,19	0,19	0,22	0,23	0,22	-
Calcio	42	32	32	37	36,4	37	-
Potasio	1,6	1,7	1,7	2,1	2	2	-
Sodio	300	310	300	329	300	332	-
Zinc	0,02	0,02	<LQ:0.015,LD:0.005	ND, LD:0,02	ND, LD:0,02	ND, LD:0,02	5
Alcalinidad Total	30,7	30,7	30,7	118	118	118	Dureza 400
Amonio	<LQ:0,15 ; LD:0,06	<LQ:0,15 ; LD:0,06	<LQ:0,15 ; LD:0,06	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	ND, LD:0,03	0,2
Arsenico	0,053	0,054	0,052	0,036	0,038	0,039	0,01
Cloro Residual	-	-	-	ND, LD:0,08	ND, LD:0,08	ND, LD:0,08	-
Cloruro	129	128	131	125	124	125	350
Fluoruro	1,35	1,35	1,37	1,22	1,25	1,22	1,2
Grado de mineralización	Excesiva	Excesiva	Excesiva	media?	media?	media?	-
Hierro	-	-	-	-	-	-	0,3
Nitrato	5,9	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	45
Nitrito	0,65	0,65	0,6	0,8	0,7	0,7	0,1
pH	8,4	8,4	8,5	8,5	8,5	8,5	6,5-8,5
Residuo seco	1180	1200	1200	1209	1200	1200	SDT 1500
Sulfato	730	697	726	559	612	609	400
Coliformes totales	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	No desarrollaron	3
Coliformes fecales	-	-	-	-	-	-	-
Bacterias aerobias	76UFC/mL	<30	<30	120	<30	<30	<500 UFC/100 mL
Pseudomonas	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	Ausencia
Giardia lambia	-	-	-	-	-	-	-
Ecoli	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Debe mencionarse, además, que la Resolución 608/93 de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento también establece normas de calidad y control del agua para bebida, fijando dos valores: un “valor aconsejable” y un “límite tolerable”. El “valor aconsejable” es la concentración máxima de un componente que no significa peligro para la salud. Es el objetivo a alcanzar en los suministros públicos. El “límite tolerable” es la concentración de un componente que no debe superarse, por significar un posible riesgo para la salud; es la meta actual.

Con respecto a esta resolución, los valores que difieren respecto a los establecidos por el CAA son los correspondientes a los parámetros listados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Resolución 608/93 de la Di.P.A.S.

Parámetro	Valor aconsejable [mg/L]	Límite tolerable [mg/L]
Arsénico	<0,01	0,05
Cloruro	<250	400
Hierro	<0,10	0,20
Sulfato	<200	400

En el año 2006, la Di.P.A.S. adoptó provisoriamente nuevos límites de concentración para arsénico en agua, fijando tres límites de concentración en forma provisoria hasta se cuente con información epidemiológica que sustente las modificaciones de los límites permisibles propuestos. En general se propone como meta a alcanzar o concentración ideal valores menores o iguales a 0,01 mg/l. Un segundo límite establece como valor aceptable concentraciones entre 0,01 mg/l. y 0,05 mg/l. Por último se fija como rango tolerable condicional y en forma temporaria el de concentraciones que varíen entre 0,05 mg/l y 0,1 mg/l. Concentraciones mayores a este último valor son consideradas en todos los casos como no aceptables.

2.6.3.- Interpretación de los resultados.

Desde el punto de vista físico-químico, los parámetros que se encontrarían fuera de lo estipulado por el Código Alimentario Argentino para el agua de bebida serían el arsénico, los nitritos y el sulfato.

El mayor nivel de arsénico detectado en el agua del pozo surgente de la comuna es de 59 ppb, es decir, un valor casi seis veces mayor al permitido. Las diferencias observadas entre

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

las concentraciones de arsénico medidas - oscilando entre 36 y 59 ppb - probablemente respondan a una variación estacional de dicho parámetro.

La presencia de arsénico en agua subterránea se asocia con concentraciones de otros elementos como el flúor. Esto se verifica en el pozo de Colonia Las Pichanas, en el cual se encontraron niveles de flúor un poco por encima del límite superior de 1,2 mg/l establecido por el Código Alimentario Argentino (CAA). El flúor es un elemento tóxico en el que sólo la cantidad de las dosis consumidas diferencia los efectos beneficiosos de los perniciosos.

En cuanto a los nitritos, se detectaron niveles variables entre 0,6 y 0,8 mg/l, es decir, valores entre 6 y 8 veces por encima del valor de referencia de 0,1 mg/l por el CAA. La concentración de nitritos en aguas superficiales normalmente es baja, pero puede llegar a alcanzar elevados niveles como consecuencia de las prácticas agrícolas o residuos urbanos y ganaderos (especialmente granjas). La principal preocupación derivada de la presencia de nitritos en agua potable se debe a que los nitritos son destructores de los glóbulos rojos, tienen la capacidad de provocar accidentes vasculares y son potencialmente cancerígenos.

Con respecto a los sulfatos, los valores medidos exceden ampliamente los límites máximos establecidos por las distintas normativas.

En cuanto al aspecto microbiológico, pueden destacarse dos cosas.

La primera de ellas es la ausencia de *Escherichiacoli* y coliformes totales, lo que permite descartar contaminación por materia fecal (que suele darse en los casos de saneamiento sin alcantarillado, fosas sépticas y letrinas, común en áreas rurales).

La segunda es la presencia de *Pseudomonasaeruginosa*, primero en la salida del pozo de la comuna y en una segunda instancia en el grifo de una casa de familia. Esta presencia no marca una tendencia constante, por lo que es atribuible a focos de contaminación temporaria y circunstancial localizados en las cañerías de distribución, próximas al punto de salida del agua muestreada.

Puede concluirse que, desde el punto de vista microbiológico, la calidad del agua es aceptable. Sin embargo, no puede decirse lo mismo desde el punto de vista físico-químico, ya que la presencia de arsénico, nitritos y sulfatos superan los valores recomendados por la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba, el Código Alimentario Argentino y la Organización Mundial de la Salud para el agua de bebida

2.7.- Problemas a resolver.

A partir del año 2007, el Código Alimentario Argentino, en consonancia con la Organización Mundial de la Salud, establece como valor de referencia para el arsénico en agua de consumo, la concentración de 0,01 mg/L (equivalente a decir 10 µg/L o 10 ppb). Un *valor de referencia* representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda la vida.

Para el caso de los nitritos, el Código Alimentario Argentino fija la concentración máxima de nitrito en agua igual a 0,10 mg/l, para que la misma pueda ser considerada potable.

Lo que se persigue con este trabajo es aportar una solución tecnológica de implementación relativamente sencilla y auto gestionable a un grupo poblacional expuesto a un problema ambiental concreto y específico: la exposición al consumo de agua de bebida con concentraciones de arsénico y nitritos superiores a los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a los límites máximos permitidos por el Código Alimentario Argentino (CAA).

Debe aclararse que si bien en el inciso anterior se pudo observar que la concentración de sulfatos también es mayor a la admisible, en este trabajo no se aborda su tratamiento dado que se considera que este componente afecta la estética del agua y no es de acción directa sobre la salud del consumidor.

2.8.- Justificación de la importancia de este trabajo.

Toda población que no tiene acceso a agua segura desde el punto de vista químico y microbiológico es una población vulnerable.

El fin primordial de esta propuesta es la protección de la salud de las personas de una comunidad concreta que no tiene acceso a otras fuentes de agua más segura, evitando la ingesta a largo plazo de agua que representa un riesgo para la salud.

Por otra parte cabe mencionar que la situación social, económica y cultural de la localidad de Colonia Las Pichanas, no difiere sustancialmente de otras comunas vecinas, en donde los rasgos ambientales son similares en cuanto a las características de los acuíferos y a la geoquímica del agua subterránea que se utiliza como fuente de agua de bebida. La implementación de métodos sencillos que contribuyan al abatimiento de los niveles de arsénico y de nitritos podría extenderse en el futuro a las localidades vecinas.

CAPÍTULO 3: INFLUENCIA DEL ARSÉNICO Y LOS NITRITOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA

3.1.- Introducción.

En este Capítulo se abordará el marco teórico de los problemas expuestos en esta Práctica Profesional, referidos a la presencia de arsénico y nitritos en el agua de bebida. Se exponen los conceptos más relevantes encontrados en la bibliografía investigada, los cuales permitieron plantear, interpretar y desarrollar las propuestas con el fin de lograr un principio de solución a la problemática encontrada en la comunidad de Colonia Las Pichanas. Las propuestas de solución se presentan en los Capítulos 4 y 5 de este trabajo, en el afán de contribuir a que las personas que habitan en esa comunidad puedan alcanzar una mejor calidad de vida.

3.2.-Arsénico.

3.2.1.-Descripción y caracterización.

El arsénico es un elemento químico cuyo símbolo es As y número atómico es 33, miembro del grupo 15 de la tabla periódica, cuya densidad es de 5727 kg/m³ y masa atómica de 74,91 g/mol. Químicamente ha sido clasificado como un metaloide, con propiedades tanto de un metal como de elemento no-metálico, sin embargo generalmente se lo conoce como un metal.

El arsénico está presente en pequeñas cantidades en rocas, suelo, agua y aire. En el ambiente se lo encuentra combinado frecuentemente con otros elementos como el oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico; y combinado con carbono e hidrógeno como arsénico orgánico. Estos compuestos orgánicos e inorgánicos de arsénico son polvos de color blanco, no poseen olor ni sabor especial y no se evaporan.

El arsénico inorgánico generalmente se encuentra en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen cobre o plomo. Se presenta en cuatro principales formas químicas conocidas por su valencia o estados de oxidación: - 3 (arsina), 0, + 3 (arsenito) y + 5 (arseniato).

El arsénico y sus compuestos son usados comercial e industrialmente como agentes aislantes en la manufactura de transistores, laser y semiconductores, también en procesos de decoloración del vidrio (trióxido de arsénico), pigmentos, pirotecnia, textiles, papeleras,

aditivos en aleaciones de plomo y latones. Así también en preservantes de madera (arseniato de cobre y cromo), insecticidas (arseniato de plomo), herbicidas (arsenito de sodio), fungicidas y productos farmacéuticos.

La extracción y fundición de metales no ferrosos y la utilización de combustibles fósiles son los principales procesos industriales que contribuyen a la contaminación antropogénicas del aire, el agua y el suelo con arsénico. El empleo de plaguicidas con arsénico a lo largo del tiempo ha dejado contaminadas amplias zonas de tierras agrícolas. El uso del arsénico en la conservación de la madera también ha llevado a una importante contaminación del medio ambiente.

3.2.2.- Presencia de arsénico en el ambiente.

El arsénico se encuentra en estado natural en rocas, suelo, agua, aire, plantas y animales y es liberado al medio ambiente mediante fenómenos naturales, tales como erupciones volcánicas, erosión de las rocas o incendios forestales, o bien mediante la actividad del hombre.

El As es principalmente transportado en el ambiente por el agua. En ambientes fuertemente reducidos pueden existir el elemento arsénico y la arsina (-3). Generalmente bajo condiciones moderadamente reductoras, como ser pozos profundos, predomina el arsenito (+3) y en aguas bien oxigenadas se encuentra en su estado termodinámicamente más estable, el pentavalente o arseniato (+5).

El arsénico puede llegar al agua por vías naturales y por vías antropogénicas. Entre los fenómenos naturales, pueden mencionarse el ascenso de fluidos magmáticos e hidrotermales, emisiones volcánicas a la atmósfera, y la deserción y disolución de minerales con arsénico durante su meteorización. En el agua freática utilizada como agua de bebida en varias partes del mundo hay arsénico inorgánico de origen geológico.

Entre las actividades humanas que aportan arsénico al agua se encuentran la minería, procesos metalúrgicos, combustión de combustibles fósiles, y el uso de plaguicidas y preservantes de la madera.

Con respecto a la presencia de arsénico en el aire, se ha estimado que alrededor de un tercio del flujo atmosférico de arsénico es de origen natural, siendo la actividad volcánica la fuente natural más importante, seguida de la volatilización a baja temperatura. Existen mediciones de concentraciones de arsénico tanto en aéreas rurales como en vecindad de focos industriales, siendo ampliamente mayores en estos últimos.

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

El arsénico también está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, bajo la forma de mineral y principalmente como impureza de otros minerales. Diferentes procesos de meteorización o transformación son responsables de que el arsénico pueda encontrarse en suelos y sedimentos. De los minerales que contienen As, los más frecuentemente encontrados son la arsenopirita (FeAsS), realgar (As₄S₄), y oropimente (As₂S₃).

3.2.3.- Problemática del As.

El agua subterránea es un gran aporte para la dotación de agua potable de muchas regiones del mundo, y en muchas de estas regiones se encuentra contaminada por arsénico. En América latina se dice que por lo menos 4 millones de personas están expuestas al consumo de agua con altas concentraciones de arsénico, de donde la gran mayoría pertenece al área rural, por las escasas condiciones al acceso y carencia de sistemas de agua potable (Fernández Cirelli, 2008).

En Argentina, la presencia de arsénico en las aguas subterráneas afecta grandes extensiones del territorio nacional limitando el uso de este recurso natural como fuente para consumo humano. Es el caso de de las provincias de Córdoba, Tucumán, Santa Fe, La Pampa, Santiago del Estero, Salta, Chaco y Formosa en la llanura Chaco-Pampeana; de las provincias de Jujuy y Salta en el altiplano andino; y de otras provincias como Mendoza, San Luis, San Juan, La Rioja, Catamarca y en la Patagonia, donde los datos reportados son pocos.

La presencia de este elemento en los acuíferos de nuestro país se asocia a los componentes de origen volcánico presentes en los sedimentos loésicos de la llanura pampeana (Smedley y Kinniburgh, 2002; Fernández-Turiel *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2005). Este tipo de sedimento está distribuido en grandes extensiones en la Argentina (aproximadamente 600.000 km²) y se infiere que donde se encuentren sedimentos similares a los loésicos existen posibilidades de encontrar arsénico en sus acuíferos.

En la provincia de Córdoba, una de las principales fuentes de agua para consumo humano es el agua subterránea, utilizada con frecuencia en la población rural o dispersa como fuente de agua potable, para la agricultura y las actividades industriales. En distintas regiones de la provincia es posible encontrar altas concentraciones de arsénico en los acuíferos, predominantemente como arsenito y arseniato, generalmente combinadas con otros elementos que pueden dar importantes niveles de toxicidad. Como consecuencia de ello, existen evidencias epidemiológicas asociadas con el hidroarsenicismo y/o cáncer (Bergoglio, 1963; Hopenhayn-Rich *et al.*, 1998; Besuschio, 2006; Francisca y Carro Pérez, 2009),

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

y la principal causa son las elevadas concentraciones de arsénico en el agua subterránea cuando se utiliza para bebida (Nicolli *et al.*, 1985; Cabrera *et al.*, 2005; Carro Pérez *et al.*, 2007)

En la Figura 3.1 se muestra la región del país donde predomina el suelo loessico y es posible encontrar aguas subterráneas con contenidos de As. Se puede ver que toda la provincia de Córdoba se encuentra dentro de esta zona. También se puede apreciar la dirección del flujo de las aguas subterráneas.

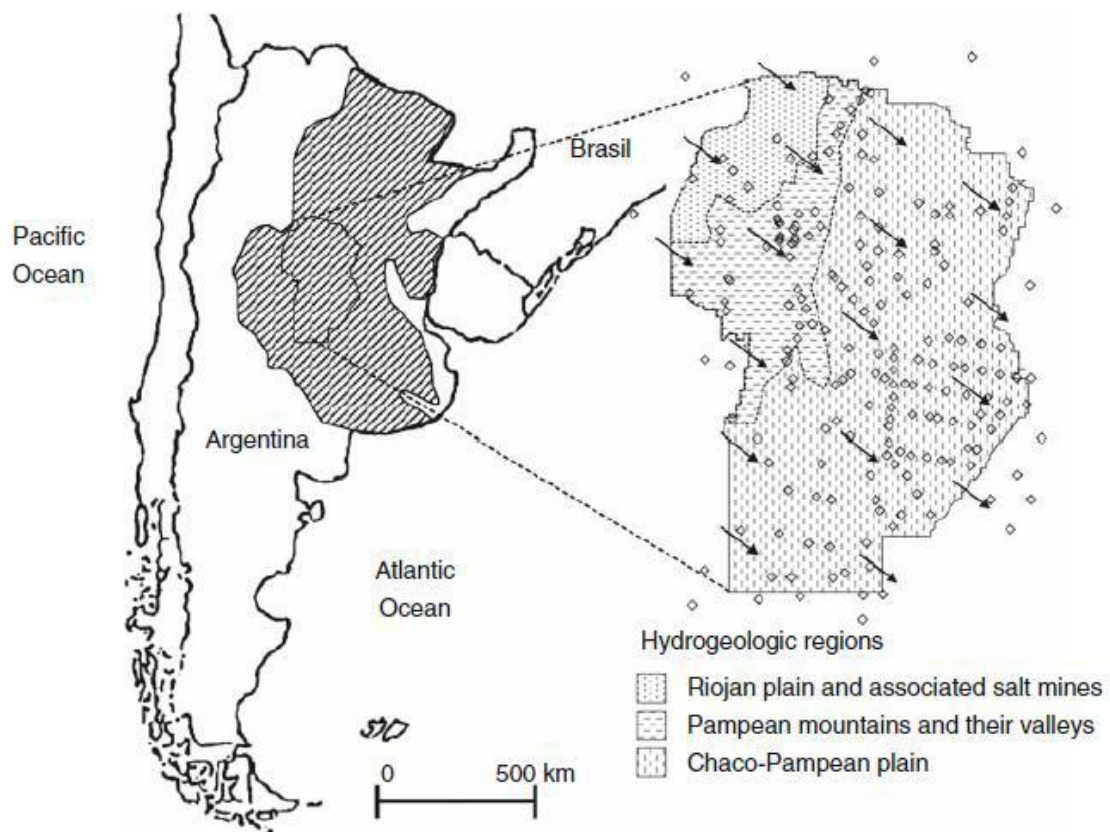


Figura 3.1: Distribución geográfica del suelo loessico en la Argentina y en la provincia de Córdoba (Las flechas indican la dirección del flujo de las aguas subterráneas). (Francisca y Carro Pérez, 2009)

3.2.4.- Efectos sobre la salud.

El arsénico y sus compuestos son clasificados por la Agencia Internacional de Estudios del Cáncer (IARC) en el Grupo 1, es decir carcinógenos para los humanos.

La principal ingesta de As proviene del agua y puede también entrar en la cadena alimentaria humana a través de plantas y animales. La ingesta y la inhalación son las principales vías por las cuales el arsénico ingresa al organismo humano y es acumulable en el mismo por exposición crónica. A ciertas concentraciones, ocasiona afecciones como:

alteraciones de la piel con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio y gastrointestinal y acumulación en los huesos, músculos y piel y, en menor grado, en hígado y riñones. El arsénico está vinculado con el aumento de riesgo de cáncer de piel, pulmón, hígado, vejiga y riñón (Carro Pérez *et al.*, 2007).

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) es una enfermedad producida por exposición de la población a la ingestión prolongada de agua que contenga sales de arsénico, que afecta a gran parte de la población de una región. Esta enfermedad afecta varias provincias argentinas y es provocada por la presencia de aguas contaminadas con arsénico que ponen en riesgo a las comunidades de padecer enfermedades cardiovasculares, dermatológicas y oncológicas.

3.2.5.- Límites admisibles de concentraciones de arsénico en agua de consumo.

El nivel máximo permitido en aguas de consumo humano por la Agencia de protección Ambiental de EE.UU. (EPA) era de 50 µg/L; a partir del 2001, la Organización Mundial de la Salud (WHO) y la EPA adoptaron un nuevo estándar para el nivel máximo de As de 0,01 (mg/L) (10 µg/L) o 10 ppb) en agua potable. Se trata de un valor de referencia provisional. 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 la 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 el caso concreto del arsénico, el valor de referencia establecido por la OMS es aun de carácter provisional.

El Código Alimentario Argentino (CAA), establecía un límite tolerable de arsénico de 0,05 mg/L (50 µg/L o 50 ppb) en el agua potable y en el agua de bebida envasada (Arts. 982 y 983 respectivamente del CAA). A partir del año 2007, el CAA alineó sus exigencias en relación al arsénico con el valor de referencia provisional de la OMS. Así, el nuevo límite máximo permitido (10 ppb), es cinco veces menor que el exigido con anterioridad.

Este nuevo límite establecido por el Código Alimentario Argentino en consonancia con el valor guía de la OMS, es indicativo de la concientización creciente sobre los riesgos para la salud que implica el consumo crónico de agua con arsénico.

Para el caso particular de la Provincia de Córdoba, la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento estableció en la Resolución 608/93 “Normas de calidad y control del agua para bebida” un valor aconsejable (objetivo a alcanzar) y un límite tolerable (objetivo actual) de arsénico. En el año 2006, la Di.P.A.S. adoptó provisoriamente nuevos límites de concentración para arsénico en agua, fijando tres límites de concentración en forma provisoria hasta se

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

cuenta con información epidemiológica que sustente las modificaciones de los límites permisibles propuestos. En general se propone como meta a alcanzar o concentración ideal valores menores o iguales a 0,01 mg/l. Un segundo límite establece como valor aceptable concentraciones entre 0,01 mg/l. y 0,05 mg/l. Por último se fija como rango tolerable condicional y en forma temporaria el de concentraciones que varíen entre 0,05 mg/l y 0,1 mg/l. Concentraciones mayores a este último valor son consideradas en todos los casos como no aceptables.

3.2.6.- Métodos de remediación.

Los procesos y tecnologías disponibles para la remoción de arsénico del agua son variados y comprenden desde tratamientos en plantas potabilizadoras convencionales hasta métodos domiciliarios. Los procesos de remediación que se conocen en la actualidad son: oxidación; precipitación, coagulación y ablandamiento con cal; ósmosis inversa; microfiltración; nanofiltración; adsorción, tratamientos biológicos y fitoremediación; electrodiálisis y electrocinética, entre otros (Arman, 1992; Fetter,1993; Konstantinos *et al.*, 2006). Algunas de estas técnicas son más tradicionales y utilizadas que otras.

En la elección de la técnica de remediación más adecuada resulta necesario diferenciar entre metodologías o tratamientos aplicables a pequeña escala, a grandes volúmenes o indistintamente a ambos. Cada método presenta diferentes rangos de eficiencias, ventajas y desventajas según las condiciones a las cuales se va a aplicar.

En la elección de los métodos de remoción es necesario tener en cuenta no sólo los volúmenes de agua a tratar sino también la factibilidad tanto tecnológica, como ambiental y económica y la disposición final del arsénico residual o de los lodos arsenicales resultantes.

Aún con los estudios realizados hasta el momento, en nuestro país no existen estudios tendientes a proporcionar los fundamentos y comportamientos esperados en alternativas de remediación que sirvan para aprovechar el agua subterránea con arsénico natural como fuente para consumo humano de la población rural dispersa.

3.3.-Nitritos.

3.3.1.-Descripción y caracterización.

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

El ión nitrito es un ión inestable cuya oxidación a nitrato en el agua se produce fácilmente, considerándose un estado intermedio de oxidación de los compuestos del nitrógeno. Debido a que posee una carga negativa es repelido por las partículas del suelo, las cuáles también se encuentran cargadas negativamente, generándose una situación que permite su introducción al agua subterránea.

El nitrato es una forma iónica combinada de nitrógeno y oxígeno en condiciones aerobias y resulta de la oxidación total de los compuestos del nitrógeno. Es un ión estable, soluble en agua, muy móvil, no se adsorbe en arcilla o materia orgánica por sus condiciones aniónicas, y por lo tanto, se puede lixiviar a través del suelo y ser transportado por el agua subterránea.

3.3.2.- Presencia del nitrógeno en el ambiente.

3.3.2.1- Ciclo del nitrógeno.

Este ciclo describe los procesos dinámicos (transporte y transformación) mediante los cuales el nitrógeno es intercambiado entre diversos medios, es decir, atmósfera, suelo, agua, plantas, animales y seres humanos (Figura 3.2).

El nitrógeno elemental (N_2), el cual es un gas inerte, se encuentra integrando aproximadamente el 80% de la atmósfera terrestre. Aunque éste se halle en abundancia en dicha atmósfera, en la corteza terrestre los compuestos químicos del nitrógeno existen en escasas proporciones, siendo que el nitrógeno que se encuentra en los mencionados compuestos tiende a volver a esa forma estable gaseosa. La gran parte de los seres vivos no son capaces de aprovechar el nitrógeno atmosférico en la forma en que se encuentra en el aire (N_2); sin embargo, el mismo puede ser convertido a una forma combinada químicamente y de esta manera poder ser utilizado por las plantas. A este proceso se lo denomina fijación del nitrógeno, y puede darse de dos maneras: fijación atmosférica y fijación biológica.

La fijación atmosférica está dada por fenómenos de ionización (tormentas eléctricas, radiación cósmica, etc.), los cuales entregan la energía necesaria para que ocurra la combinación del nitrógeno con el oxígeno o el hidrógeno, dando origen a compuestos solubles en el agua de lluvia que se incorporan al suelo.

La fijación biológica del nitrógeno puede ser efectuada por algunas algas y bacterias de vida autónoma y otros microorganismos capaces de tomar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en amoníaco o ión amonio. Como resultado de este proceso los mismos también aparecen en el suelo. El amonio puede ser absorbido por las plantas a través de su sistema

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

radicular y ser utilizado para la formación de aminoácidos y proteínas. Debido a la ingestión de los vegetales, el nitrógeno orgánico se incorpora como proteína a todos los seres vivos a través de la cadena alimentaria.

El contenido de nitrógeno en el agua de lluvia, el que es excretado por los animales como producto residual (heces y orina) en forma inorgánica u orgánica, y el que se encuentra en las proteínas de los seres vivos mediante los restos de vegetales y animales muertos, retornan al suelo. Una vez en el suelo sufre diferentes transformaciones a través de procesos como son la mineralización o amonificación, así como también los de nitrificación, inmovilización (cambio de nitrógeno inorgánico a forma orgánica) y desnitrificación.

La amonificación engloba a las variadas reacciones que dan origen a la formación del ión amonio, comenzando desde la degradación de los compuestos orgánicos del nitrógeno.

La nitrificación es un proceso de oxidación biológica por el cual el ión amonio generado, ya sea a partir del proceso de amonificación o fijación del nitrógeno, se transforma seguidamente, habiendo un medio oxidante, en nitritos y nitratos. Dicho proceso se produce en dos etapas e intervienen dos grupos de bacterias, las Nitrosomonas, que convierten el ión amonio a ión nitrito, y las Nitrobacter, que oxidan el ión nitrito a ión nitrato. Ambos tipos de bacterias son aerobias estrictas, por lo que necesitan de la presencia de oxígeno molecular (O_2), y autotróficas, es decir que utilizan la energía de las reacciones químicas inorgánicas.

La inmovilización es el cambio del nitrógeno inorgánico a una forma orgánica, a través de los microorganismos del suelo y de las plantas, cuando incorporan el nitrógeno inorgánico dentro del tejido microbiano y de la planta respectivamente.

Con la desnitrificación se cierra el ciclo del nitrógeno, en el cual se reducen los nitritos y nitratos a nitrógeno molecular (N_2) u óxido nitroso (N_2O), en condiciones anaeróbicas. Dicha acción en el suelo es efectuada principalmente por bacterias desnitrificantes; luego, estos gases originados son liberados a la atmósfera.

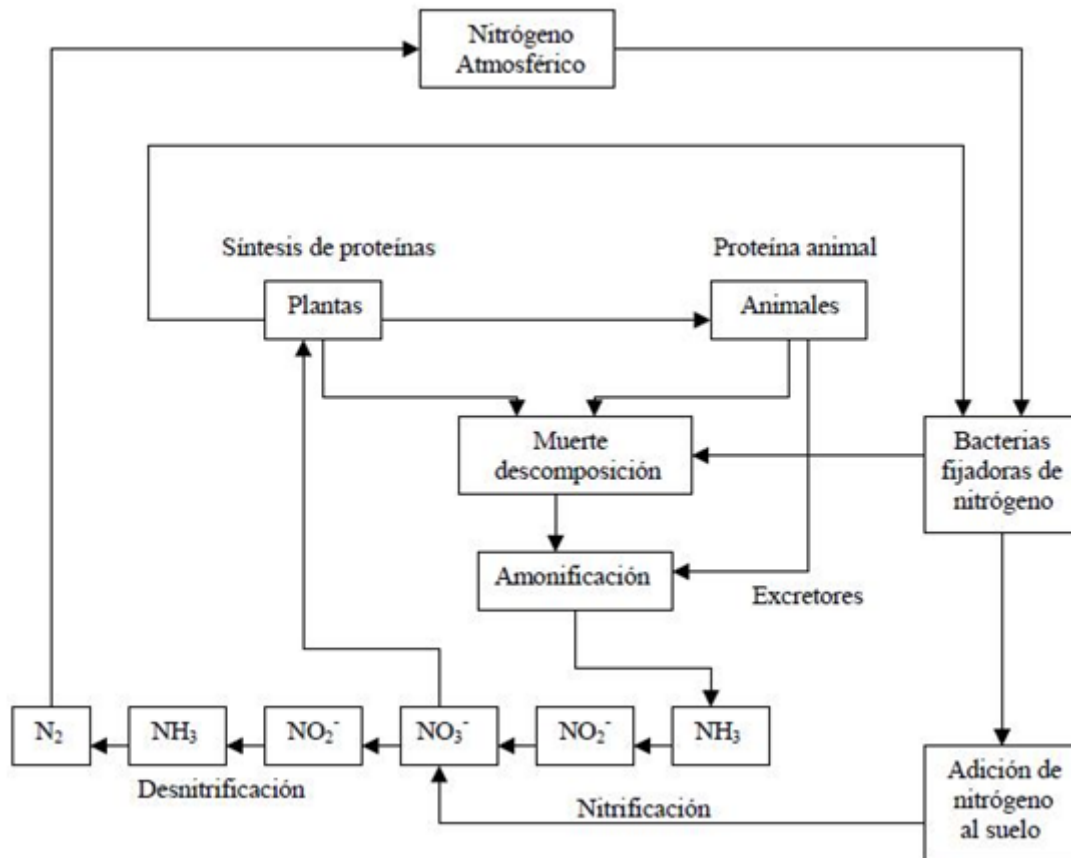


Figura 3.2: Ciclo del nitrógeno (Miller, 1994)

3.3.2.2- Fuentes antropogénicas de nitrógeno.

La fijación del nitrógeno y la desnitrificación equilibran la entrada y salida del nitrógeno en la biosfera. Sin embargo, como consecuencia de las diversas actividades desarrolladas por los seres humanos, se ha producido una alteración del ciclo natural del nitrógeno, por lo que la entrada total de nitrógeno en la biosfera es excesiva respecto a su salida mediante el proceso de desnitrificación. Este desbalance puede responder al uso excesivo de fertilizantes, al vertido de aguas residuales industriales y humanas, a las excretas de animales, a la disposición de residuos domésticos y a emisiones gaseosas.

Los fertilizantes son aplicados al suelo en exceso con el fin de obtener una máxima producción, dado que las plantas no pueden absorber completamente el nitrógeno del suelo. El nitrógeno que no es usado por los vegetales, puede emigrar de los sistemas agrícolas hacia las aguas subterráneas o hacia las superficiales.

Los efluentes industriales procedentes de las industrias alimenticias, textiles y del papel, entre otras, poseen grandes cantidades de materia orgánica nitrogenada, y es común

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

que sean volcados a zanjas, lagunas o pozos, ocasionándose la infiltración de éstos hasta alcanzar el manto acuífero.

Los líquidos residuales domésticos contienen compuestos del nitrógeno, y en áreas donde no se cuenta con servicio cloacal son vertidos a pozos sépticos, de los cuales se pueden producir infiltraciones pudiendo ocasionar la contaminación del agua subterránea. Si las aguas servidas se envían directamente a pozos absorbentes sin un tratamiento anterior, éstos actúan solo como una cavidad en la que los líquidos que llegan se van infiltrando en el terreno, hasta que el pozo se colmata debido a que las materias sólidas en suspensión obstruyen las vías de filtración. Según lo expuesto, existe una correlación entre la porosidad del terreno y la filtración de los líquidos a través del mismo. Por lo tanto, mientras mejor resulte un terreno por su porosidad, para el funcionamiento del pozo absorbente, mayor será la facilidad de contaminación de la primera napa.

Las excretas provenientes de animales de granja contienen grandes cantidades de material nitrogenado que puede ser convertido en nitratos.

En áreas urbanas, suburbanas o rurales, algunas fuentes de residuos orgánicos pueden contribuir con una importante liberación de nitrógeno al ambiente. Los basurales a cielo abierto funcionan como medio para contaminar las aguas subterráneas, ya sea, mediante los líquidos provenientes de los propios residuos o por la infiltración del agua de lluvia a través de los mismos.

Las emisiones gaseosas provenientes de diferentes procesos industriales, del transporte, de la quema de combustibles fósiles, etc. se liberan a la atmósfera conteniendo óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos últimos se combinan con la radiación solar y el vapor de agua, convirtiéndose en ácido nítrico (H_2NO_3), el cual regresa a la superficie de la tierra en forma de rocío, niebla, aguanieve, nieve o lluvia.

Que el nitrógeno pueda lixiviarse a través del perfil del suelo y alcanzar el agua subterránea, depende de varios factores, entre ellos, la permeabilidad y el espesor de la zona no saturada debido a que éstos determinan la velocidad y el tiempo de recorrida hasta la zona saturada. Un nivel freático profundo disminuye la posibilidad de que el contaminante alcance el agua subterránea, ya que tiene que efectuar un mayor recorrido. El riesgo de lixiviación hasta llegar al agua subterránea, es superior en suelos con aguas poco profundas respecto de otros de mayor profundidad. Esto explica por qué la profundidad es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar la vulnerabilidad del acuífero.

3.3.3.- Efectos sobre la salud.

Cuando el nitrito entra en el flujo sanguíneo, reacciona con la hemoglobina y forma un compuesto llamado metahemoglobina. Este compuesto reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno y el nivel de oxígeno en sangre disminuye. El mayor riesgo en la salud se da en los infantes menores a 6 meses de edad, los cuales muestran síntomas de una enfermedad llamada metahemoglobinemia, también conocida como “la enfermedad de los bebés azules”. Recibe este nombre porque la piel a menudo se convierte en un color azul o grisáceo, especialmente alrededor de la boca y los ojos. Si se descubre con rapidez, esta enfermedad puede ser tratada exitosamente con una inyección de azul de metileno, que transforma la metahemoglobina de nuevo a hemoglobina. La enfermedad es extremadamente grave si no se trata: la muerte tiene lugar cuando el 70 por ciento de la hemoglobina del cuerpo ha sido transformada a metahemoglobina. Los adultos tienen un bajo riesgo de éste síndrome, pero el mismo aumenta si presentan problemas de salud crónicos, como enfermedades del corazón o pulmones o deficiencias de enzimas. Mujeres embarazadas o lactantes deberían también evitar beber agua con niveles elevados de nitritos porque los efectos pueden ser pasados al feto o infante.

3.3.4.- Límites admisibles de concentraciones de nitritos en agua de consumo.

El nivel máximo de nitritos en aguas de consumo humano fijado por la Organización Mundial de la Salud es de 0,2 mg/L. Al igual que el arsénico, se trata de un valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.

Por su parte, el Código Alimentario Argentino fija, en el Artículo 982, una concentración máxima permitida de 0,10 mg/L para el ion nitrito en agua potable (la mitad del valor establecido por la OMS).

3.3.5.- Métodos de remediación.

El nitrito es un anión estable altamente soluble en agua con un bajo potencial para la co-precipitación o adsorción, lo que conduce a que tratamientos convencionales de aguas como la filtración o el ablandamiento no sean adecuados para su eliminación. Algunos de los métodos aplicables son el intercambio iónico, la osmosis inversa, la ozonización y la cloración (USEPA, 1990).

El intercambio iónico es uno de los métodos de tratamiento más desarrollado. Es un proceso físico-químico en el cual los iones nitrito son desplazados de un material insoluble de

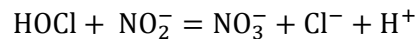
Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

intercambio (resina) por otros iones que se encuentran en solución, como ser cloruro o bicarbonato de sodio.

La osmosis inversa consiste en separar las sustancias disueltas forzando la circulación del agua por una membrana semipermeable bajo una presión superior a la osmótica, dejando el nitrito a eliminar al otro lado de la membrana.

Otra solución para eliminar los nitritos del agua es oxidándolos a nitratos, los cuales son mucho menos tóxicos que los nitritos. Esto puede conseguirse mediante la inyección de ozono en el agua, a través de dispositivos generadores de ozono.

La cloración es un método sencillo y eficaz, que consiste en introducir productos clorados en el agua para eliminar los nitritos presentes en la misma. Luego de un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable, y gracias al efecto remanente del cloro, continúa siéndolo durante horas o días. El proceso químico que tiene lugar durante la cloración se describe mediante la siguiente ecuación:



Dado que el nitrato se reduce a nitritos en los lactantes, es muy importante verificar su concentración después de la cloración.

El empleo de uno u otro método dependerá de las necesidades, características y escala del problema a resolver. De los métodos anteriormente mencionados, la cloración es la opción de mayor aplicación en el ámbito rural, por lo que se describe en detalle en el apartado siguiente.

3.4.-Cloración.

3.4.1.-Introducción.

Una de las principales ventajas de la cloración como sistema de remediación radica en la facilidad con la que pueden conseguirse el cloro y sus derivados, aún en lugares remotos de países en desarrollo. Otra característica de importancia es su efecto residual y su buena persistencia en los sistemas de distribución de agua.

Comparado con otros métodos, la cloración es un método rápido y efectivo, de fácil manipulación, aplicación y control, y económico y eficaz en relación con sus costos. Todo esto permite, en forma bastante simple, asegurar la inocuidad del agua desde que se produce hasta el momento que se usa, y es por ello que el cloro es uno de los métodos de mejor aplicación en zonas rurales.

3.4.2.-Factores que influyen en la eficacia del método.

El poder de remediación del cloro depende de varios factores, como ser:

- Tipo y concentración del producto del cloro usado.
- Temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápido es el proceso.
- Tiempo de contacto entre el cloro y el agua. El tiempo mínimo es de treinta minutos antes de consumir el agua. Mientras mayor sea este periodo, los resultados serán mejores.
- Calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor.
- pH del agua. La acidez o alcalinidad del agua afecta la acción del cloro. Un agua con pH básico ($\text{pH} > 8$) solo podrá ser desinfectada eficazmente con una sobredosis de cloro.
- Condiciones de la mezcla. Se obtiene buenos resultados cuando la mezcla del agua y el desinfectante es homogénea.

3.4.3.- Límites admisibles de concentraciones de cloro en agua de consumo.

Los estándares de agua potable de la OMS, determinan que entre 1 y 3 mg/L de cloro deben añadirse al agua para una desinfección satisfactoria y concentración residual, siendo el contenido máximo de cloro que se puede utilizar de 5 mg/L. Establecen también que para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre mayor o igual a 0,5 mg/L tras un tiempo de contacto de al menos 30 minutos a pH menor a 8,0.

Por su parte, el Código Alimentario Argentino solo hace referencia a las concentraciones admisibles de cloro residual. El CAA fija, en el artículo 982, una concentración de cloro activo residual mínima de 0,2 mg/L y una máxima de 1 mg/L en agua potable.

3.4.4.- Productos del cloro disponibles y sus propiedades.

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado son el cloro gaseoso, la cal clorada, el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio. Las propiedades de los productos mencionados anteriormente se presentan en la Tabla 3.1.

Fuera del gas, todos los otros productos químicos basados en el cloro son líquidos o siendo sólidos pueden ser disueltos y usados como una solución. Ésta es la manera más popular de desinfectar en el medio rural. Es sencilla, fácil, económica y pueden usarse muchos dispositivos de tecnología apropiada disponibles.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Además, el uso de cloro gaseoso no suele aplicarse en el ámbito rural, ya que su uso no es recomendable para caudales menores a 500 m³/día, lo que a una dotación de 100 litros por habitante por día, típica del medio rural, significa que el cloro gas sólo es recomendable para poblaciones mayores de 5,000 habitantes.

Tabla 3.1: Propiedades de los productos del cloro (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

Nombre y fórmula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
<i>Cal clorada</i> CaO.2CaCl 2O. 3H ₂ O	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
<i>Hipoclorito de sodio</i> NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
<i>Hipoclorito de calcio</i> Ca(ClO)2.4 H ₂ O	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 - 70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores de 45 - 135 kg, baldes de plástico

3.4.5.- Sistemas de dosificación.

Un dosificador es un dispositivo que descarga un producto químico a una frecuencia predeterminada en el tratamiento del agua. La selección del equipo dosificador de cloro depende de las características del producto clorado a aplicar, la dosis de cloro necesaria y el caudal de agua a remediar.

Existen varias maneras de alimentar una solución, y en base a ello se pueden clasificar a los equipos dosificadores según su fuerza de impulsión. Así se tiene a aquellos que trabajan bajo presión atmosférica y aquellos que trabajan bajo presión positiva o negativa.

3.4.5.1.- Bajo presión atmosférica

Los dosificadores de este tipo más usados son los que operan bajo el principio de “carga constante” debido fundamentalmente a su mayor precisión y confiabilidad. Un sistema de carga constante está compuesto de dos elementos: un tanque de carga constante que contiene una solución stock a ser dosificada y un mecanismo de regulación. Dentro de este grupo podemos encontrar tres sistemas.

El tanque con válvula flotador (Figura 3.3) consta de uno o dos tanques contenedores de la solución a ser alimentada, y una válvula de flotador -de la misma clase que la usada en los depósitos de inodoro- colocada en un tanque pequeño. El sistema, aunque sencillo y barato, es bastante exacto.

El tubo con orificio en flotador (Figura 3.4) tiene como elemento básico un tubo de PVC con uno o más orificios. El tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución. La solución ingresa al tubo y fluye hacia abajo a la tasa deseada de alimentación hacia el punto de aplicación. Una ventaja de este tipo de hipoclorador es que no se corroe, debido a que está hecho de tubería plástica, además no hay válvulas que se descompongan, y se limpian fácilmente las obstrucciones producidas por depósitos de calcio o magnesio. La tasa de dosificación se puede ajustar fácilmente con tan solo cambiar la profundidad de inmersión de los orificios.

El sistema vaso/botella (Figura 3.5) fue desarrollado en Argentina, para la desinfección de agua en zonas rurales. Consta de un tanque con la solución stock, un elemento de dosificación, conexiones y una válvula de regulación. Este sistema es económico, fácil de construir, operar y preciso.

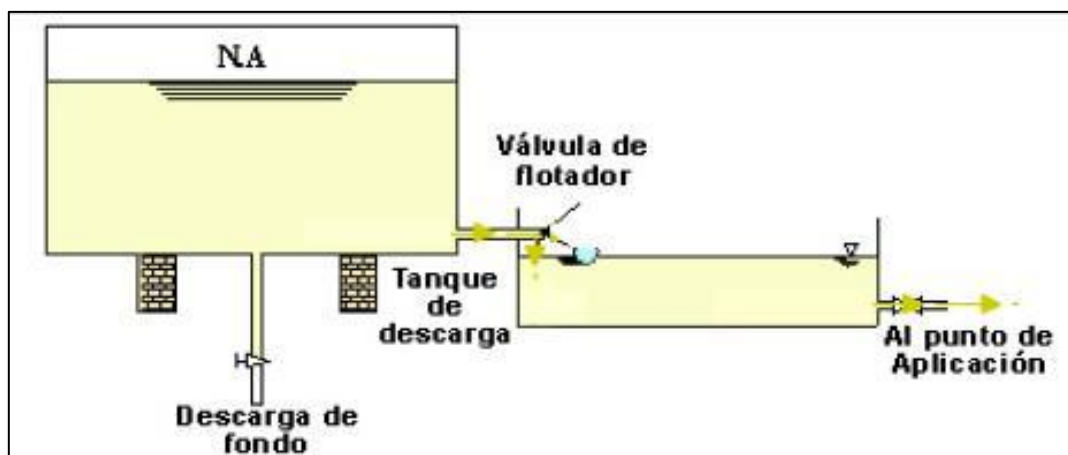


Figura 3.3: Sistema de tanque con válvula flotador (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

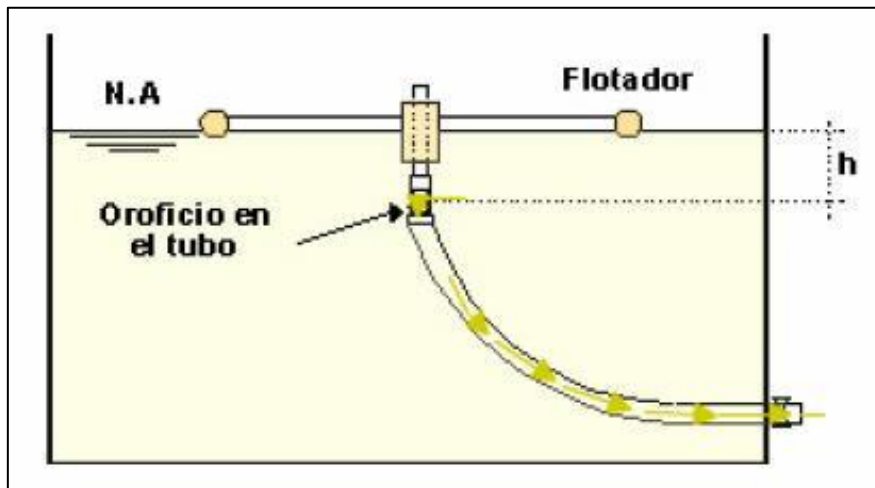


Figura 3.4: Sistema de tubo con orificio en flotador (OPS, 2007)

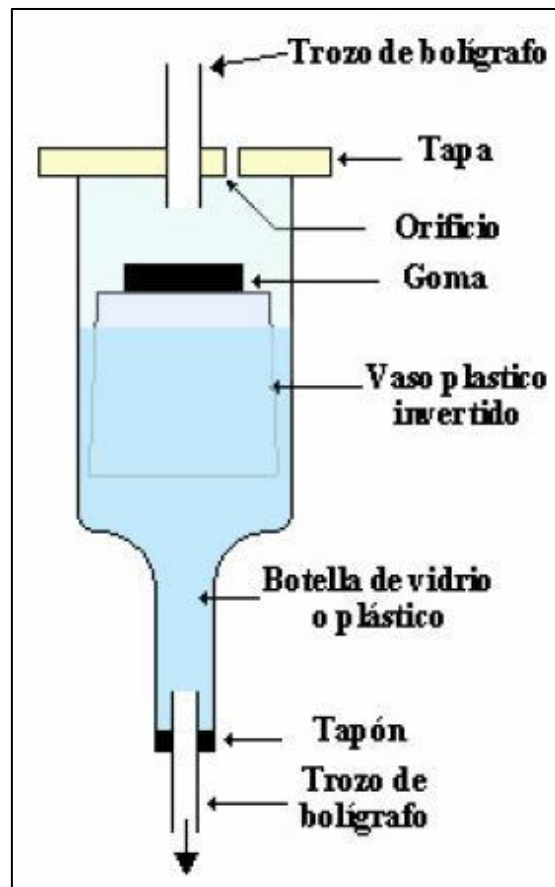


Figura 3.5: Dispositivo vaso/botella (OPS, 2007)

3.4.5.2.- Bajo presión positiva o negativa.

Los “dosificadores de presión positiva” trabajan sobre el principio de que la solución de cloro es presurizada encima de la presión atmosférica y posteriormente inyectada a una cañería (tubería) de agua. El sistema de presión positiva más importante es la popular bomba de dosificación de diafragma (Figura 3.6).

Los dosificadores por succión negativa trabajan sobre el principio de que la solución de cloro es succionada por el vacío creado por un dispositivo Venturi o al conectar el equipo dosificador a una tubería de aducción. El sistema de presión negativa más usado es el dispositivo Venturi (Figura 3.7), instalándose en la misma tubería presurizada de agua de abastecimiento o en una línea alterna.

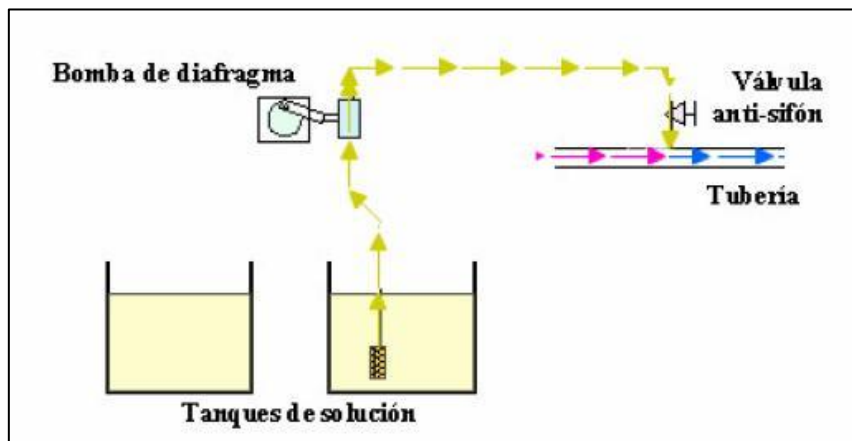


Figura 3.6: Hipoclorador de diafragma de desplazamiento positivo alimentando una tubería a presión (OPS, 2007)

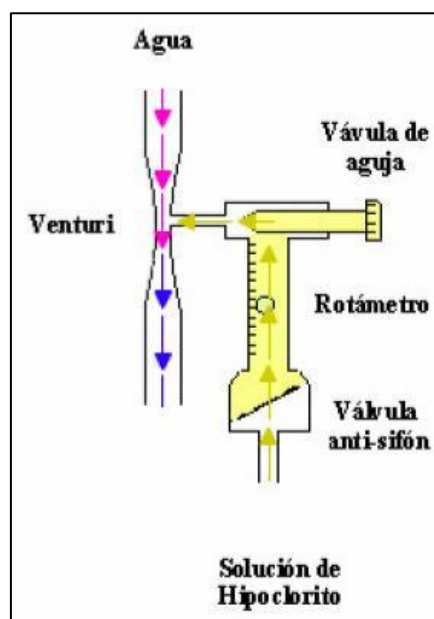


Figura 3.7: Esquema de operación del Venturi (OPS, 2007)

3.4.5.3.- Erosión de tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio.

Los equipos dosificadores que trabajan bajo el “sistema por erosión” utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración, las que se pueden obtener de distribuidores o prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio.

Los dosificadores de erosión disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas (Figura 3.8). Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. Según las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que van cayendo por gravedad en la cámara.

La solución de cloro concentrada alimenta un tanque, un canal abierto o un reservorio, según sea el caso.

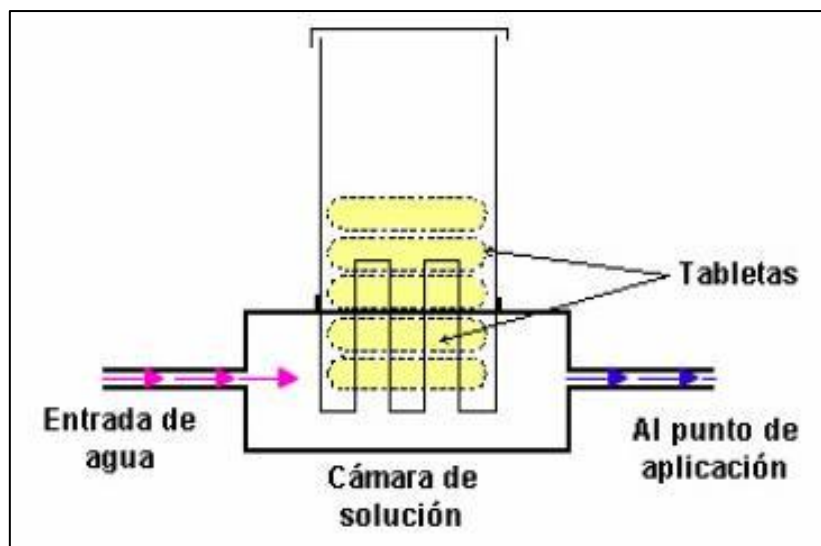


Figura 3.8: Operación de un dosificador de tabletas de hipoclorito de calcio (OPS, 2007)

3.4.5.4.- Hipoclorador de flujo difusión.

Este dispositivo, construido con tubería de PVC, tiene una altura máxima de 60 cm y una distancia entre agujeros de entre 1,5 ó 3 cm, lo que origina dos modelos, los cuales trabajan con caudales comprendidos entre 0,2 a 0,35 lt/s. La altura efectiva y la distancia entre los agujeros se determinan a partir de la dosis a aplicar, el cloro residual deseado, el caudal y el número de días de operación del hipoclorador. Se trata de un dispositivo desmontable y de operación sencilla. La Figura 3.9. presenta un esquema de este dispositivo.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

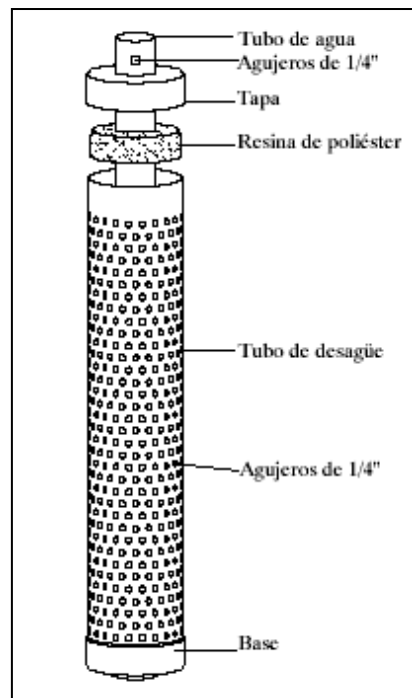


Figura 3.9: Elementos del hipoclorador de flujo difusión (OPS, 2007)

3.4.5.5.- Comparación entre los distintos sistemas de dosificación.

En las Tablas 3.2 y 3.3 se exponen los atributos, ventajas y desventajas de los distintos equipos y dosificadores mencionados anteriormente.

Tabla 3.2: Atributos de los dosificadores (OPS, 2007)

	1	2	3	4
Sirve para corrientes de agua (canales, tubos sin presión)	SI	SI	NO	SI
Sirve para dosificar bajo presión (tuberías en carga)	NO	SI	SI	SI
Sirve para flujos intermitentes	NO	SI	SI	SI
Sirve para caudales: Bajos, Intermedios o Altos	B-I	I-A	B-I	B-I
Puede ser construido localmente por artesanos del lugar	SI	NO	SI	SI
Disponibilidad de repuestos en el lugar o en comunidades cercanas	SI	SI	NO	SI
Conocimiento del operador para mantenimiento y reparaciones: Bajo, Intermedio o Alto (B.I.A.)	B	I	B	B

A = Alto

I = Intermedio

B = Bajo

1. Dosificadores de solución (caja nivel constante; vaso/botella; tubo con orificio) (Hipoclorito de sodio)
2. Bombas dosificadoras (Hipoclorito de sodio)
3. Venturis (Hipoclorito de sodio)
4. Aparatos de Erosión (Hipoclorito de calcio)

Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de los distintos métodos de dosificación (OPS, 2007)

Clasificación	Equipo dosificador	Ventajas	Desventajas
	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
Solución	Tanque con válvula de flotador	Sumamente sencillo de operar y mantener. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	La dosificación no es muy precisa. Error de alrededor de 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%.
	Sistema vaso/botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 kg/cm ² .	El personal debe adiestrarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.
Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.	
Sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Errores de dosificación alrededor de 10%. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavemas y no caen en la cámara de disolución.

3.4.6.- Consideraciones para la elección producto de cloro a emplear y del sistema de dosificación.

Para elegir cuál de los derivados del cloro se ha de emplear, así como el mecanismo para suministrarlo, deben considerarse numerosas cuestiones.

La cantidad necesaria de producto está en función del caudal de agua a tratar, la dosis requerida según la calidad de agua y las normas de calidad de agua de bebida del país.

La posibilidad de abastecimiento del producto es un factor condicionante para la selección del mismo, ya que en muchos casos las zonas rurales se encuentran muy alejadas de las ciudades y son de difícil acceso, lo cual podría sugerir la necesidad de emplear otro desinfectante o bien de preparar hipoclorito de sodio in situ.

La capacidad técnica disponible debe ser considerada para la selección, ya que operar instalaciones que sean complicadas requiere de personal entrenado y capaz, difícil de encontrar y remunerar en zonas rurales. En general, los sistemas más complejos requieren personal más calificado que los sencillos, aunque estos últimos pueden requerir atención más frecuente. Así mismo, la disponibilidad y fiabilidad de una fuente de energía eléctrica suele ser un factor determinante que en muchos casos restringe la selección de algunas tecnologías de desinfección para los sistemas de abastecimiento de agua para comunidades pequeñas, como ser las bombas de dosificación.

Por último, en lo que se refiere a los costos, se habrá de tener en cuenta las circunstancias, por ejemplo: una solución más costosa podría convenir si la fiabilidad, durabilidad, sencillez de operación y disponibilidad de repuestos y suministros son mejores que los del sistema menos costoso. Dado que las concentraciones de cloro activo en los diferentes productos de cloro varían, y por tanto el volumen requerido del mismo también variará, deberán ser considerados los costos de transporte. La tecnología menos costosa no siempre es la más conveniente. La desinfección es tan importante que la fiabilidad, continuidad y eficacia generalmente tienen prioridad sobre los costos iniciales o los de operación y mantenimiento. Generalmente conviene pagar un poco más si la inversión adicional asegurará el éxito, pudiendo inclusive resultar más económica en el largo plazo.

En algunos casos la organización social, las aptitudes disponibles y la infraestructura que apoyan a las comunidades pequeñas quizás no sean adecuadas para satisfacer los requisitos técnicos de ciertos sistemas de remediación. Es por lo tanto necesario investigar y considerar estos aspectos durante el proceso de selección del sistema de desinfección. En todo caso, la salud debe ser la consideración principal al momento de seleccionar la alternativa más adecuada.

3.5.-Síntesis.

En este Capítulo se hizo una descripción y caracterización del elemento químico arsénico y del ión nitrito. Se analizaron las causas de su presencia en el ambiente y las respectivas consecuencias que esto genera. Se expusieron las normativas vigentes sobre calidad de agua respecto a estas sustancias y se reseñaron los métodos de remediación existentes.

En la última parte, se expuso con mayor detalle la técnica de cloración como método de remoción de los nitritos del agua de consumo, con vistas a aplicarse en la localidad de Colonia Las Pichanas.

CAPÍTULO 4: FILTRO NATURAL DE BAJO COSTO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE COLONIA LAS PICHANAS

4.1.- Introducción.

Existen diferentes métodos de remediación de arsénico, de diferentes costos y aplicables a varias escalas. En los últimos años, el grupo de investigación en medios porosos y aguas subterráneas (IMPAS) de la FCEFyN ha llevado a cabo trabajos en procesos de remediación de arsénico en agua a través de adsorción en geo-materiales. Acorde a esta línea de investigación, se propone implementar en la comunidad de Colonia Las Pichanas dispositivos caseros de remoción de arsénico que funcionen con dicho proceso. Se trata de filtros lentos, donde el material adsorbente es un suelo natural de la provincia de Córdoba. El arsénico del agua, al pasar a través del mismo, por procesos de adsorción queda atrapado en la matriz reactiva y logra ser eliminado del agua para consumo.

En el presente Capítulo se exponen conceptos sobre el funcionamiento del dispositivo sugerido y se describe la metodología de trabajo seguida para evaluar su eficacia y su factibilidad de aplicación.

4.2.- Principio de funcionamiento del dispositivo casero de remoción de arsénico propuesto.

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido se separan del mismo mediante un medio filtrante, o filtro, que permite el paso del fluido a su través, reteniendo las partículas sólidas.

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos por fuerzas químicas o físicas, es decir, es el proceso mediante el cual un sólido a nivel microscópico es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se denomina adsorbente (Figura 4.1).

Diferentes factores pueden influir en la eficiencia de este sistema, a saber:

- la presencia de sólidos disueltos
- aniones que compiten en afinidad con el medio
- tiempo de contacto en el lecho
- el estado de oxidación del arsénico

- turbiedad del medio
- posibilidad de regeneración
- degradación de la capacidad del medio luego de sucesivas regeneraciones
- pH del agua
- tasa de filtración
- toxicidad y disposición del medio solido agotado

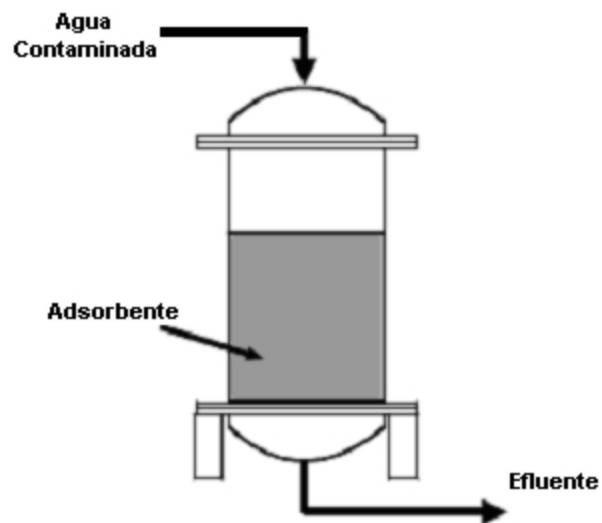


Figura 4.1: Modelo de un sistema de adsorción (EPA, 2002).

Las superficies adsorbentes de arsénico pueden ser alúmina activada, medios basados en hierro u otros óxidos, bauxita, hematita, feldespato, laterita, minerales arcillosos (e.g. bentonita y caolinita), carbón de hueso, material celulósico o carbón activado.

La remoción por medio de adsorción en medios naturales presenta la ventaja de ser económica en el caso de que se puedan utilizar geomateriales fácilmente accesibles en la zona donde se encuentran las aguas a remediar, como por ejemplo, arcillas, o suelos locales.

En este trabajo se estudia el funcionamiento de un filtro cuyo material reactivo proviene de los conglomerados (roca sedimentaria) de origen Triásico, ubicados hacia el Oeste de la Ciudad de Córdoba entre las localidades de Villa Allende y La Calera (Cuesta Colorada). Este material, fácilmente extraíble ya que cuenta con una débil cementación, resulta apto para la adsorción del arsénico debido a la presencia de óxidos de hierro, y a su vez tiene una matriz

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

granular que presenta en estado disgregado una composición similar a una arena gruesa con clastos, por lo que es ideal para fabricar un filtro permeable.

El filtro propuesto se colocaría a la salida de la red de agua de pozo y antes de un dispenser de agua para bebida.

4.3.- Trabajo de laboratorio.

Se realizaron ensayos de laboratorio para modelar el funcionamiento del filtro y obtener parámetros de calibración del mismo. En primer lugar se describe y caracteriza el material ensayado, luego se expone la metodología de trabajo seguida para evaluar su comportamiento como matriz adsorbente.

4.3.1.- Material reactivo.

El suelo ensayado fue arena limosa, proveniente de la Cuesta Colorada en La Calera, provincia de Córdoba, Argentina (Tabla 4.1 y Figuras 4.2 y 4.3)

Tabla 4.1: Ficha de extracción del material a ser utilizado

Lugar	Cuesta Colorada, La Calera, Provincia de Córdoba-Argentina.
Latitud	31° 21' 20,21" S
Longitud	64° 19' 19,14" O
Fecha de extracción	02 de agosto de 2011

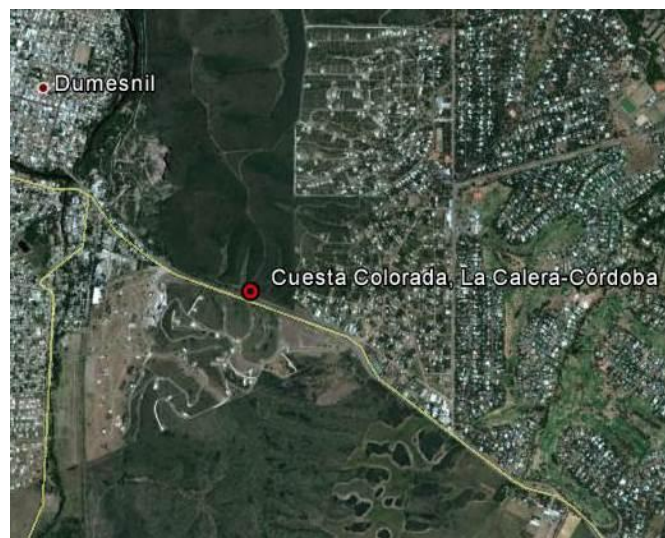


Figura 4.2: Ubicación del sitio de extracción del material para filtro.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

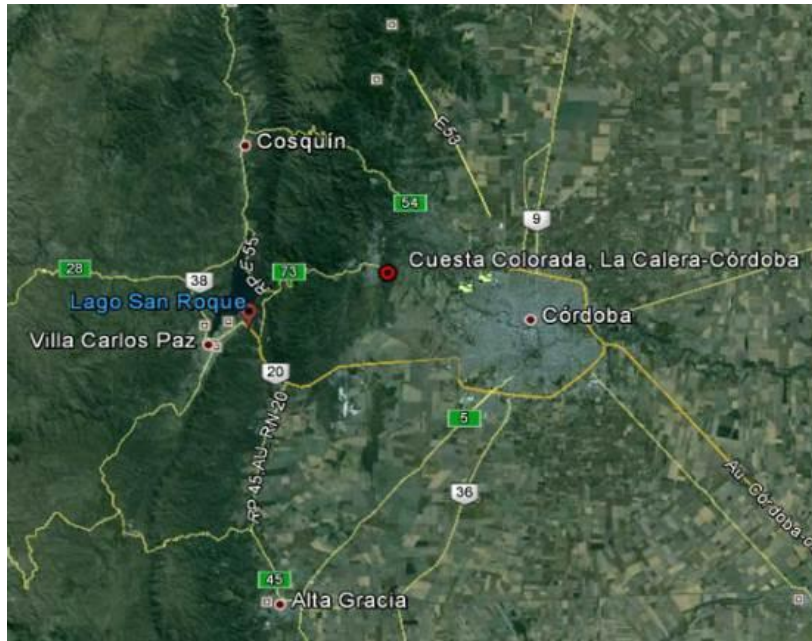


Figura 4.3: Ubicación del sitio de extracción del material para filtro.

Para la realización de la granulometría se partió de un cuarteo de la muestra. Teniendo en cuenta el tamaño máximo de partículas, la cantidad de material seleccionado para la granulometría después del cuarteo fue de 0,5 kg. Se secó el material en el horno a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 24 horas. Una vez que el material estuvo seco, el mismo fue pasado por los tamices 3/4", 1/2", 1/4", N°4, 10, 40, 60, 100 y 200. Se pesó el material retenido en cada tamiz, excepto el retenido en el tamiz N° 200, el cual fue lavado para que los finos que estuviesen retenidos o adheridos en las partículas pudieran pasar a través del mismo. Luego de esto, el material retenido en el tamiz N° 200 fue puesto a secar en un horno por 24 horas. Con los pesos retenidos de todos los tamices se pudo obtener el peso de material que pasó el tamiz N° 200, restando la suma de retenidos al peso inicial de la muestra. Con los demás datos se encontraron los porcentajes pasantes por cada tamiz y de esta forma se pudo graficar la curva granulométrica que se ve en la Figura 4.4.

Para la clasificación del material se utilizó la metodología del sistema USCS. El porcentaje de material que pasó el tamiz N° 200 no superó el 50% por lo que se trata de un suelo grueso. Dado que se verificó que el porcentaje que pasó el tamiz N° 4 fue mayor al 50 %, el material pertenece a una arena. Posteriormente se verificó que el porcentaje que atravesó el tamiz N° 200 fue menor que el 12 % y mayor que el 5 %, por lo que puede afirmarse que al material le corresponde doble símbolo. A partir de la forma de la curva granulométrica (Figura

4.4) se calcularon los coeficientes de curvatura y uniformidad. Finalmente se pudo verificar que se trata de una arena SP-SM .

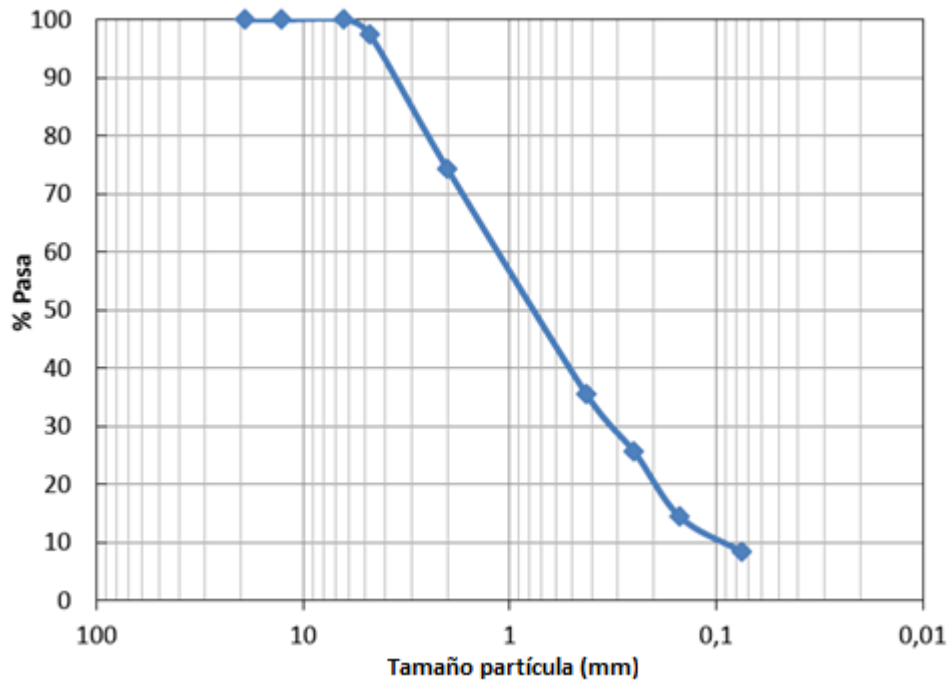


Figura 4.4: Curva granulométrica del material ensayado.

4.3.2.- Técnicas empleadas para la determinación de concentraciones de arsénico.

Para la detección de arsénico en el agua existen diferentes metodologías: métodos gravimétricos, colorimétricos, por fluorescencia de rayos x, absorción atómica, espectrometría, entre otros. Estas técnicas pueden presentar ciertas ventajas y desventajas dependiendo del propósito, costo, tiempo, sensibilidad y precisión.

Para los ensayos efectuados en el marco de este trabajo se emplearon dos:

- Técnica mejorada del Test kit QUANTOFIX® Arsénico 10 de la marca comercial Macherey-Nagel
- Espectroscopia de absorción atómica con generación de hidruros y sistema de inyección en flujo (Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry, FIAS)

4.3.2.1.- Técnica mejorada del Test kit QUANTOFIX® Arsénico 10

El test kit comercial QUANTOFIX® Arsénico 10 (Figura 4.5) permite obtener una medida rápida de la concentración de arsénico en una muestra de agua.



Figura 4.5: Test kit QUANTOFIX® Arsénico 10.

Este test kit presenta las siguientes ventajas:

- De aplicación muy rápida para el usuario, ya que en un tiempo de 10 min se puede visualizar el resultado;
- Es un kit que viene listo para el uso, pre calibrado, contiene los reactivos y accesorios necesarios para la realización del ensayo;
- Se necesita una muestra muy pequeña para la determinación del ensayo;
- Costo bajo en relación a otros métodos.

La desventaja del mismo es que depende de la sensibilidad del operador para la visualización del resultado. La gradación del test kit viene dada de la siguiente manera: 0; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 y 0,5 mg/L.

Este test kit se basa en el método colorimétrico de Gutzeit: la muestra de agua entra en contacto con polvo de zinc y ácidoperacético, éstos en contacto con los compuestos arsenicales de la muestra generan gas arsina y al contacto con la almohadilla reactiva, que está embebida en bromuro de mercurio, cambia de color, desde un blanco (0 mg/L), pasando por diferentes tonos de amarillo y naranja (0,01; 0,025; 0,05; 0,1 mg/L) hasta llegar a un marrón (0,5 mg/L).

El procedimiento a seguir para la determinación de As con este método es el siguiente:

1. Se colocan 30 ml de solución en un recipiente de vidrio.
2. Se añade una gota de reactivo y luego se agita.
3. Se añade una medida de ácido en polvo y luego se agita.

4. Se añade una medida de polvo zinc y luego se agita.
5. Se coloca un bastoncito con almohadilla embebida en bromuro de mercurio dentro del recipiente de vidrio, de forma que queden 2 cm desde la punta del bastoncito hasta el borde del recipiente y se cierra con la tapa plástica de forma que se fija la almohadilla a la distancia mencionada. Se perfora la tapa con la aguja de manera que pueda fluir el gas arsina.
6. Se deja reposar la muestra durante diez minutos.
7. Transcurridos los diez minutos, se sumerge la almohadilla del bastoncito en agua destilada durante 2 segundos. Se agita un poco para eliminar el exceso de líquido.
8. Se lee el resultado visualmente comparando el color de la almohadilla reactiva con la escala de colores.

Los pasos descritos anteriormente son los indicados por la marca comercial y se muestran en la Figura 4.6.

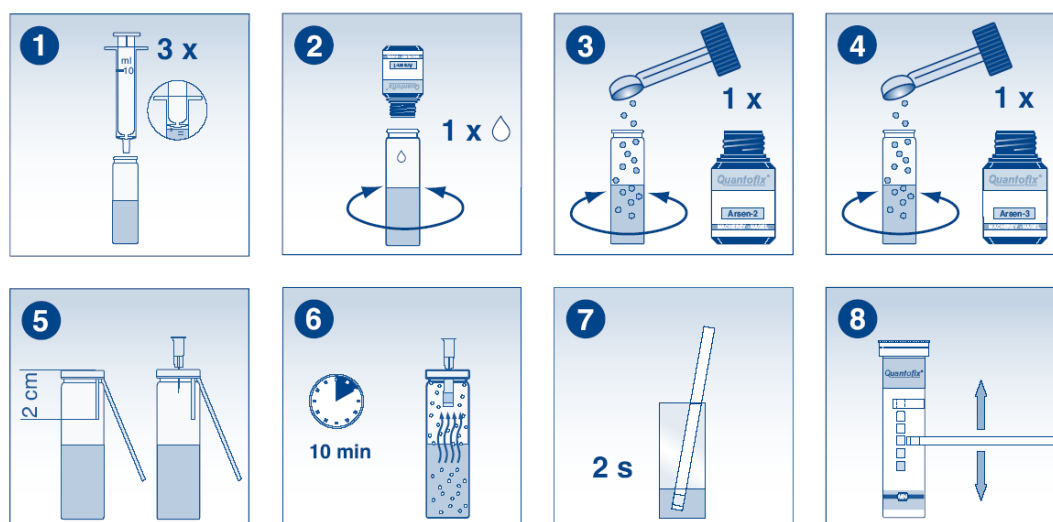


Figura 4.6: Metodología de uso del Test kit QUANTOFIX® Arsénico 10.

Para una optimización del método Carro Pérez y Francisca (2012) proponen una metodología de análisis a través de imágenes digitales del color de la reacción obtenida. Para ello es necesario elaborar previamente una curva de calibración en base a las tonalidades obtenidas con soluciones con concentración de arsénico conocidas.

En este proyecto, se trabajó inicialmente con una curva de calibración elaborada por el Ing. Daniel Panique, miembro del grupo IMPAS, como parte del trabajo final de un máster en Ingeniería del Agua de la Universidad de Sevilla, España. Las dificultades en el uso y

funcionamiento particular de la máquina fotográfica empleada para elaborar dicha curva, ocasionaron que los resultados obtenidos no fueran confiables y en muchos casos tampoco consistentes con las muestras. Por este motivo, se le encomendó a la alumna la tarea de elaborar una nueva curva de calibración a partir de otra cámara fotográfica. La cámara utilizada fue una PowerShot SX150 IS de marca Canon, con una resolución de 14 megapíxeles, un zoom de 12 aumentos con unas focales equivalentes 28-336 milímetros y una luminosidad máxima de f3.4-5.6

Esta curva se elaboró utilizando soluciones con las mismas concentraciones de arsénico que las predeterminadas en el test kit comercial anteriormente mencionado; la determinación de las concentraciones conocidas se realizó utilizando la metodología descrita en el punto anterior.

Mediante fotografías digitales se consiguió el nivel digital de cada concentración, es decir, se transformaron dichas concentraciones en un determinado tono de gris. Las fotografías se tomaron específicamente a las almohadillas a una altura, distancia focal e intensidad de luz siempre iguales. Los niveles digitales se obtuvieron a partir de un programa de procesamiento de imagen digital de dominio público "ImageJ", el cual se encuentra en el Research Services Branch del National Institutes of Health en Estados Unidos. Se recortó cada fotografía digital a un tamaño predeterminado en píxeles (155 x 165). Luego, el programa calculó y mostró un histograma de la distribución de valores de nivel digital (ND) de cada imagen teniendo como límites el blanco con un valor de 255 y el negro con un valor de cero.

Para la elaboración de la curva de calibración se utilizaron 120 imágenes, 20 por cada concentración conocida. Obtenidos los niveles digitales de cada concentración, se calculó la media de cada concentración (Tabla 4.2) y se graficaron ambos valores en un sistema de ejes cartesianos (nivel digital versus concentración inicial). Se obtuvieron 6 puntos y se verificó que el mejor ajuste gráfico está dado por una curva polinómica (Figura 4.7), seguida de una lineal (Figura 4.8). Con la curva polinómica obtenida se determinaron las concentraciones de arsénico en los ensayos realizados posteriormente.

El fin de esta curva de calibración es poder aumentar la precisión del método, poder definir concentraciones intermedias entre los límites del test kit comercial y disminuir los errores por apreciación visual del operador.

El procedimiento completo, considerando la metodología de análisis optimizada comentada anteriormente, incluiría entonces estos dos pasos adicionales:

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

9. Inmediatamente después de completar los pasos 1 a 8, se debe colocar el bastoncito con la almohadilla reactiva sobre una base vertical prefijada y tomar entre 10 a 20 fotografías, teniendo en cuenta siempre la misma distancia del foco de la cámara con la almohadilla reactiva, la misma altura de la cámara y las mismas condiciones de luz.

10. Posteriormente, se analizan los valores medios digitales de cada fotografía y se obtiene un promedio del valor medio de todas las fotografías. Ingresando con el valor de nivel digital a la curva de calibración, se obtiene la concentración de arsénico en la solución.

En resumen, el test kit convencional se utilizó según las pautas establecidas desde los puntos 1 al 8; los pasos 9 y 10 fueron añadidos según el método propuesto por Carro Pérez y Francisca (2012). Estos dos últimos pasos permiten que la subjetividad del operador no sea un factor que afecte las determinaciones de las concentraciones.

Tabla 4.2: Valores empleados para graficar la curva de calibración

Imagen	Concentración [mg/L]	Valor de Nivel Digital	Gris equivalente
	0	151,54	
	0,01	152,89	
	0,025	148,67	
	0,05	146,54	
	0,1	121,99	
	0,5	70,245	

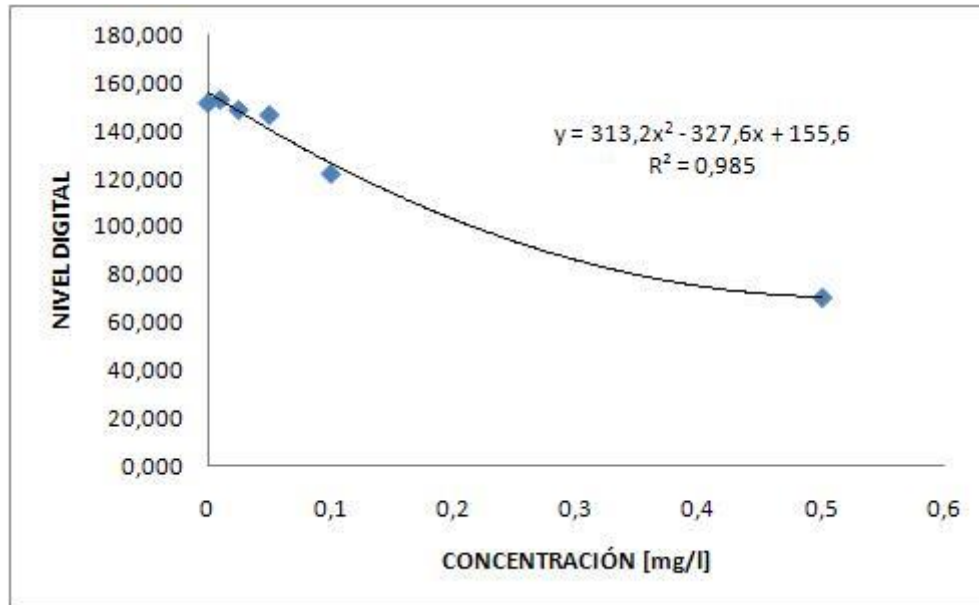


Figura 4.7: Curva de calibración polinómica

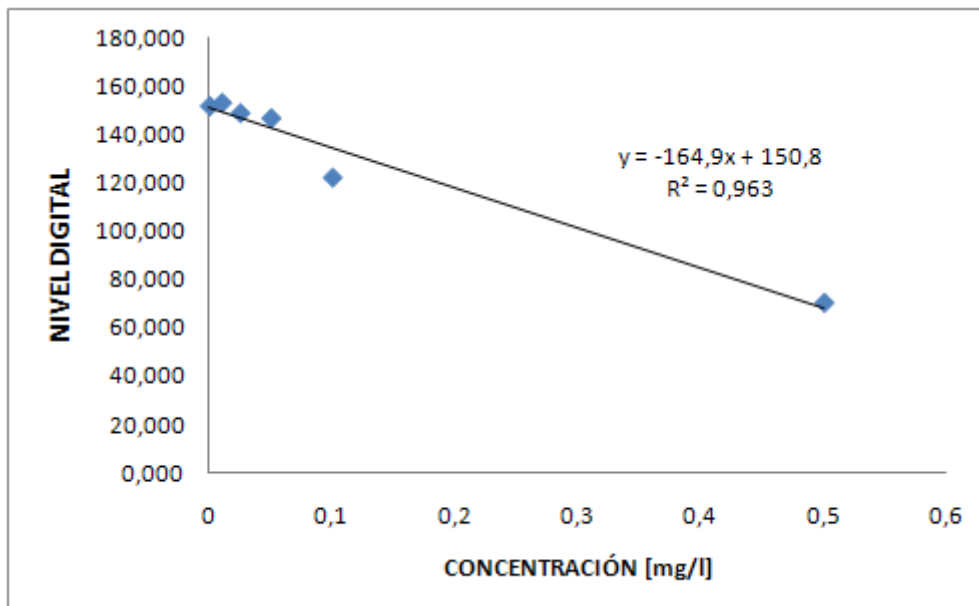


Figura 4.8: Curva de calibración lineal

4.3.2.2.- Espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros y sistema de inyección en flujo (Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry, FIAS)

Esta técnica es la que se utiliza en el laboratorio del área Aguas y Efluentes del CEQUIMAP. Es aplicable a la determinación del arsénico en muestras de agua potable, superficial, subterránea y residual. Mediante este método se puede determinar el arsénico en un rango de 0,10 hasta 10,00 μg de As por litro, y por dilución a concentraciones mayores.

La muestra disuelta en ácido diluido se mezcla con un agente reductor, tal como una solución de borohidruro de sodio. Esta reacción produce H atómico que reacciona con el As en la solución para formar hidruros volátiles, como la arsina (AsH_3). Los mismos son arrastrados por un gas portador como nitrógeno a una celda de cuarzo que es calentada por una llama de aire-acetileno a 900°C, donde se produce una descomposición térmica y se liberan los átomos del elemento.

Como la celda está en el paso óptico de la radiación emitida por una llama, se produce una absorción de la luz por parte de los átomos de As que será proporcional a su concentración.

Un arreglo de FIAS típico consta de una bomba, una válvula de inyección y un sistema de tuberías o mangueras, como se muestra en la Figura 4.9.

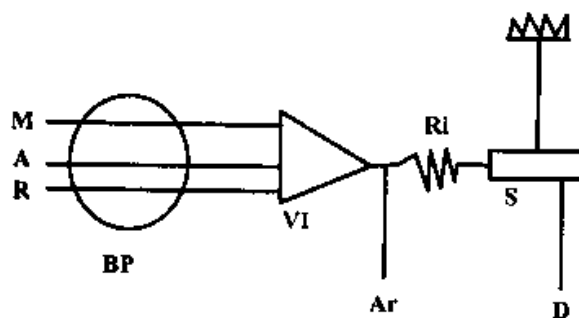


Figura 4.9: Esquema de un arreglo FIAS típico. M: muestra; R: reductor; A: portador; BP: Sistema de bombas peristálticas; VI: válvula de inyección; Ar: Argon; Ri: rizo de reacción; S: separador gas-liquido; D: Desecho

La bomba se utiliza para impulsar una o más corrientes al detector por una manguera angosta. Estas corrientes pueden contener los solventes, reactivos o soluciones reguladoras. La válvula de inyección se utiliza para introducir periódicamente un pequeño volumen de muestra en el flujo portador. Conforme se transporta la muestra hacia el detector (debido a la dinámica

del flujo ocasionada por las mangueras angostas y su arreglo), la muestra y los reactivos se mezclan y forman las especies que pueden registrarse por un detector específico como picos transitorios.

Al utilizar el sistema FIAS es muy importante tener en cuenta que la sensibilidad depende de la cantidad de muestra inyectada, del tiempo permitido para la reacción, de la cantidad que se desecha en el separador gas-líquido, del flujo de argón y de las condiciones de la superficie de la celda de cuarzo.

La eficiencia del proceso de generación de hidruros depende fuertemente del estado de oxidación de los iones de As presentes. Normalmente el arsénico está presente como As^{+3} y As^{+5} . La sensibilidad analítica del As^{+3} es el doble de la del As^{+5} , por lo que antes de la medición todo el As debe ser reducido a As^{+3} .

4.3.3.- Ensayos de adsorción batch.

Estos ensayos consistieron en pruebas de reacciones donde se colocaron en un recipiente el material reactivo junto a la solución con iones a remover, el cual fue agitado en forma continua y uniforme por un tiempo determinado, y finalmente se determinó la concentración final en la solución. Se realizaron para determinar la concentración de arsénico en solución luego de que la misma estuviese en contacto con el material adsorbente. Estos ensayos se realizaron con el fin de estudiar la eficiencia en la remoción de arsénico del material granular empleado, es decir, su capacidad de adsorción.

Las soluciones ensayadas se elaboraron especialmente para este fin. Para ello, se procedió primeramente a preparar una solución primaria de 1000 mg/L de As. Esta solución se preparó en base a trióxido de arsénico (As_2O_3), el cual fue disuelto en un medio alcalino preparado con hidróxido de sodio: se disolvieron 4 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 10 ml de agua destilada con 1,32 g de trióxido de arsénico; teniendo esta solución primaria se disolvió en un litro para poder llegar a una solución de 1 g/L de As, a partir de la cual se prepararon las demás soluciones.

En todos los ensayos batch se trabajó con un nivel de arsénico fijo y con una misma cantidad de agua, y se varió la cantidad de suelo y las horas en contacto entre ambos, a saber:

- Concentración de la solución: 0,5 mg/L de As.
- Cantidad de solución: 200 ml.
- Cantidades de suelo ensayadas: 25, 50 y 100 gramos.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

- Tiempos de agitación: 2, 6, 12 y 24 horas.

La metodología de trabajo seguida fue la siguiente:

- Se preparó una mezcla de suelo seco en estufa y agua con un determinado nivel de arsénico conocido en un matraz de 250 ml.
- Se puso cada mezcla en un agitador termomagnético a una temperatura de 20°C durante cierta cantidad de horas. (Figura 4.10)
- Se pasó cada mezcla por una máquina centrifugadora de mesa durante 30 minutos, con el fin de que el suelo de la mezcla decantase y así poder separar la fase líquida de la sólida. (Figura 4.11)
- Una vez separadas las fases, se determinó el nivel final de arsénico presente en el líquido.



Figura 4.10: Agitador termomagnético y matraz con la solución ensayada.



Figura 4.11: Centrifugadora de mesa.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Los resultados obtenidos (porcentaje de remoción de arsénico en función del tiempo y de la cantidad de material adsorbente empleada) se muestran en las Figura 4.12 y Figura 4.13.

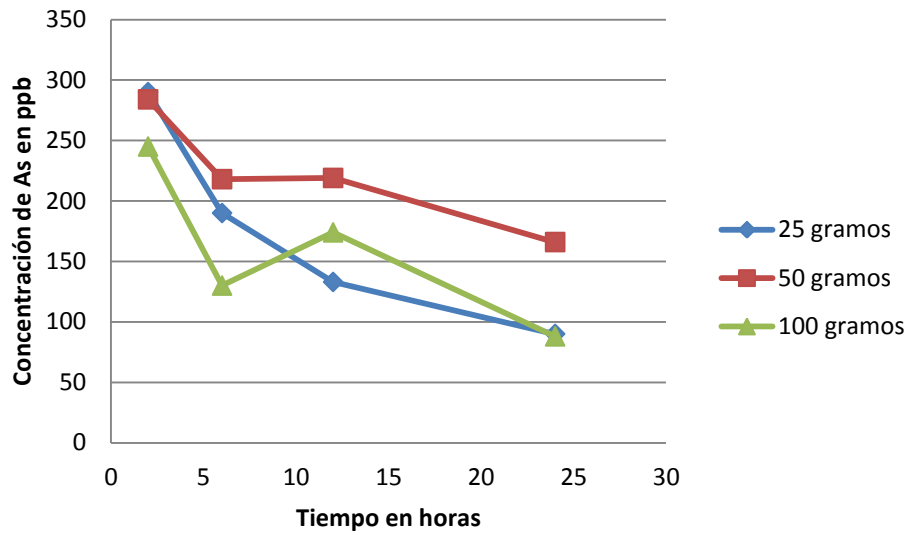


Figura 4.12: Curva de calibración polinómica.

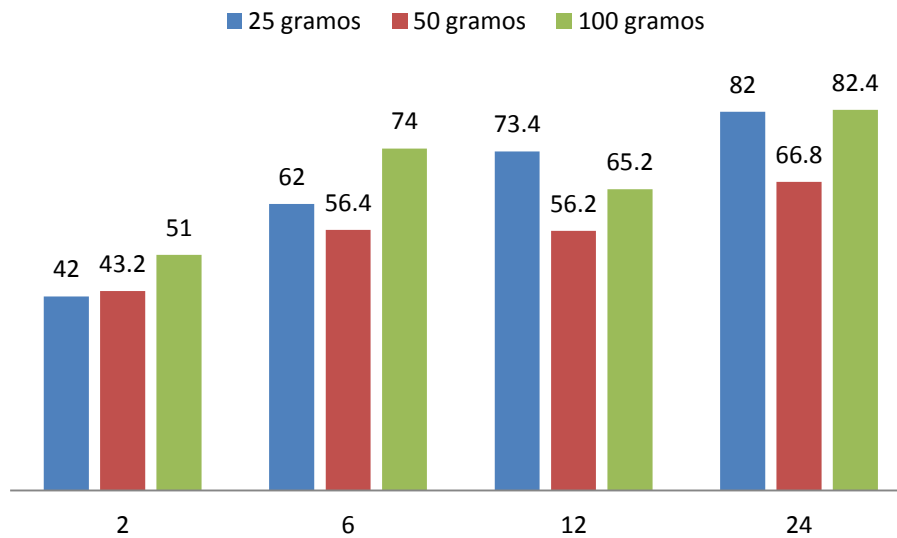


Figura 4.13: Porcentaje de remoción de As.

De los gráficos anteriores se observa que el máximo porcentaje de remoción (82,4%) se logró para una cantidad de suelo de 100 gramos y un tiempo de agitación de 24 horas. El

porcentaje de remoción mínimo (42%) se generó en el caso de 25 gramos y 2 horas de agitación.

A partir de estos ensayos se puede concluir que para lograr remociones más altas de arsénico, es decir, mayor eficiencia, es necesario mayor cantidad de material adsorbente y tiempo de contacto alto.

4.3.4.- Ensayos de adsorción batch empleando hidróxidos dobles laminares (HDLs) como material adsorbente.

Con el objeto de optimizar o mejorar la eficiencia en la remediación de arsénico, se evaluó la opción de utilizar como material adsorbente mezclas de material granular con hidróxidos dobles laminares. Esta posibilidad surgió a partir del contacto iniciado con el grupo IMPAS por parte del Dr. Ricardo Rojas y Delgado (INFIQC, Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Ciencias Químicas, UNC) quien se dedica a la síntesis y estudio interfacial de hidróxidos dobles laminares (LDH) híbridos, y propuso ensayar conjuntamente con IMPAS estos compuestos para estudiar su capacidad de adsorción de arsénico.

4.3.4.1.- Características y aplicaciones de los HDLs.

Las arcillas, desde el punto de vista geológico, se definen como minerales inorgánicos con tamaños de partícula igual o menor a 2 mm. La composición química de las arcillas es variada, predominando los aluminosilicatos, y se caracterizan por ser, de manera general, cristalinas con morfología laminar. Las láminas pueden escalonarse formando un nuevo tipo de estructura, la cual presenta una unión química fuerte en dos de sus dimensiones, pero sólo tienen interacciones débiles en su tercera dimensión. Como resultado, dichas moléculas disponen de propiedades físicas y químicas únicas, como lo es la habilidad de adsorber iones en su interfaz.

Una forma de clasificar a las arcillas laminares es en función de su capacidad de intercambio iónico y, relacionado con esto, la carga neta que presentan las láminas metálicas. Si la carga neta superficial de la lámina es positiva, en la región interlaminar se encontrarán aniones apoyando en el balance de las cargas (arcillas aniónicas).

Las arcillas aniónicas poseen una estructura cristalina hexagonal u octaédrica. Constan de láminas de cationes metálicos cargadas positivamente, donde las superficies de las láminas están ocupadas por grupos hidroxilo, aniones y moléculas de agua. La hidrotalcita es el mineral

más representativo entre ellas. Es una arcilla natural resultante de las variaciones isomórficas de capas tipo brucita $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ cuando se sustituyen cationes Mg^{2+} por cationes Al^{3+} . Estas sustituciones confieren la carga positiva a las láminas. Las estructuras tipo hidrotalcita son poco comunes en la naturaleza, mientras que a nivel laboratorio e industrial su síntesis es relativamente sencilla y de bajo costo.

Los hidróxidos dobles laminares (HDL) son compuestos sintéticos con estructuras análogas a la hidrotalcita, por lo que en la literatura científica se les conoce también como compuestos tipo hidrotalcita, arcillas aniónicas o arcillas sintéticas. Estos HDLs son una de las familias de arcillas más llamativas, gracias a su alta capacidad de adsorción, funcionalización, gran estabilidad química y térmica, de síntesis sencilla y económica, excelente biocompatibilidad, y por ello, con una gran gama de aplicaciones posibles.

Aplicaciones concretas se dan en la remoción organismos, como bacterias (*E. coli*) y virus de cepas indicadoras en aguas sintéticas, así como de carga biológica de aguas eutróficas; aniones, específicamente fluoruros y ioduros; metales pesados, como $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Pb}(\text{II})$, $\text{Cr}(\text{VI})$, $\text{As}(\text{V})$; y pesticidas ácidos (Martinez y Carabajal, 2012).

4.3.4.2.- Ensayos realizados y resultados obtenidos.

El procedimiento seguido para realizar los ensayos batch fue análogo al mencionado en el inciso 4.3.3. Los mismos se realizaron poniendo en contacto una determinada cantidad de hidróxidos dobles laminares y soluciones con arsénico, a saber:

- Cantidad de HDLs: 100 mg
- Volumen de solución: 50 ml
- Concentraciones iniciales de As: variables.
- Tiempo de agitación: 24 horas.

Se realizaron dos series de ensayos. En la primera la técnica de medición de arsénico empleada fue la Técnica mejorada del Test kit QUANTOFIX[®] Arsénico 10, mientras que en la segunda se empleó la espectroscopia de absorción atómica (AAS). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.3 y en las Figuras 4.14 a 4.16 para la primera serie de ensayos realizada, y en la Tabla 4.4 y en las Figuras 4.17 a 4.19 para la segunda serie de ensayos.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Tabla 4.3: Primera serie de ensayos batch con LDHs. Técnica de medición: Test kit QUANTOFIX®

Arsénico 10

Muestra	Conc. Inicial	Conc. Final	Remoción	Δ Concentración
	mg/L	mg/L	%	mg/L
A	0,5	0,1474	70,52	0,3526
B	1	0,315	68,5	0,685
C	3	1,2468	58,44	1,7532
D	5	2,656	46,88	2,344
E	10	5,64	43,6	4,36
F	20	12,592	37,04	7,408
G	50	37,65	24,7	12,35

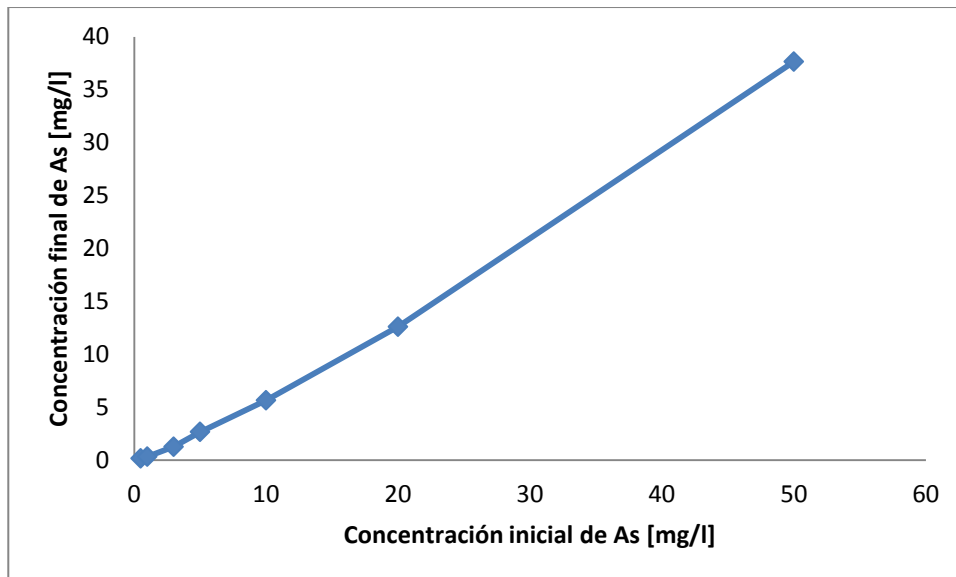


Figura 4.14: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Concentración final

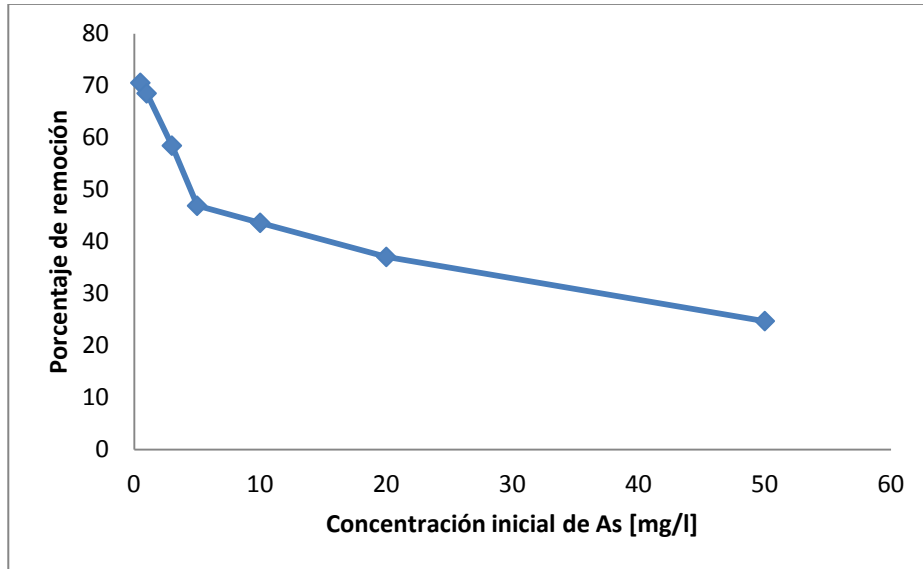


Figura 4.15: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Remoción

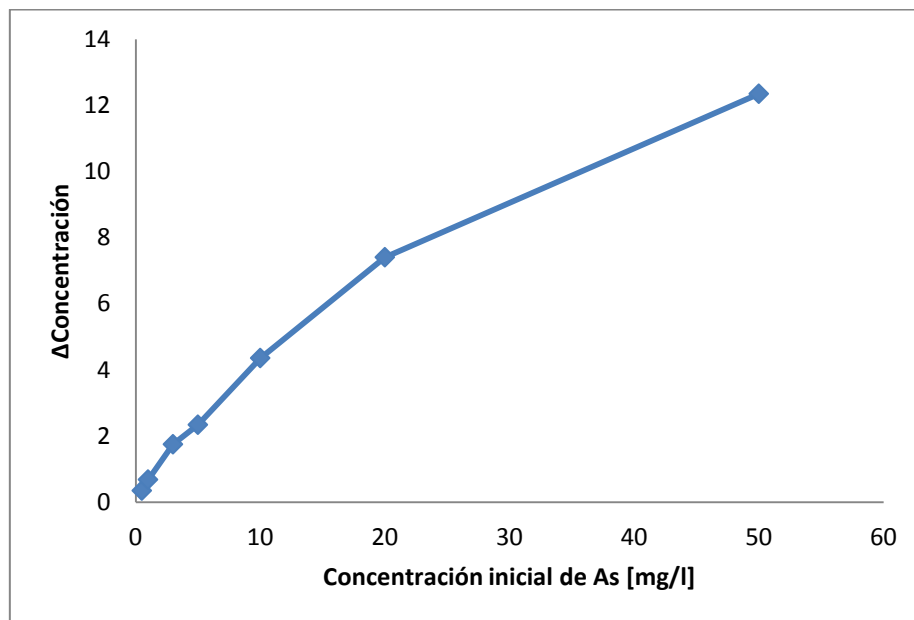


Figura 4.16: Primera serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Variación de concentración

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Tabla 4. 4: Segunda serie de ensayos batch con LDHs. Técnica de medición: espectroscopia de absorción atómica

Muestra	Conc. inicial (teórica)	Conc. inicial (real)	Conc. Final	Remoción	Δ Concentración
	mg/L	mg/L	mg/L	%	mg/L
1	5	4,47	1,42	68,20	3,05
2	10	8,93	1,34	84,99	7,59
3	20	17,86	2,72	84,77	15,14
4	40	35,72	2,26	93,67	33,46
5	80	71,44	2,33	96,74	69,11
6	160	142,88	8,20	94,26	134,68
7	240	214,32	41,10	80,82	173,22
8	320	285,76	87,76	69,29	198,00

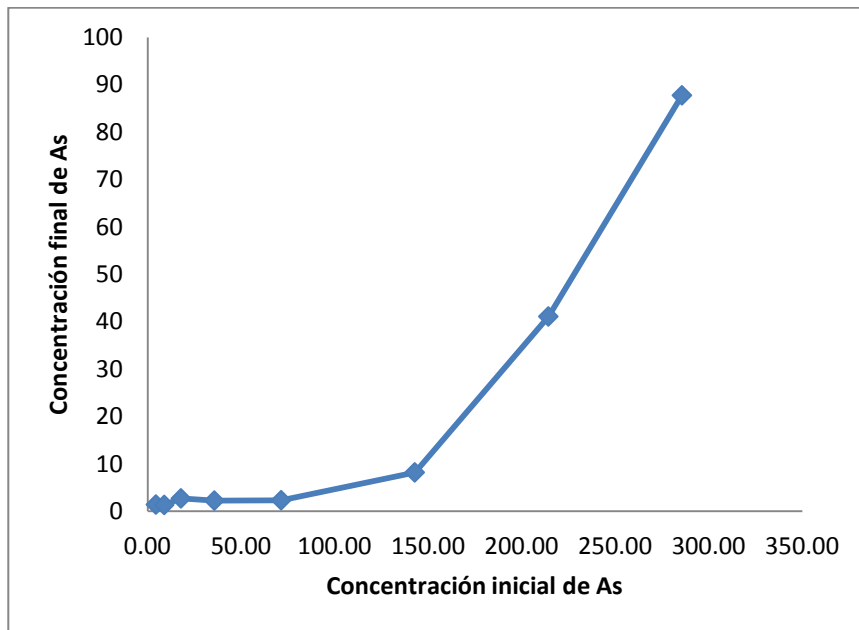


Figura 4.17: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Concentración final

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

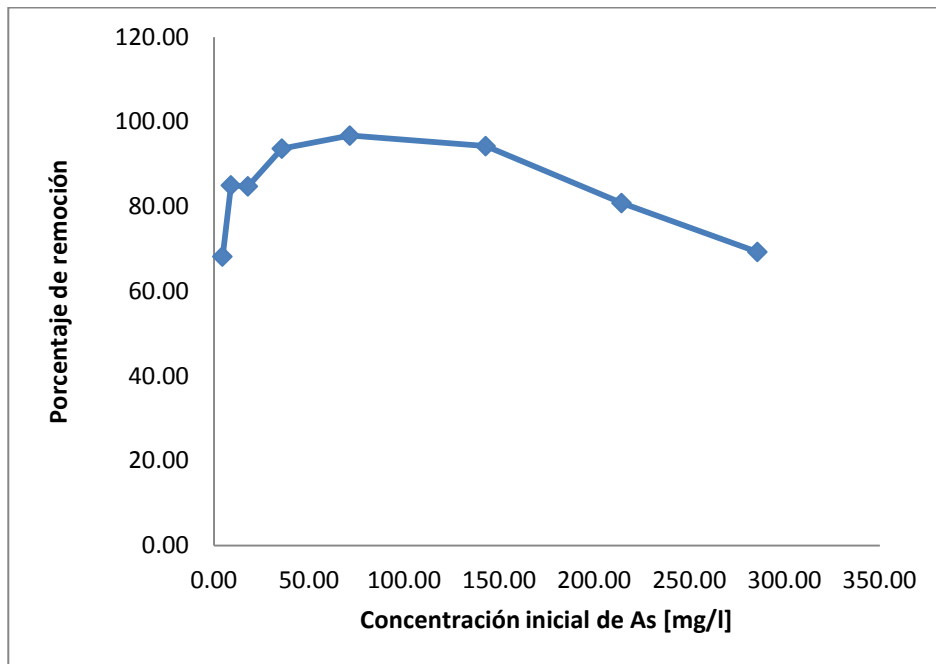


Figura 4.18: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Remoción

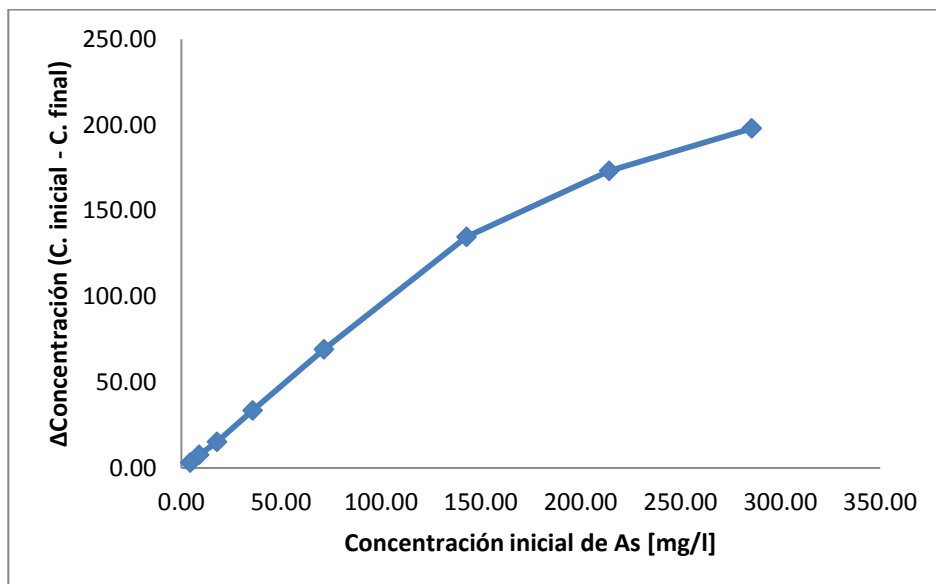


Figura 4.19: Segunda serie de ensayos batch con LDHs: Concentración inicial vs Variación de concentración

Con respecto a la primera serie de ensayos, se observa que para concentraciones iniciales de As inferiores a 5 mg/L, el porcentaje de remoción fue del orden de la mitad, valor por debajo del esperado, continuando la concentración por encima del límite de 0,01 mg/L.

En lo que se refiere a la segunda, se observa que la afinidad aumenta al aumentar la concentración inicial, para luego decrecer.

Comparando ambas series de ensayos, se observa una importante variación en los resultados, al menos en los puntos comunes (a partir de 5 mg/L). Esto puede deberse a que la curva de calibración empleada en la Técnica mejorada del Test kit QUANTOFIX[®] Arsénico 10 no tiene un ajuste perfecto, hecho que se ve claramente reflejado al medir bajas concentraciones de arsénico. Debido a esta alta variabilidad en los resultados, sin el logro de una mejora sustancial de la remoción, se optó por construir prototipos de filtros con el medio granular, tal como se describe en los apartados siguientes.

4.3.5.- Ensayo de columna.

Se implementaron filtros de laboratorio consistentes en ensayos de columna de suelo, las cuales representan a una menor escala el comportamiento de un filtro reactivo permeable, utilizado para la eliminación del arsénico en el agua de bebida.

Para realizar estos ensayos se emplearon dos bases de acrílico y cuatro tornillos, los cuales sirvieron de sostén a una “columna” de suelo en el interior de un tubo. Esta columna estuvo compuesta por una gran capa de suelo fino, adsorbente, ubicada entre dos capas de suelo granular y permeable (Figura 4.20). Se hizo permear esta columna, ingresando el agua por la base inferior de la misma y egresando por su base superior. El suministro de agua, proveniente de un recipiente ubicado a mayor altura y a presión atmosférica, se ajustó de manera que la diferencia de carga entre la entrada y la salida permaneciera constante durante el periodo de prueba. Después que se hubiese establecido una tasa constante de flujo, el agua fue recolectada en una probeta graduada durante cierto tiempo.

El volumen de agua acumulada permitió, por un lado, calcular la conductividad hidráulica de la columna. Este parámetro hace referencia a la facilidad con la que el agua puede moverse a través de los poros del suelo. Por otro lado, fue útil para analizar los parámetros de interés del agua, y poder compararlos con los correspondientes a la misma antes de pasar por la columna.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

La celda de acrílico utilizada es de 10 cm de largo por 4.5 cm de diámetro. La pastilla de suelo se realizó con el suelo de La Calera, colocado en tres capas compactadas dentro de la celda. La misma tiene iguales dimensiones que la celda (10 cm de altura y 4,5 cm de diámetro) y cuenta con un volumen de 159 cm³ en el cual entraron 305,2 g de suelo con una humedad del 27 % (Figura 4.21).

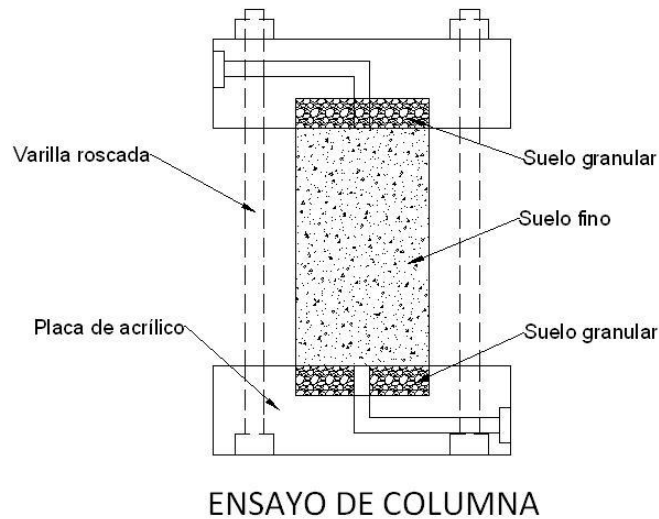


Figura 4.20: Columna de acrílico para ensayos de filtro.

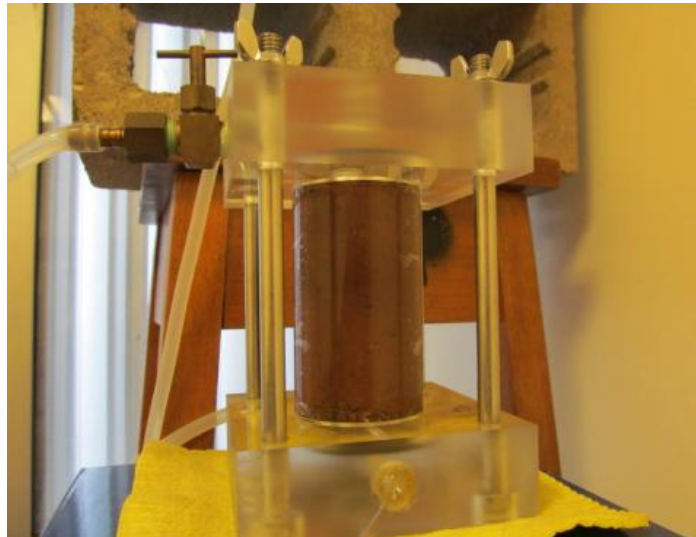


Figura 4.214: Columna ensayada

El agua con arsénico filtrada a través de la columna fue la que se obtuvo de los muestreos efectuados en Colonia Las Pichanas. La misma fue suministrada a un gradiente

constante ($i=10$) a través de un tanque Mariotte ubicado a un desnivel de 1 m de la celda (Figura 4.22).

Luego de que la filtración entrara en régimen (tasa de flujo constante), se recolectó la solución permeada en distintos intervalos de tiempo durante 65 días para después determinar la conductividad hidráulica promedio, que resultó ser de $4,705 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Este mismo ensayo fue realizado sobre otras tres muestras de suelo diferentes, para determinar cómo varía la conductividad hidráulica y el porcentaje de remoción de arsénico con distintas composiciones granulométricas.

Se trabajaron con las siguientes composiciones de suelo:

Muestra 1: 30% pasante tamiz 40 (abertura de 0,425 mm; facción fina) – 70% pasante tamiz 4 (abertura de 4,750 mm) y retenido tamiz 40 (facción gruesa).

Muestra 2: 50% pasante tamiz 40 (facción fina) – 50% pasante tamiz 4 y retenido tamiz 40 (facción gruesa)

Muestra 3: 100% pasante tamiz 4.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.5. Como puede verse, la concentración de arsénico en el agua no disminuyó al atravesar la Muestra 1. Esto indica que el porcentaje de facción fina que la componía era insuficiente. En el caso de las Muestras 2 y 3, el porcentaje de remoción fue el mismo, variando la velocidad del paso a través de ambas, siendo mayor la de la Muestra 3.

Tabla 4.5: Resultados de los ensayos de columna

	Conductividad hidráulica [m/s]	Remoción de arsénico [%]
Muestra 1	$3,42 \times 10^{-6}$	0
Muestra 2	$3,98 \times 10^{-6}$	57,63
Muestra 3	$7,50 \times 10^{-6}$	57,63

A partir de estos resultados, volvió a repetirse el ensayo de columna con la composición de la Muestra 3, dada por el 100% pasante tamiz 4 (tamizado para separar los componentes excesivamente grandes). En esta ocasión, el ensayo se realizó con el fin de determinar las características finales del agua al atravesar la masa de suelo. A diferencia de la primera vez, el agua con As fue suministrada a una presión de 3 m.c.a. a través de un tanque

Mariotte conectado a un panel de presión en el Laboratorio de Geotecnia de la FCEfyN. El tiempo de obtención de 1 litro de agua filtrada fue de aproximadamente 20 minutos. Los resultados de los análisis físico-químicos realizados al agua filtrada mostraron que la concentración de arsénico se redujo menos de lo esperado debido al escaso tiempo de contacto, el cual es requerido para lograr un caudal que sea útil para el uso domiciliario del filtro. Este resultado se contradice con experiencias positivas anteriores, cuyo comportamiento se atribuye exclusivamente al tiempo de contacto mayor, pero con caudales muy bajos asociados al paso más lento del agua a través de la columna. En cuanto a los análisis microbiológicos, los resultados de los mismos no mostraron diferencias con los parámetros del agua antes de atravesar la columna.



Figura 4.22: Ensayo de filtro.

4.3.6.- Montado y ensayo del filtro comercial.

Para evaluar el comportamiento en un filtro domiciliario se utilizó un filtro comercial adquirido por el Grupo de Investigación en Medios Porosos y Flujos Subterráneos de la FCEfyN, marca Cole-Parmer. Sus componentes se muestran en la Figura 4.23.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

El mismo fue montado en el Laboratorio de Geotecnia de la FCEFyN. Se realizaron pruebas en las que se varió la proporción de suelo reactivo. Primero, se trabajó con una composición de 54% de suelo adsorbente y 46% de arena. Luego, se trabajó con un 100% de suelo adsorbente. La solución de As filtrada fue preparada con agua destilada y una solución patrón de As de 1000 mg/L. La concentración de As utilizada se adoptó igual a la media registrada en Colonia Las Pichanas, de 40 ppb. La misma fue suministrada a una presión de 4 m.c.a. a través de un tanque Mariotte conectado a un panel de presión. Se tomaron muestras de 1 litro de agua cada un determinado intervalo de tiempo.



Figura 4.23: Componentes del filtro comercial Cole-Parmer

Los resultados obtenidos en estas pruebas, para las distintas composiciones ensayadas, se presentan en las Tablas 4.16 y Figuras 4.24 y 4.25 para el caso del filtro compuesto con 54% de material adsorbente, y en la Tabla 4.17 y Figuras 4.26 y 4.27 para el filtro compuesto con 100% de material adsorbente.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Tabla 4.6: Filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente

Composición	54% suelo adsorbente – 46% arena				
Fecha	Hora	Tiempo desde el inicio [hs]	% de remoción	C. inicial [mg/L]	C. final [mg/L]
05/11/2013	13:40	1	0,00	0,04	0,04
05/11/2013	14:40	2	0,00	0,04	0,04
05/11/2013	15:40	3	9,87	0,04	0,036
05/11/2013	16:40	4	25,61	0,04	0,030
05/11/2013	17:40	5	47,07	0,04	0,021
06/11/2013	12:10	22,5	44,21	0,04	0,022

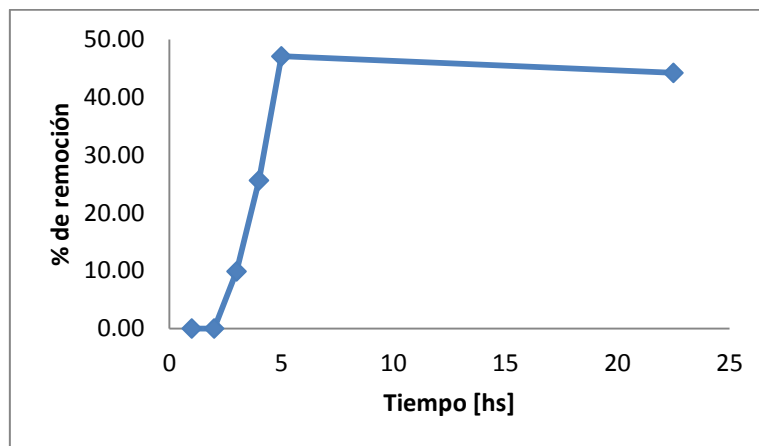


Figura 4.24: Remoción de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente

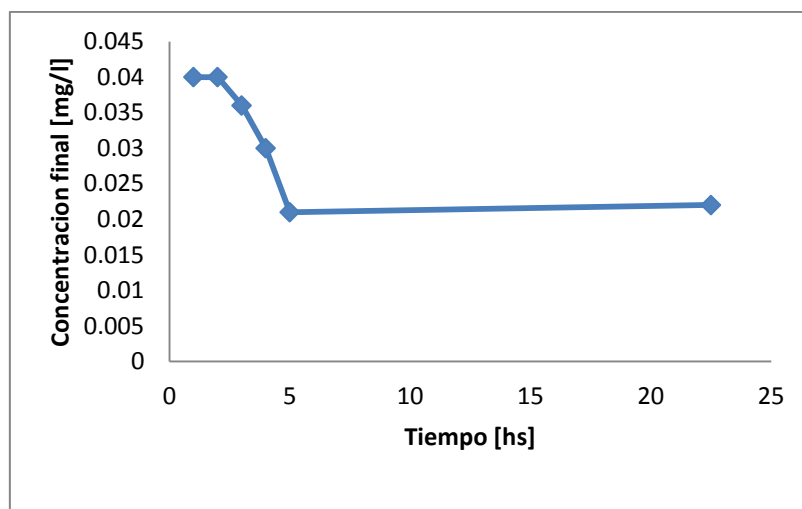


Figura 4. 25: Concentración final en función del tiempo para filtro compuesto por 54% de suelo adsorbente

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Tabla 4.7: Filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente

Composición	100% suelo adsorbente				
Fecha	Hora	Tiempo desde el inicio [hs]	% de remoción	C. inicial [mg/L]	C. final [mg/L]
10/12/2013	13	0,75	50,77	0,04	0,020
10/12/2013	14:30	2,25	13,85	0,04	0,034
10/12/2013	16	3,75	4,62	0,04	0,038
10/12/2013	17:30	5,25	24,62	0,04	0,030
11/12/2013	10:35	22,33	38,46	0,04	0,025

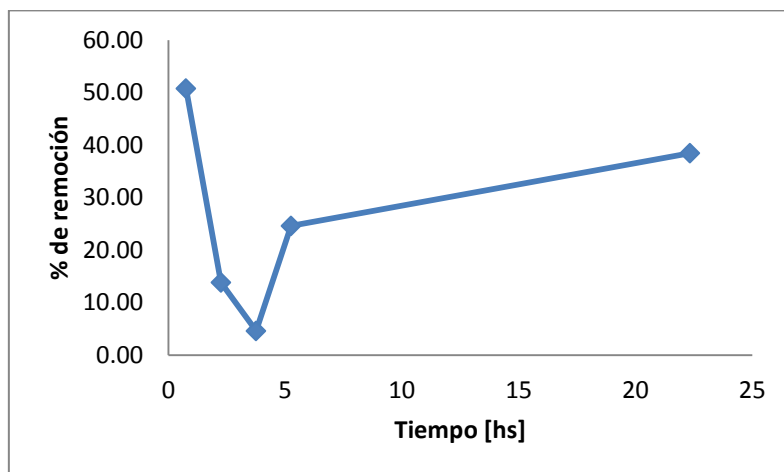


Figura 4.26: Porcentaje de remoción de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente

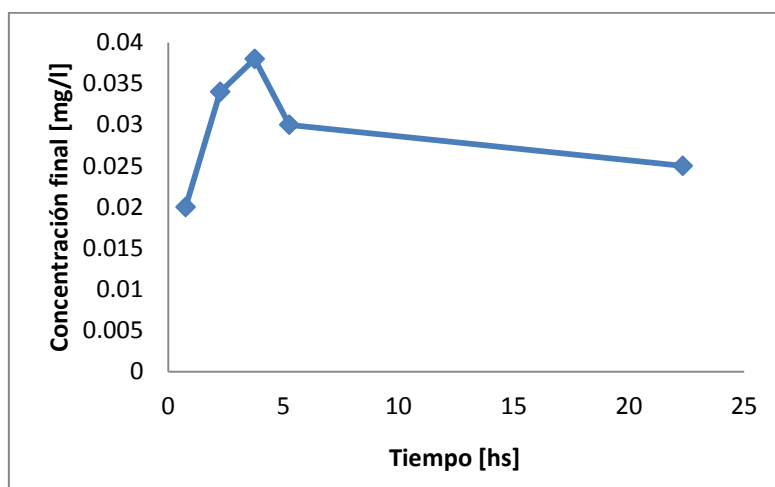


Figura 4.27: Concentración final de arsénico en función del tiempo para filtro compuesto por 100% de suelo adsorbente

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Los resultados presentados muestran que las dos composiciones de filtro ensayadas permiten reducir la concentración de arsénico a la mitad del valor inicial, es decir, 20 ppb. Para el caso de la composición dada por 54% de suelo adsorbente y 46% de arena, puede observarse en la Tabla 4.6 que el filtro entra en régimen a partir de la extracción de la quinta muestra, es decir, luego de haber extraído un litro por hora, durante 5 horas. En el caso de la composición dada por 100% de suelo adsorbente, el filtro entra en régimen mucho más rápido, en coincidencia con la extracción de la primera muestra.

Si se aplica la primera composición (54% de suelo adsorbente), al momento de utilizar el filtro por primera vez deben extraerse 5 litros a una tasa de 1 litro por hora, los cuales deben ser dejados de lado debido a su no aptitud para ser bebidos. A partir de las 5 horas, se considera que el filtro entra en régimen y que el agua saliente es apropiada para el consumo. Por una cuestión de seguridad se recomienda que se realice esta acción inicial con 10 litros en vez de 5. Por otro lado, la composición dada por 100% de suelo adsorbente permite extraer agua apta para el consumo a una tasa de 1 litro por hora desde el comienzo de su uso.

Se puede concluir que ambas composiciones permiten obtener como máximo 24 litros de agua por día, satisfaciendo en exceso la demanda de agua de bebida de una familia tipo.

La vida útil de los filtros estará condicionada por la cantidad máxima de arsénico que el suelo reactivo pueda absorber. Investigadores del grupo IMPAS determinaron que para el suelo empleado en estos ensayos dicho valor ronda los 0,25 mg de As por gramo de suelo. Considerando que en estos filtros se ocuparon aproximadamente 4400 gramos de suelo, la cantidad máxima de arsénico que puede ser adsorbida es del orden de 1100 mg. La cantidad de agua que puede obtenerse en toda la vida útil del filtro puede calcularse considerando una reducción de concentración de arsénico de 0,04 mg/l a 0,02 mg/l hasta llegar a absorber 1100 mg de arsénico. Este valor ronda los 55.000 litros, lo que dividido por 24 litros por día arrojaría una vida útil de 2292 días, es decir, 6 años. Sin embargo, por cuestiones bacteriológicas y de higiene sería necesario limitar la vida útil a aproximadamente 6 meses. Se concluye así que debido a la gran potencialidad de este material pueden implementarse filtros más pequeños, con menor volumen de suelo, que cumplen con el requisito de durabilidad y que resultan más económicos que filtros compuestos por materiales sintéticos debido a la facilidad de obtención del suelo en comparación con el proceso de síntesis necesario para la obtención de materiales como los hidróxidos dobles laminares, por ejemplo.

4.3.7.- Montado y ensayo de filtro diseñado por estudiantes de Diseño Industrial de la FAUDI - UNC.

A inicios del año 2013, dos estudiantes de grado de la carrera Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba contactaron al grupo IMPAS para interiorizarse sobre las investigaciones referidas al filtro domiciliario. Dichas estudiantes estaban prontas a iniciar su tesis de grado, y mostraron interés en trabajar en el diseño de un prototipo de este filtro como producto de consumo masivo, en base a la implementación y diseño del principio de funcionamiento realizado en esta Práctica Supervisada. Comenzó así un trabajo conjunto y de interacción entre miembros de este grupo y las mismas, que duró todo el período de realización de su tesis. Previo a la exposición final de la misma, que realizaron en el mes de mayo del año 2014, se ensayó el prototipo de filtro construido.

La Figura 4.28 muestra el render –imagen digital en 3D– del filtro diseñado y la Figura 4.29 el prototipo construido y ensayado. Sus componentes se exponen en la Figura 4.30.



Figura 4.28: Render del filtro diseñado por estudiantes de grado de Diseño Industrial



Figura 4.29: Prototipo construido por estudiantes de Diseño Industrial



Figura 4.30: Componentes del prototipo.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Dicho filtro está compuesto por una base troncocónica y dos compartimentos por encima de la misma. El compartimento superior almacena el suelo reactivo (Figura 4.31) y la división respecto del recipiente inferior posee perforaciones (Figura 4.32) para permitir el paso de agua y una capa de material geotextil para impedir el arrastre de partículas de suelo. El abastecimiento de agua se realiza por la parte superior, mediante la instalación de un bidón sobre una pieza hiperbólica (Figura 4.33) y una placa circular perforada provista de canaletas (Figura 4.34) que permite la distribución radial y uniforme del agua sobre el suelo reactivo. El compartimento inferior cumple la función de almacenar el agua y posee una llave que permite su extracción.



Figura 4.31: Compartimento superior con suelo reactivo



Figura 4.32: División con microperforaciones para permitir el paso del agua



Figura 4.33: Pieza hiperbólica sobre la que se instala un bidón de agua



Figura 4.34: Placa circular con perforaciones y canaletas

Este prototipo fue montado en el laboratorio del grupo IMPAS y su funcionamiento fue monitoreado durante dos horas. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.8 y Figura 4.35. En las mismas puede observarse que los porcentajes de remoción de arsénico alcanzados se encuentran por encima del 85%. Esto no se debe a una mejora del material reactivo respecto al utilizado en los resultados expuestos en la Tabla 4.7 del inciso 4.3.6, sino a la gran afinidad y poder de remoción que se da para concentraciones iniciales de arsénico elevadas: para estos ensayos se trabajó con una solución de 0,47 mg/L de As mientras que en los anteriores se utilizó una solución de 0,04 mg/L de As. Este fenómeno ha sido reportado por diversos autores, entre ellos Carro Pérez y Francisca en el artículo “Arsenic entrapment in reactive columns of residual soils” (2013).

Tabla 4.8: Resultados del ensayo del prototipo

Composición	100% suelo adsorbente					
	Fecha	Hora	Tiempo desde el inicio [hs]	% de remoción	C. inicial	C. final
					[mg/L]	[mg/L]
24/04/2013	10:34	0,35	94,68	0,47	0,025	
	10:57	0,73	94,68	0,47	0,025	
	11:32	1,32	89,36	0,47	0,05	
	11:55	1,7	89,36	0,47	0,05	
	12:18	2,08	85,11	0,47	0,07	

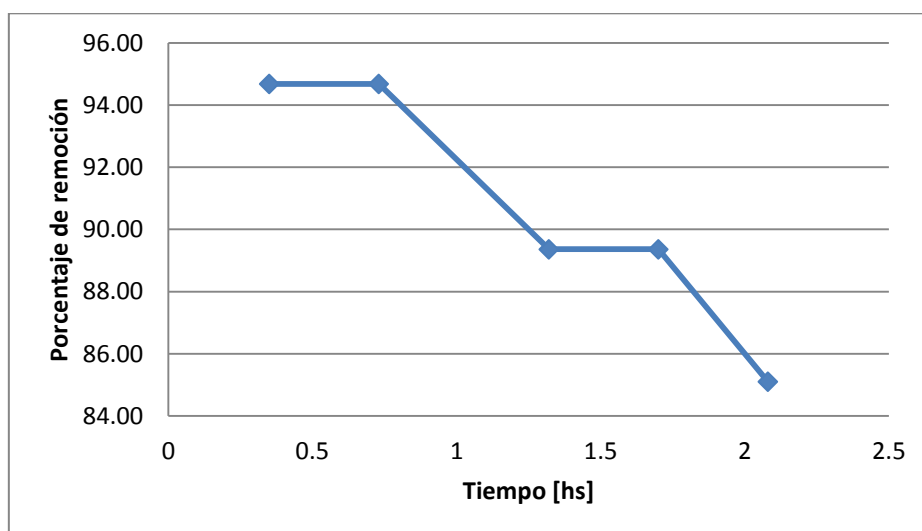


Figura 4.35: Porcentaje de remoción de arsénico en función del tiempo para prototipo ensayado

4.4.- Síntesis y conclusiones.

Se desarrolló y se implementó un filtro a escala de laboratorio, y se verificó su funcionamiento con el agua de bebida de Colonia Las Pichanas.

Se montó e hizo funcionar un filtro domiciliario comercial, así como un prototipo diseñado por estudiantes de Diseño Industrial. Las principales dificultades encontradas se relacionaron con problemas de escala, ya que la eficiencia lograda en los filtros en laboratorio, de pequeño tamaño y con escaso caudal, no pudo reproducirse en este filtro más rápido

Las conclusiones más importantes obtenidas de estas experiencias son las siguientes:

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

- El empleo de geomaterial no altera las propiedades fisicoquímicas, bacteriológicas ni organolépticas del agua
- La concentración de As en el agua puede reducirse a la mitad del valor inicial (20 ppb)
- La cantidad de agua proporcionada por los filtros permite satisfacer en exceso la demanda de agua de bebida de una familia tipo.
- La gran potencialidad de este material permite implementar filtros pequeños, durables y más económicos que filtros compuestos por materiales sintéticos.

CAPÍTULO 5: REMOCIÓN DE NITRITOS MEDIANTE CLORACIÓN AL AGUA DE COLONIA LAS PICHANAS

5.1.- Introducción.

En el presente Capítulo se plantea una solución al problema dado por la presencia de una elevada concentración de nitritos en el agua de consumo de Colonia Las Pichanas. En primer lugar, se definen y calculan los parámetros de diseño típicos de cualquier sistema de abastecimiento y tratamiento de agua potable. En segundo lugar, se estudia la red de distribución de agua actual con la que cuenta la comuna y se proyecta su futuro crecimiento. Por último, en base a lo anterior y a lo expuesto en el capítulo precedente, se analizan los puntos fundamentales a cumplir para que un sistema de cloración resulte eficaz y se propone una instalación de cloración que se adapte a las condiciones existentes.

5.2.- Parámetros de diseño.

El dimensionamiento de cualquier estructura que integre un sistema de distribución de agua potable se realiza en base al conocimiento de los volúmenes de agua que las instalaciones deben tratar, almacenar y distribuir. Para determinar dichos volúmenes, se debe calcular la población a servir y la dotación a suministrar en un período de diseño estimado.

5.2.1.- Período de diseño.

Se define como el lapso que transcurre entre la puesta en servicio de un sistema y el momento en que por uso o por falta de capacidad para prestar un servicio eficiente, se sobrepasan las condiciones establecidas en el proyecto. En general, para los distintos componentes de un sistema de distribución y tratamiento de agua a comunidades rurales, suele adoptarse un período de diseño entre 10 y 20 años.

En este trabajo se proyectan las instalaciones para un período de diseño de 20 años.

5.2.2.- Población a abastecer.

Interesa conocer tanto el número de habitantes a abastecer en el presente, como la población a servir al final del período de diseño. A falta de datos certeros respecto a población, la población actual y futura será estimada en base a la información disponible, aplicando distintos criterios.

5.2.2.1.- Población actual.

Como se mencionó al inicio de este trabajo, la comuna de Colonia Las Pichanas está compuesta por una población estable, residente en la comuna, y una población transeúnte, conformada por aquellas personas que asisten a la escuela y aquellas que hacen uso del puesto médico de la localidad, pero no residen en la misma sino en zonas aledañas.

Considerando que al día de hoy existen 30 viviendas construidas en la comuna, y asumiendo de forma general que cada una de ellas es habitada por una familia tipo de 4 integrantes, puede decirse que la población estable está constituida por 120 habitantes.

Debido a que no se dispone de mayor información, se asume la población transeúnte de igual magnitud a la población estable. Esto daría una población total de 240 personas al año 2014.

5.2.2.2.- Población futura.

Existen diferentes métodos para estimar la población futura. En este informe se aplica el “Método de crecimiento a interés compuesto”. El mismo se basa en la aplicación de la fórmula de interés compuesto, cuya tasa de crecimiento se determina por comparación de datos de los censos disponibles. La fórmula a aplicar será:

$$P_f = P_a(1 + i)^n$$

En donde P_f = población futura, P_a = población actual, i = tasa de crecimiento y n = período entre censos.

Para obtener la tasa de crecimiento y efectuar la proyección, se toman valores de poblaciones conocidas a través de los últimos censos realizados, se calculan las tasas de crecimiento correspondientes a dichos períodos censales y se obtiene una tasa de crecimiento promedio.

Dado que no se cuenta con datos certeros respecto a la población de Colonia Las Pichanas, se utilizan los datos suministrados por el INDEC referidos al Departamento San Justo, al cual pertenece dicha localidad. La información censal disponible se refiere a los años 2001 y 2010 y se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Población Dpto San Justo, Córdoba (INDEC)

Población Departamento San Justo	
Censo 2001	Censo 2010
190.182	206.307

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

En base a los datos anteriores, la tasa de crecimiento del Departamento San Justo se calcula de la siguiente manera:

$$i = \left(\frac{P_f}{P_o}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 = \left(\frac{206.307}{190.182}\right)^{\frac{1}{9}} - 1$$
$$i = 0,0091 = 0,91\%$$

Con esta tasa y el valor del número de habitantes de Colonia Las Pichanas al año 2014, puede calcularse la población al año 2024:

$$P_f = 240(1 + 0,0091)^{20}$$
$$P_f = 288 \text{ habitantes}$$

5.2.3.- Dotación.

Es la cantidad media de agua utilizada diariamente por un habitante. En la misma están involucrados los consumos para uso doméstico, industrial, municipal y pérdidas.

El valor de la dotación no es una cantidad fija, sino que depende de diversos factores que afectan el consumo de agua de las comunidades, como ser el tamaño de la comunidad, el clima, los hábitos higiénicos y el método de evacuación de los líquidos residuales, entre otras cosas.

En comunidades rurales, el valor usual de dotación es de 100 litros por habitantes por día, y en ciudades grandes como Córdoba, es de 350. Debido a la falta de estudios respecto a los hábitos de consumo de los moradores de Colonia Las Pichanas, en este trabajo se adoptó un valor intermedio de dotación de 250 litros por habitante por día.

5.3.- Caudal de diseño.

La capacidad de la red de distribución de agua debe ser tal que permita afrontar la máxima demanda horaria del día de mayor consumo de agua del año. Este valor puede obtenerse afectando el consumo medio anual por un coeficiente α conocido como “coeficiente de pico horario”, “coeficiente de caudal máximo” o “coeficiente de punta”.

El valor del coeficiente de punta se obtiene del estudio de los diagramas de consumo de la ciudad o de ciudades similares. Cuando no existan registros confiables ininterrumpidos, de al menos los 36 últimos meses de consumos de agua potable, se puede adoptar alguno de los valores sugeridos por el ENOHSA o calcularlo según ecuaciones propuestas por distintos autores.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

El Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) propone valores del coeficiente de pico según la población a servir, los cuales se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Coeficientes de caudal (ENOHSA)

Población servida	α
500 hab < P < 3000 hab	2,66
3000 hab < P < 15000 hab	2,38
15000 hab < P	1,95

Diversos autores proponen fórmulas para definir el coeficiente de punta, también en función de la población, a saber:

$$\text{Babbit} \quad \alpha = \frac{5}{P^{0,2}}$$

$$\text{Harmon} \quad \alpha = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

$$\text{Flores} \quad \alpha = \frac{7}{1000P^{0,1}}$$

En las cuales P = población expresada en miles de habitantes.

En la Tabla 5.3, se exponen los valores resultantes para Colonia Las Pichanas según los criterios expuestos anteriormente. Para el caso del ENOHSA, se adoptó el valor comprendido para la categoría de poblaciones entre 500 y 3000 habitantes, por ser la más próxima a las poblaciones de la localidad en estudio.

Tabla 5.3: Comparación entre coeficientes de pico para Colonia Las Pichanas según distintos criterios

Año	Población	ENOHSA	Babbit	Harmon	Flores
2014	240	2,66	6,65	4,12	4,05
2024	288	2,66	6,41	4,09	3,97

Como se puede apreciar, para todos los casos no existen grandes diferencias del coeficiente a lo largo del período de diseño, por lo que se propone adoptar un valor constante a lo largo del mismo. Debido a que los valores resultantes de las ecuaciones implicarían aumentar al consumo promedio entre 4 y 6 veces, lo que parecería desmedido, se decide

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

adoptar el valor sugerido por el ENOHA de 2,66. En conclusión, el consumo máximo del día de máximo consumo para el inicio y el final del período de diseño, se calcula como:

$$Q_d = \text{Población futura} \cdot \text{Dotación} \cdot \alpha$$

$$Q_{d2014} = 240 \text{ hab.} \cdot 250 \frac{\text{litros}}{\text{hab. dia}} \cdot 2,66 \cdot \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Q_{d2014} = 1,85 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 0,00185 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_{d2024} = 288 \text{ hab.} \cdot 250 \frac{\text{litros}}{\text{hab. dia}} \cdot 2,66 \cdot \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Q_{d2024} = 2,22 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 0,0022 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

5.4.-Red de distribución de agua de Colonia Las Pichanas.

La red de distribución actual de Colonia Las Pichanas es una red de malla abierta, típica en los casos de localidades pequeñas. Este tipo de red está constituido por ramificaciones sucesivas establecidas a partir de una conducción principal. El agua, extraída del pozo surgente de la comuna, ingresa a la red sin pasar por ningún tratamiento previo a su distribución.

La comuna no cuenta con un plano correctamente efectuado de la misma sino con un bosquejo hecho a mano, el cual nos fue proporcionado. A partir del mismo, se realizó un esquema simple, representativo de la red actual, sobre una imagen satelital de Google Earth (Figura 5.1).

El crecimiento de la red al final del período de diseño puede obtenerse proyectando la población estable de la comuna a 20 años. Dividiendo dicho valor por 4 -número correspondiente a la cantidad de integrantes de la familia tipo- puede obtenerse la cantidad total de casas al final del período de diseño. Si a este número de casas se le sustrae el número de casas existentes al año 2014, se tendría el número de casas que se van a sumar a la red a lo largo de 20 años.

$$P_{f\text{estable}} = 120(1 + 0,0091)^{20} = 144 \text{ habitantes}$$

$$N^{\circ} \text{ de casas en 20 años} = \frac{144}{4} = 36 \text{ casas}$$

$$N^{\circ} \text{ de casas adicionales} = 36 - 30 = 6 \text{ casas}$$

La posible ocupación del terreno y la red extendida se representan en la Figura 5.2.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba



Figura 5.1: Esquema de la red actual de distribución de agua de Colonia Las Pichanas.



Figura 5.2: Esquema de la red de distribución de agua de Colonia Las Pichanas al final del período de diseño.

5.5.- Sistema de cloración propuesto.

En el inciso 3.4 del Capítulo 3 se explicaron los factores condicionantes de la cloración como técnica de remediación y se discutieron las variables a definir según el contexto y escala de aplicación de este método.

Una de las cuestiones a definir por el proyectista es el método de dosificación a emplear. En este trabajo se opta por un método de dosificación sencillo, que pueda ser operado por los propios pobladores de Colonia Las Pichanas sin requerimientos de conocimientos específicos ni capacitación compleja. Se considera relevante también el hecho de que el funcionamiento del sistema de dosificación debe ser continuo, independiente de la disponibilidad de energía eléctrica. Por todo lo dicho, se propone el uso de un dosificador del tipo Venturi instalado a la salida inmediata del agua del pozo surgente, el cual es descrito con mayor detalle más adelante.

Otra de las variables a definir es el producto del cloro a aplicar. El dosificador Venturi propuesto en este informe trabaja con una solución de cloro líquida. En el ámbito rural, pueden usarse la cal clorada, el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio. Los dos primeros son sólidos y deben ser disueltos para convertirlos en solución, mientras que el tercero se presenta en estado líquido. En comparación con el hipoclorito de sodio, la cal clorada y el hipoclorito de calcio poseen un mayor porcentaje de cloro activo y una mayor estabilidad en el tiempo. Esto implica dos grandes ventajas respecto del hipoclorito de sodio: el requerimiento de una menor cantidad de producto para lograr una solución de igual concentración y una frecuencia de abastecimiento menor. A favor del hipoclorito de sodio debe destacarse la facilidad de su obtención aún en zonas rurales, ya que al ser un desinfectante de uso prácticamente universal en la gran mayoría de los hogares, puede conseguirse en diversas presentaciones comerciales en almacenes de pueblos cercanos. Todas estas cuestiones, junto con el aspecto económico de la decisión, deberán ser analizadas en profundidad por los responsables de la operación del sistema de cloración de Colonia Las Pichanas.

En el Capítulo 3 se mencionó que uno de los principales factores que influyen en el poder de remediación del cloro es el tiempo de contacto entre el cloro y el agua, estableciéndose como mínimo necesario un intervalo de 30 minutos. Dado que la red de distribución de Colonia Las Pichanas se encuentra a una gran presión y es de pequeña extensión, el tiempo que transcurre entre que el agua sale del pozo y llega a la primera toma de agua es inferior a treinta minutos. Para asegurar el tiempo de contacto necesario se propone entonces la instalación de un tanque elevado, al cual se derive el agua luego de atravesar el inyector Venturi, y el cual se conecte con la red existente actualmente. Esto

implicaría un cambio en el funcionamiento de la red, la cual pasaría a funcionar como un sistema de distribución a gravedad, debiendo cumplirse ciertos requisitos necesarios para que su funcionamiento sea óptimo.

En lo que resta de este informe, se analizan los componentes del sistema propuesto y se realiza una simulación hidráulica en el software EPANET para estudiar la difusión del cloro en la red de distribución de Colonia Las Pichanas y su evolución a lo largo del tiempo. Dado que la selección del inyector Venturi está condicionada por la concentración de cloro a dosificar, su análisis se realiza en último lugar. Debido a que la velocidad de difusión del cloro depende de la presión disponible en la red, el análisis del sistema propuesto se inicia con el tratamiento del tanque elevado.

5.5.1.- Tanque elevado.

En los abastecimientos de agua por gravedad, el agua cae por su propio peso desde una fuente elevada hasta los consumidores situados más abajo. La energía utilizada para el desplazamiento es la energía potencial que tiene el agua por su altura. Por lo tanto, una de las cuestiones a definir respecto al tanque elevado es la altura a la que debe instalarse para garantizar una presión mínima suficiente en los puntos más alejados de la red de distribución.

Por otro lado, el fin de la instalación de este tanque es garantizar el tiempo de contacto necesario entre el cloro y el agua. Su volumen, por lo tanto, deberá ser tal que permita cumplir con este requisito.

5.5.1.1.- Altura mínima necesaria.

Los proyectos de distribución de agua a gravedad se desarrollan de manera tal de garantizar una presión mínima en los puntos más desfavorables de la red de abastecimiento, que son los más alejados o los más altos. En general, se trata de servir directamente a los tanques domiciliarios de viviendas de dos plantas. Los valores de presión mínima a adoptar varían entre los 10 y los 12 metros de columna de agua, adoptándose en este trabajo el primero.

Para la determinación de la altura mínima de instalación del tanque, se utilizó el programa EPANET. Para poder utilizar el modelo hidráulico, fue necesario proporcionar información referida a las cañerías - longitud, diámetros y materiales - y a los nudos - cotas y caudales demandados-, con los cuales se pudo efectuar un rápido análisis de presiones en la red según la altura a la que se encuentre el tanque.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Dado que lo que interesa conocer son los valores de carga disponible en los puntos más alejados, la red se trató de manera simplificada, considerando únicamente los nudos de los extremos, con un caudal demandado proporcional a la longitud del tramo en el que se encuentran. Dicho valor se obtuvo multiplicando el caudal métrico por la longitud del tramo. El caudal métrico se obtuvo dividiendo el caudal de diseño en la longitud total de la red (considerando solo aquellos tramos de la red en los que hay consumo).

Para obtener los respectivos diámetros de cañerías, se realizó un único cálculo de verificación. Asumiendo una velocidad en las tuberías de 1 m/s, considerando los caudales de diseño y aplicando la clásica ecuación de la hidráulica $Q = AV$ (siendo Q = caudal, A = área y V = velocidad), se obtuvieron los diámetros de tuberías necesarios para transportar dichos caudales. Los mismos resultaron ser de 49 mm para el caudal al inicio del período de diseño y de 53 mm para el caudal a 20 años. Si el material de las conducciones es PVC, cuyo diámetro mínimo es de 63 mm, puede concluirse que si para los tramos que deben transportar los caudales máximos es necesario el diámetro mínimo, también lo será para aquellos tramos por los que circulen caudales menores. Es por esto que en el modelo hidráulico se modeló la red de Colonia Las Pichanas con conducciones de PVC de 63 mm.

Las cotas de los nudos y las longitudes de las cañerías fueron estimadas a partir de Google Earth.

Como se dijo al inicio, la metodología seguida consistió en proponer distintas alturas del tanque y comparar las presiones en la red para cada una de ellas. Esta verificación se realizó tanto para el modelo de red actual como para el modelo futuro. Los resultados proporcionados por EPANET para ambos casos se presentan en la Tabla 5.4 y Figura 5.3 para la configuración actual de la red de distribución de agua. Por otro lado, la Tabla 5.5 y Figura 5.4 muestran los resultados del modelo para la configuración de red extendida para los próximos 20 años.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

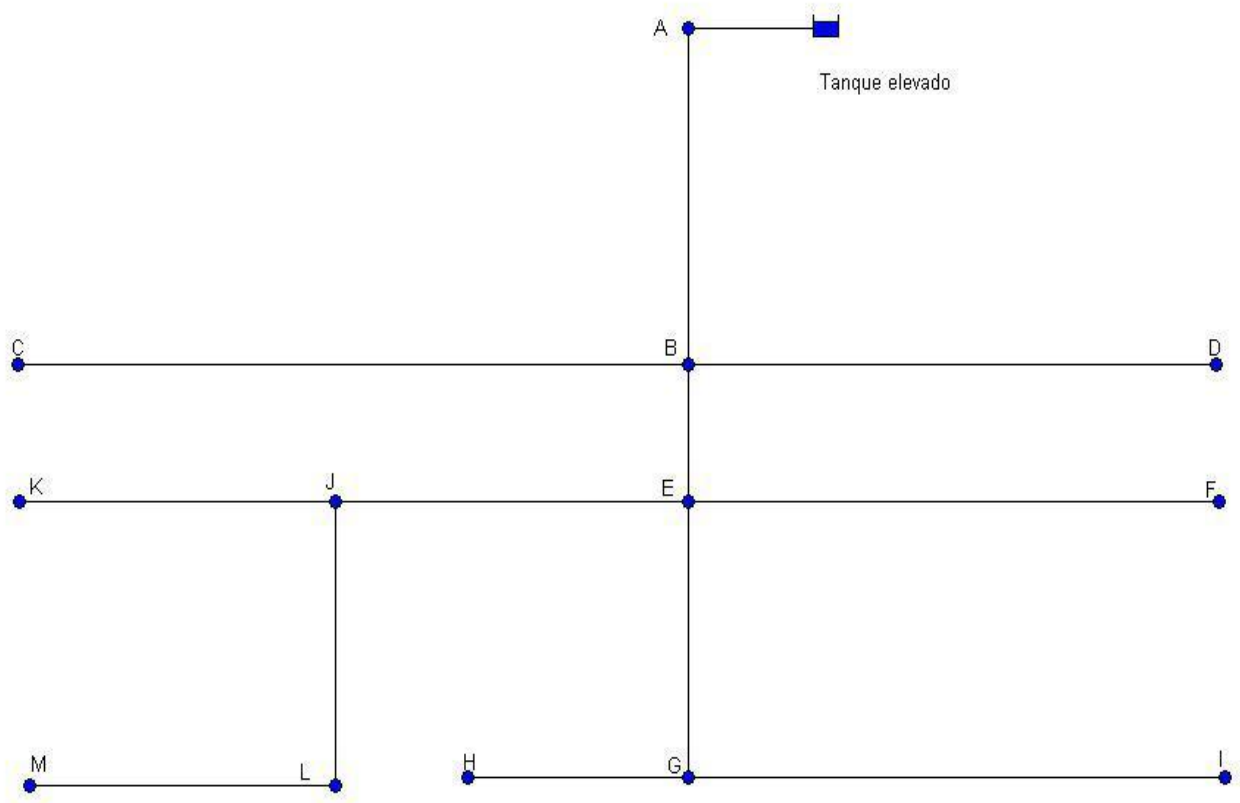


Figura 5.3: Red modelada en EPANET para el inicio del período de diseño.

Tabla 5. 4: Presiones en la red para distintas alturas del tanque elevado, al inicio del período de diseño. En rojo, los valores que no verifican la presión mínima.

Nudo	Tramo	Longitud m	Qdemandado L/s	Altura del tanque propuesta [m]			
				10	10,5	10,75	11
				Presión m	Presión m	Presión m	Presión m
C	BC	183,68	0,47	9,03	9,53	9,78	10,03
D	BD	92,94	0,24	11,11	11,61	11,86	12,11
K	JK	97,48	0,25	10,01	10,51	10,76	11,01
F	EF	92,94	0,24	11,07	11,57	11,82	12,07
M	LM	97,48	0,25	9,99	10,49	10,74	10,99
H	GH	70	0,18	10,03	10,53	10,78	11,03
I	GI	92,94	0,24	11,02	11,52	11,77	12,02

Nota: Qdiseño = 1,85 L/s; Longitud de la red = 727,46 m ; Qmétrico = 0,00254 L/sm

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

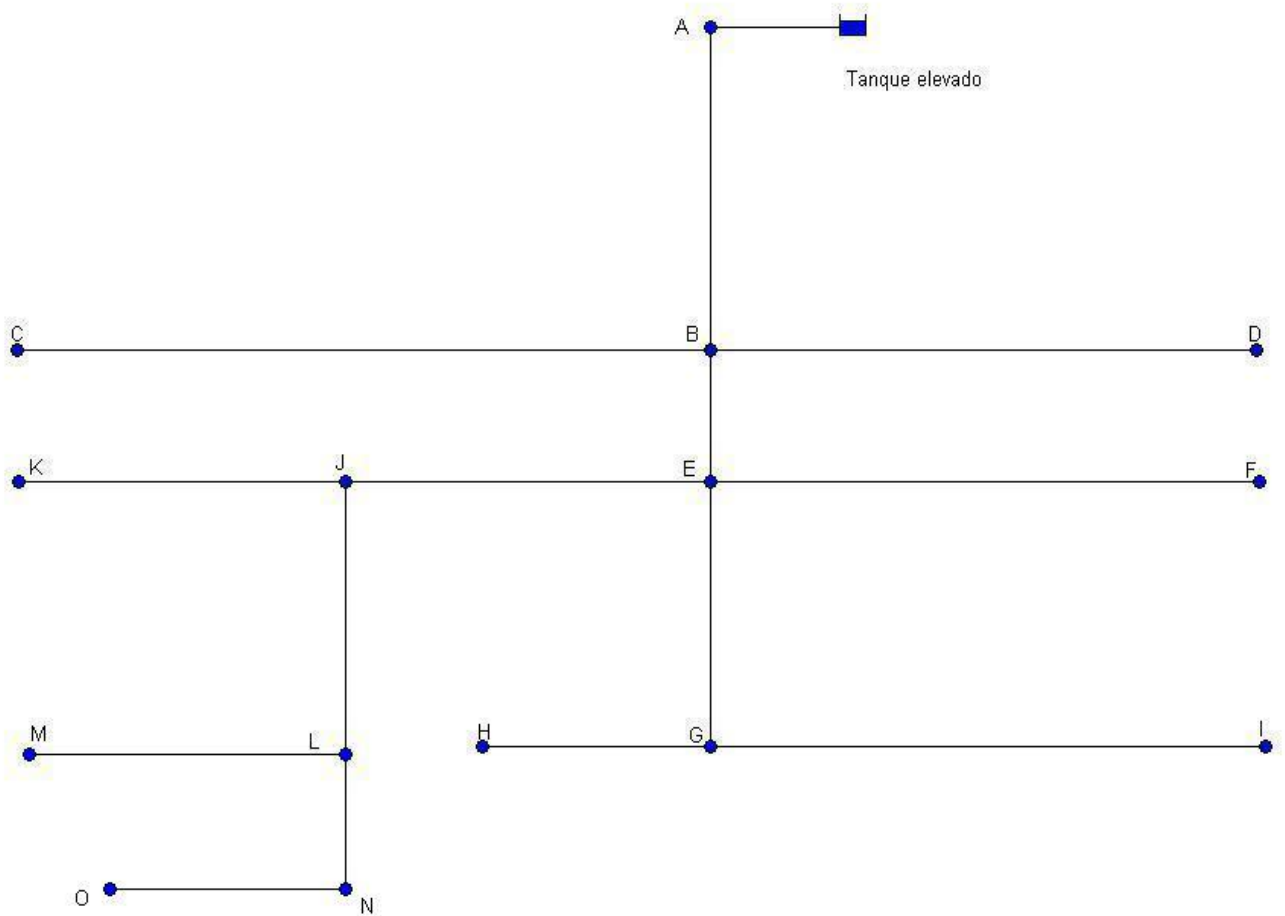


Figura 5.4: Red modelada en EPANET para el final del período de diseño.

Tabla 5.5: Presiones en la red para distintas alturas del tanque elevado, al final del período de diseño. En rojo, los valores que no verifican la presión mínima.

Nudo	Tramo	Longitud m	Qdemandado L/s	Altura del tanque propuesta [m]			
				10,75	11	11,25	11,5
				Presión m	Presión m	Presión m	Presión m
C	BC	183,68	0,51	9,43	9,68	9,93	10,18
D	BD	92,94	0,26	11,53	11,78	12,03	12,28
K	JK	97,48	0,27	10,35	10,6	10,85	11,1
F	EF	92,94	0,26	11,46	11,71	11,96	12,21
M	LM	97,48	0,27	10,3	10,55	10,8	11,05
H	GH	70	0,19	10,43	10,68	10,93	11,18
I	GI	92,94	0,26	11,42	11,67	11,92	12,17
O	NO	73,11	0,20	9,31	9,56	9,81	10,06

Nota: Qdiseño = 2,22 L/s; Longitud de la red = 800,57 m; Qmétrico = 0,0028 L/sm

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

A partir de estos resultados puede verse que la altura mínima a la que debe instalarse el tanque es de 11,50 metros para garantizar una presión mínima de 10 m.c.a. en el punto más alejado de la red de distribución durante todo el período de diseño.

5.5.1.2.- Volumen.

Existen distintos métodos racionales para calcular el volumen de almacenamiento. Sin embargo, en base a comparación con localidades de características similares, en este trabajo se propone la instalación de un tanque elevado de 20 m³. Considerando que:

$$\text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{Permanencia} \therefore \text{Permanencia} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

Tendríamos para el inicio y final del período de diseño respectivamente:

$$\text{Permanencia}_{2014} = \frac{20 \text{ m}^3}{0,00185 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}} = 10810,81 \text{ segundos} = 3 \text{ horas}$$

$$\text{Permanencia}_{2024} = \frac{20 \text{ m}^3}{0,0022 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}} = 9090,91 \text{ segundos} = 2,53 \text{ horas}$$

Por lo que se concluye que con un tanque de 20 m³ se verificaría el tiempo de contacto necesario entre el cloro y el agua para oxidar los nitritos, el cual debe ser mayor a 30 minutos.

5.5.2.- Dosificación necesaria.

Uno de los factores a considerar a la hora de elegir el inyector Venturi que se adapte a las condiciones existentes de instalación es la cantidad de cloro a ser dosificada. Para determinarla se realizaron ensayos de laboratorio y, en base a los resultados obtenidos, una simulación hidráulica de la difusión de cloro en la red de Colonia Las Pichanas en el programa computacional EPANET.

Los ensayos de laboratorio se efectuaron con el fin de comparar el poder de remoción de nitritos de distintas cantidades de cloro. Se pusieron en contacto muestras de agua de Colonia Las Pichanas con una concentración de nitritos de 0,7 mg/L, con soluciones cloradas de distintas concentraciones, preparadas a partir de una solución comercial de hipoclorito de sodio con una concentración de cloro activo de 55 g/L. Posteriormente, se midieron los valores finales de nitritos en todas las muestras, obteniéndose los resultados de la Tabla 5.6.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Tabla 5.6: Resultados de ensayos realizados con cloro.

Muestra	Cloro inicial [mg/l]	Cloro residual [mg/l]	Nitritos [mg/l]
1	5	1,53	0
2	3	No se midió	0
3	1	No se midió	0

El simulador dinámico de la calidad del agua de EPANET permite realizar el seguimiento de la evolución en el tiempo de cualquier producto disuelto en el agua que fluya por la red. La ecuación empleada proporciona un mecanismo para considerar la pérdida (o el aumento) de una sustancia por reacción durante su permanencia en la red de distribución. Las reacciones pueden ocurrir tanto en el seno del agua como con el material constituyente de las paredes de tuberías, pudiendo EPANET modelizar ambos tipos de reacción utilizando una ecuación cinética de primer orden.

En una reacción de primer orden la velocidad es directamente proporcional a la concentración. En general, en el interior de una tubería, la velocidad de reacción de una sustancia vendrá dada por:

$$\theta(c) = -k_b c - \frac{k_f}{R_H} (c - c_w)$$

Donde: θ = velocidad de reacción, k_b = constante de reacción de primer orden en el seno del agua, c = concentración de la sustancia en el seno del líquido, k_f = coeficiente de transferencia de masa entre el medio y la pared de la tubería, R_H = radio hidráulico de la tubería, c_w = concentración de la sustancia en la pared.

El primer término de esta ecuación modeliza la reacción en el seno del agua, mientras que el segundo incluye una nueva incógnita c_w que representa la velocidad de transporte de la sustancia entre el medio y las zonas de reacción de las paredes de la tubería.

Suponiendo que la cinética de reacción en la pared es de primer orden con respecto a c_w y que discurre a la misma velocidad con que la sustancia es transportada, se puede escribir la siguiente ecuación de equilibrio:

$$k_f(c - c_w) = k_w c_w$$

Donde k_w es una constante de reacción en la pared cuyas unidades son (m/s). Despejando c_w de esta última, se llega a la siguiente ecuación para el término de reacción:

$$\theta(c) = -Kc$$

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Donde K es una constante global de reacción de primer orden, que tiene por expresión:

$$K = k_b + \frac{k_w k_f}{R_H(k_w + k_f)}$$

A los fines de este trabajo, se considerará únicamente el primer término de la ecuación anterior, referido a la reacción en el seno del agua, lo que nos daría la siguiente expresión de velocidad de reacción:

$$-\frac{dc}{dt} = k_b c$$

Integrando dicha ecuación se obtiene:

$$\ln \frac{C_o}{C} = k_b t$$

Por lo que la constante k_b puede definirse de la siguiente manera:

$$k_b = \frac{\ln \frac{C_o}{C}}{t}$$

A partir de la ecuación anterior y los resultados obtenidos para la muestra ensayada N° 1, puede calcularse la constante a aplicar a la red de agua de Colonia Las Pichanas. El único dato faltante es el referido al tiempo -denominador de la ecuación-, que en este caso haría referencia al tiempo exacto transcurrido entre la preparación de la muestra y el análisis de laboratorio. A falta de información sobre este punto, se consideraron dos situaciones: que las mediciones se efectuaron a las 6 y a las 24 horas. Los valores de la constante k_b para ambos caso serían los siguientes:

- Medición efectuada a las 6 horas:

$$k_b = \frac{\ln \left(\frac{5 \frac{mg}{l}}{1,53 \frac{mg}{l}} \right)}{0,25 \text{ día}} = 4,74 \text{ día}^{-1}$$

- Medición efectuada a las 24 horas:

$$k_b = \frac{\ln \left(\frac{5 \frac{mg}{l}}{1,53 \frac{mg}{l}} \right)}{1 \text{ día}} = 1,18 \text{ día}^{-1}$$

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

El análisis de calidad de agua se realizó sobre las dos redes presentadas anteriormente, considerando las dos constantes de reacción calculadas. Se propusieron distintas dosificaciones de cloro y se observó su evolución en los nudos más alejados de la red a lo largo del tiempo. Para el caso de la red actual, se hizo el seguimiento de los nudos M e I (Figura 5.5), mientras que para la red futura se monitoreó, además de los dos nudos anteriores, el nudo O (Figura 5.6).

Los resultados de dicho análisis consisten en curvas de evolución temporal de cloro en los nudos mencionados. Las Figuras 5.7 a 5.14 corresponden a la red actual, considerando una constante $k = -1,18 \text{ día}^{-1}$ en las Figuras 5.7 a 5.10 y $k = -4,74 \text{ día}^{-1}$ en las Figuras 5.11 a 5.14. Las Figuras 5.15 a 5.25 pertenecen a la red proyectada a 20 años, con $k = -1,18 \text{ día}^{-1}$ en las Figuras 5.15 a 5.19 y $k = -4,74 \text{ día}^{-1}$ en las Figuras 5.20 a 5.25.

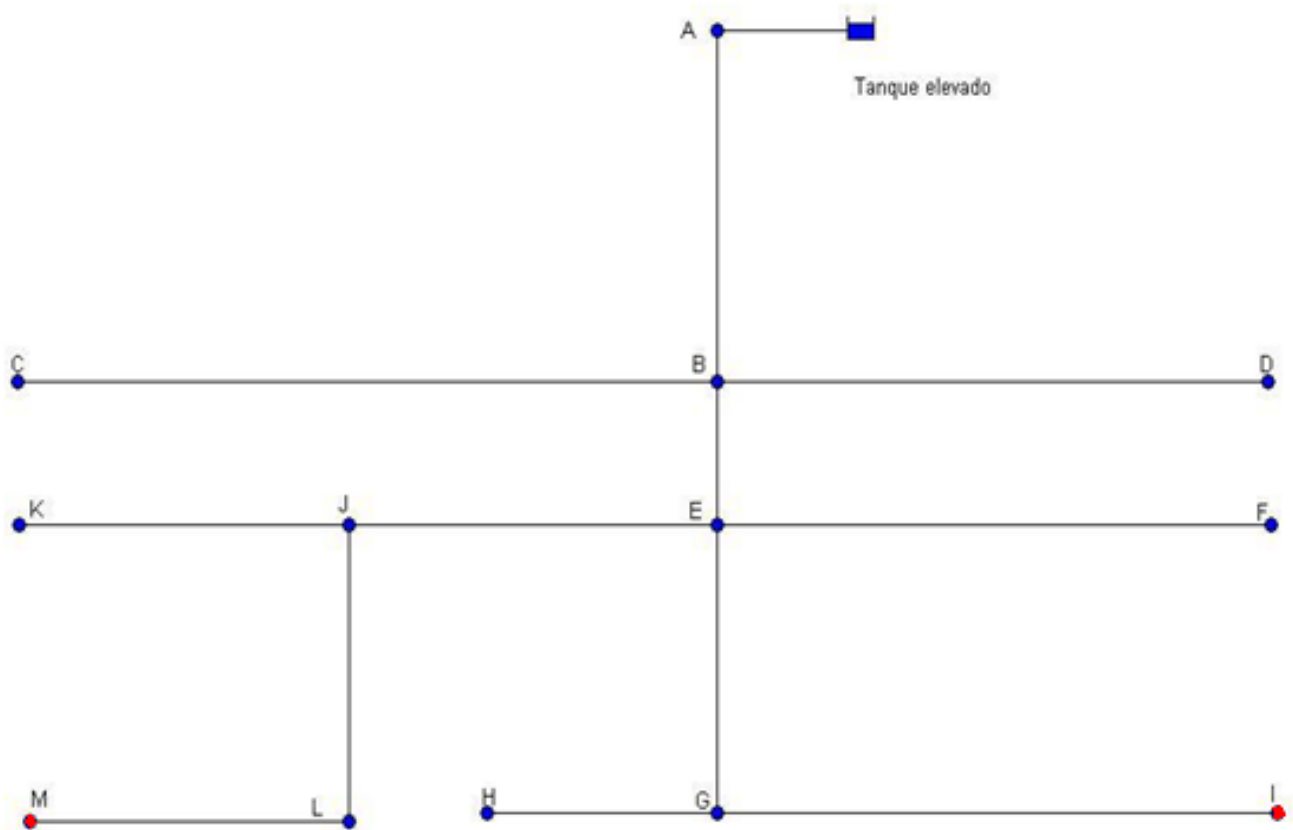


Figura 5.5: Red modelada en EPANET para el inicio del período de diseño. En rojo, los puntos monitoreados.

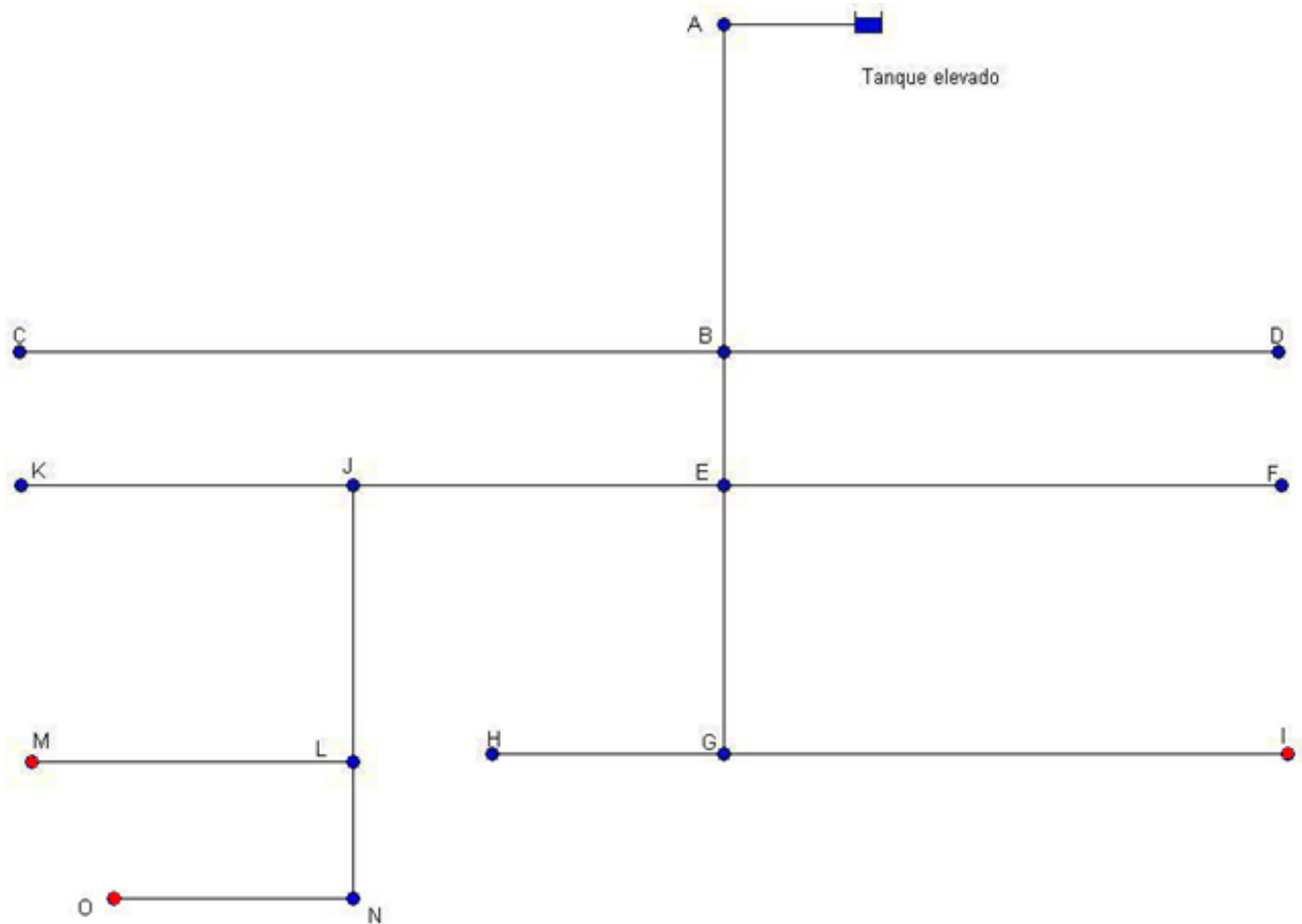


Figura 5.6: Red modelada en EPANET para el final del período de diseño. En rojo, los puntos monitoreados.

Red actual

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l

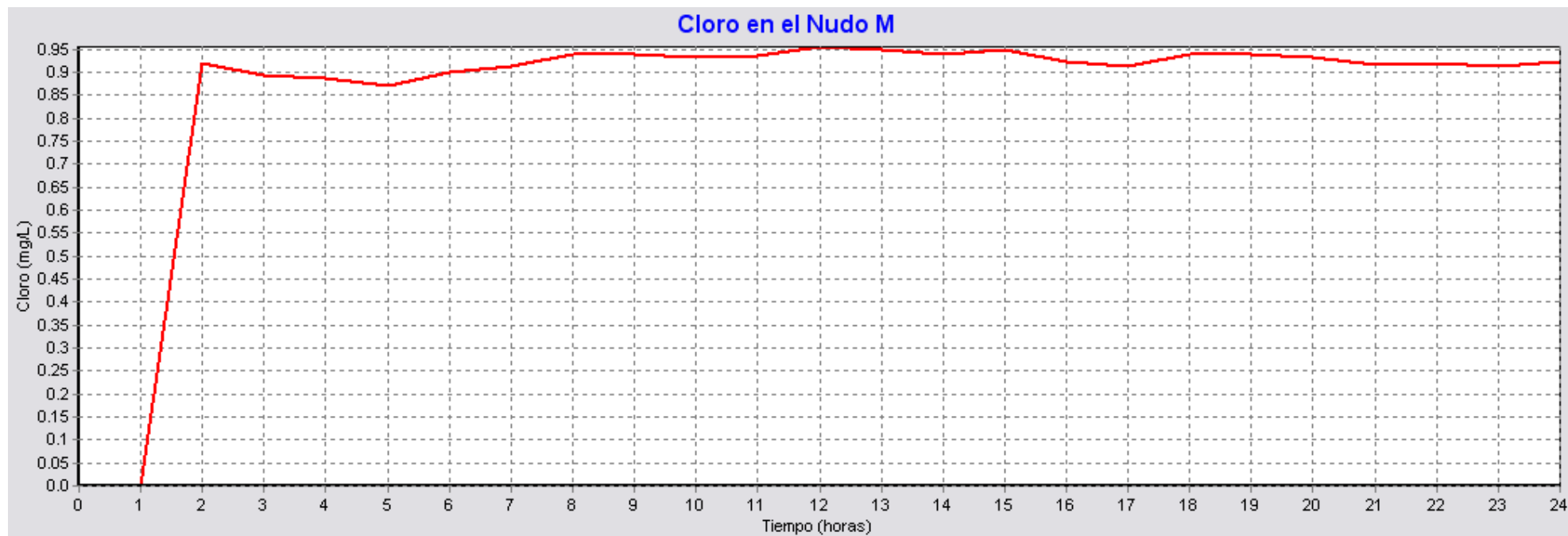


Figura 5.7: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5.8: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l

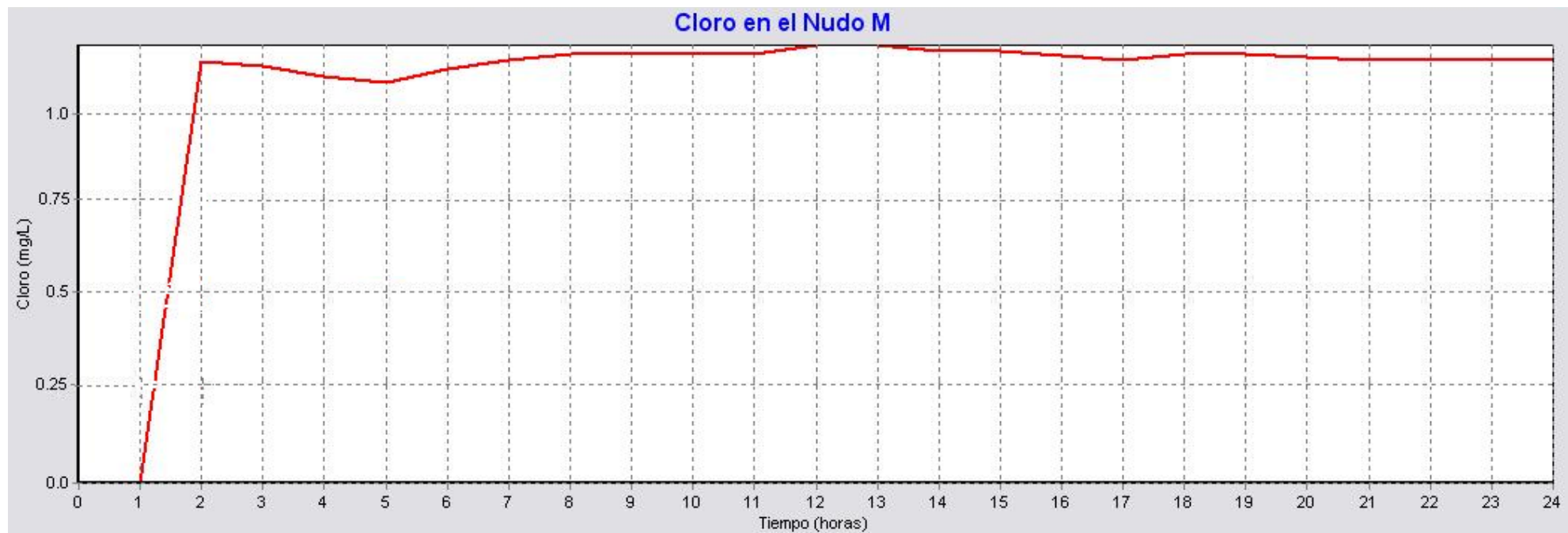


Figura 5.9: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red actual

K = -1,18 día⁻¹; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l

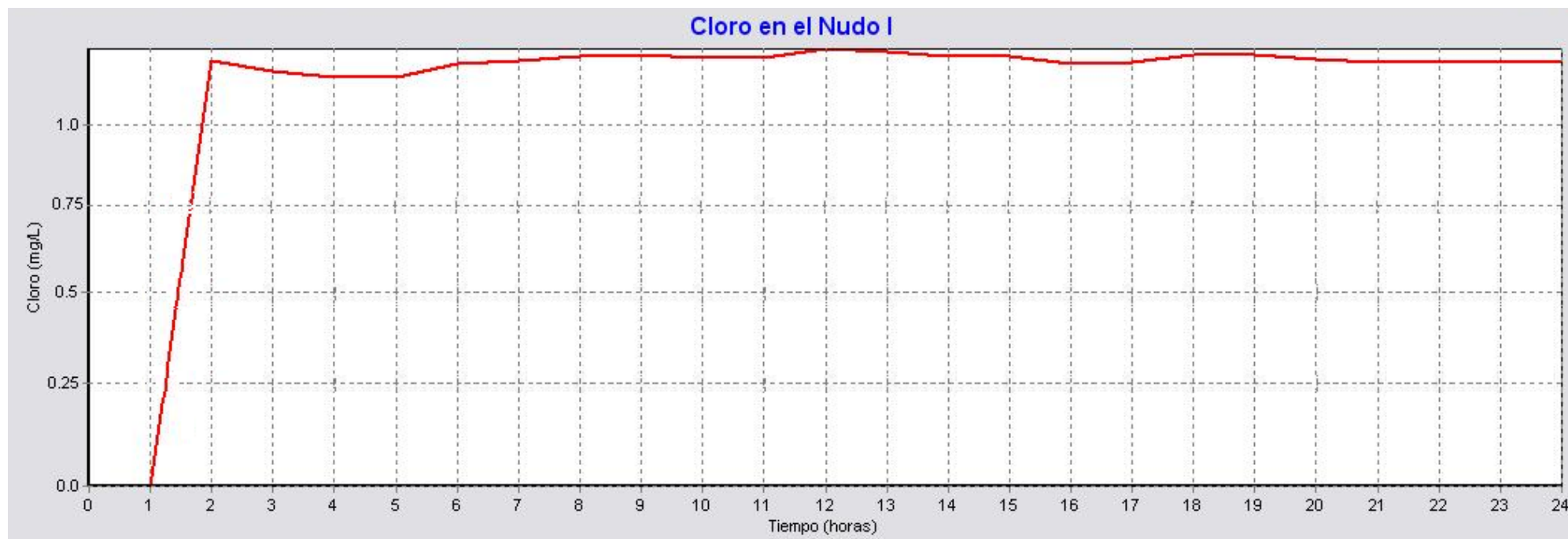


Figura 5. 10: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5. 11: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5.12: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.13: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red actual

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.14: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $C_i = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5.15: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l

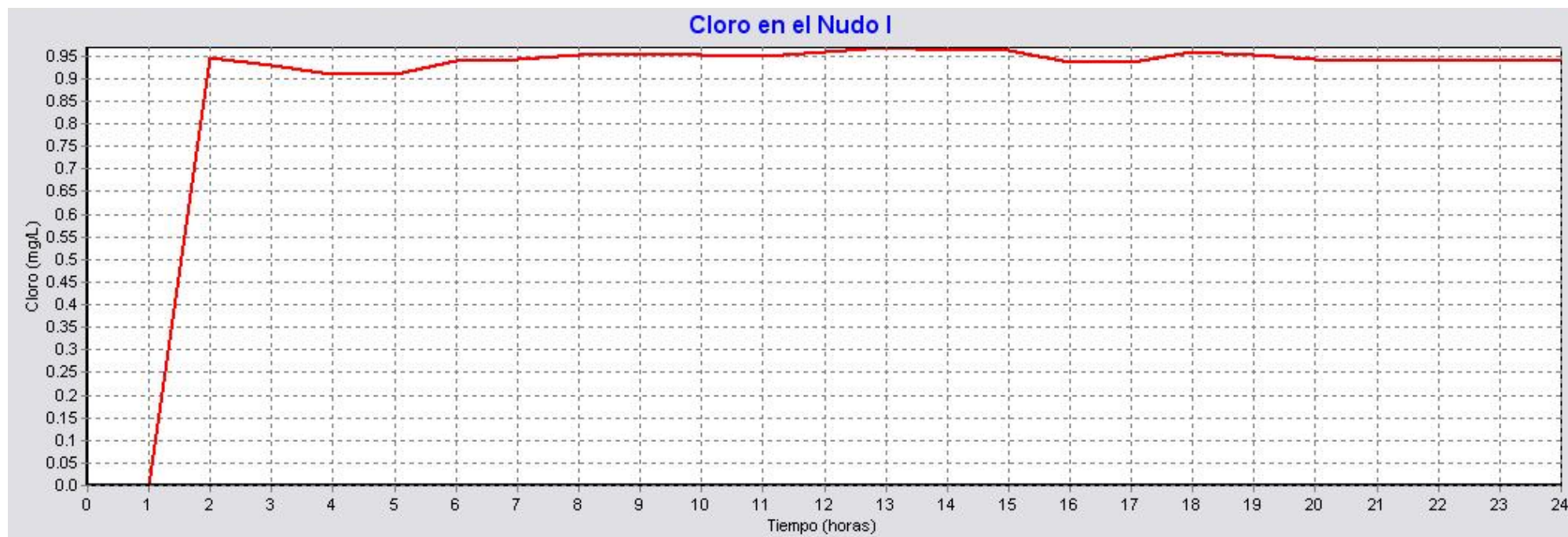


Figura 5.16: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -1,18 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5. 17: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo O ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

K = -1,18 día⁻¹; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.18: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red futura

K = -1,18 día⁻¹; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l

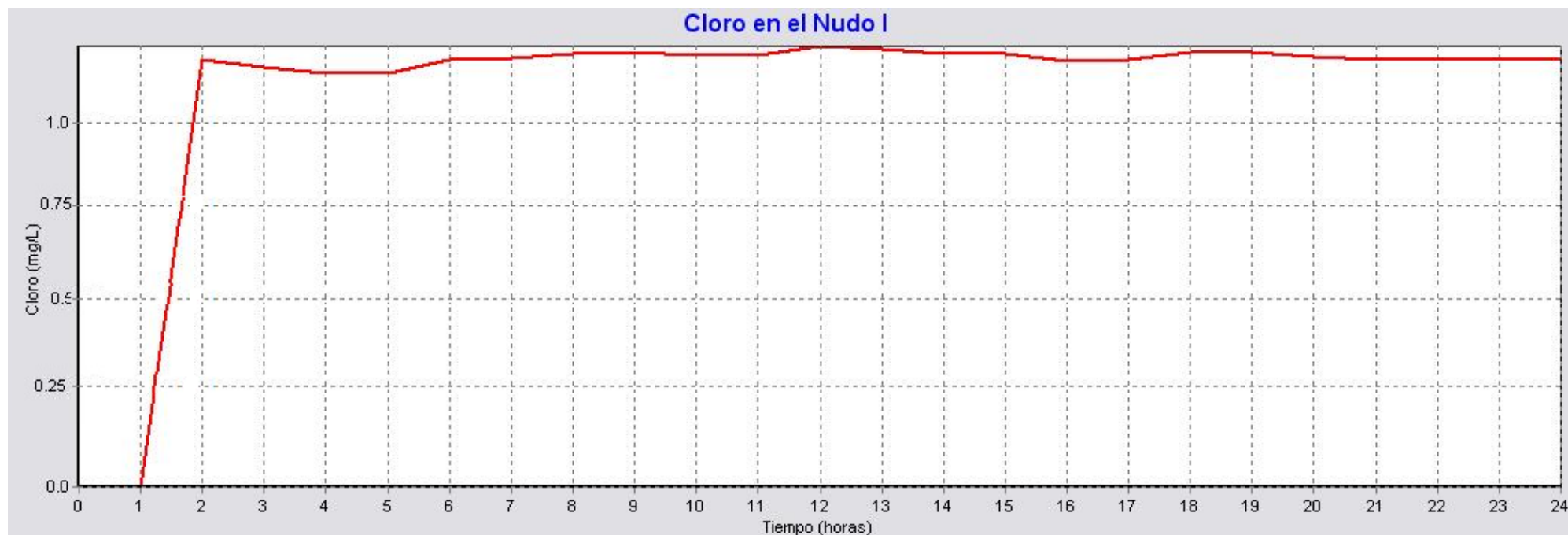


Figura 5.19: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -1,18 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5. 20: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5.21: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1 mg/l



Figura 5.22: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo O ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.23: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo M ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.24: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo I ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Red futura

$K = -4,74 \text{ día}^{-1}$; Dosificación de cloro = 1,25 mg/l



Figura 5.25: Curva de evolución temporal de cloro en el nudo 0 ($k = -4,74 \text{ día}^{-1}$, $Cl = 1,25 \text{ mg/l}$)

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

En el capítulo 3 se comentaron las normativas vigentes respecto a cloro en agua potable. El Código Alimentario Argentino fija, en el artículo 982, una concentración de cloro activo residual mínima de 0,2 mg/L y una máxima de 1 mg/L en agua potable. A partir de los resultados presentados en las curvas anteriores se puede observar que la dosificación que verifica este requisito para todos los casos planteados es la de 1 mg/L, ya que la de 1,25 mg/L presenta en ocasiones valores residuales de cloro por encima de 1 mg/L. Por lo tanto, esto permite garantizar que tanto en la configuración actual como en la proyectada a 20 años de la red de distribución de agua se puede garantizar una concentración mínima de cloro en toda la red.

5.5.3.- Inyector Venturi.

5.5.3.1.- Descripción y funcionamiento.

El inyector Venturi es un dispositivo muy sencillo que consiste en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. La norma ISO 15873:2002: *“Irrigation equipment. Differential pressure venturi fertilizer injector”* lo define como *“un dispositivo cuyo funcionamiento consiste en introducir una corriente a presión de agua a través de un conducto, incrementando la velocidad y reduciendo la presión, para arrastrar un líquido aditivo a través de una tubería de succión, mezclándolo con la corriente de agua.”*

Este dispositivo consta de una parte convergente (tobera), seguida de una sección constante (garganta) y termina en una expansión gradual (difusor) (Figura 5.26).

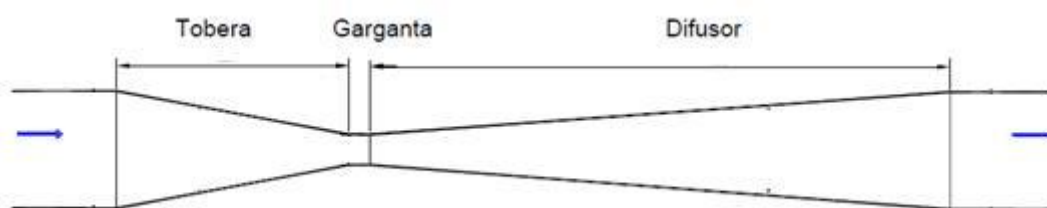


Figura 5.26: Esquema simplificado de un inyector Venturi

Se denomina “Venturi” debido al efecto en el que basa su funcionamiento, enunciado y demostrado por el físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822). Al producirse una reducción gradual del diámetro, desde la tobera de entrada hasta la garganta, tiene lugar un aumento de la velocidad con la consiguiente disminución de la presión. Si el caudal que circula es suficientemente grande, la presión en la garganta llega a ser negativa y si a ella se conecta

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

una conducción hasta un depósito abierto con una solución clorada, se establecerá un flujo entre el depósito y la garganta (Figura 5.27 y Figura 5.28). Su funcionamiento, por lo tanto, depende de la presión y caudal de alimentación.

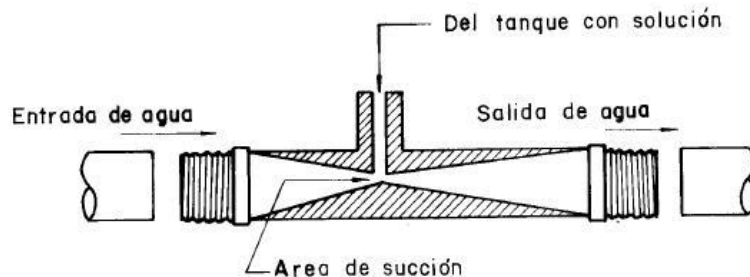


Figura 5.27: Esquema de la sección transversal de un inyector Venturi típico.

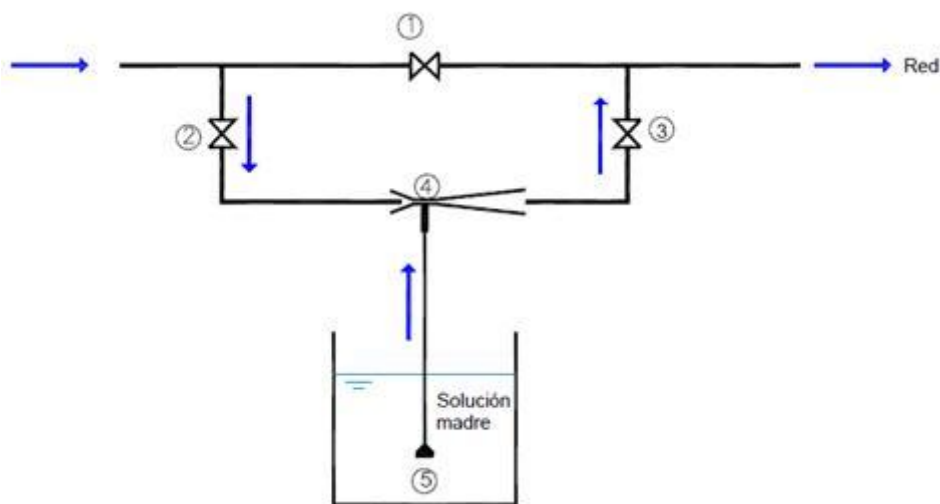


Figura 5.28: Esquema básico de instalación de un inyector Venturi: 1) Válvula de regulación; 2) Válvula de compuerta; 3) Válvula de retención; 4) Inyector Venturi; 5) Filtro

Los dispositivos comerciales más usados se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión para crear succión. La presión de salida del inyector debe ser lo suficientemente más baja que la presión de entrada. Para la mayoría de los modelos, la succión apropiada ocurre con un diferencial de presión del 20 a 30%. En la Figura 5.29 puede observarse un modelo comercial.

Entre las ventajas de este inyector pueden mencionarse su bajo costo, la facilidad de su mantenimiento, la ausencia de partes móviles y su funcionamiento sin necesidad de aporte

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

externo de energía eléctrica. Su principal limitación se debe a la pérdida de carga o caída de presión que provoca en la conducción en la que va instalado, ya que es esta energía la que permite incorporar en la conducción el producto que se desea inyectar.



Figura 5 29: Modelo comercial con accesorios (Mazzei)

5.5.3.2.- Montajes típicos.

Cuando el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi, este dispositivo se instala generalmente en paralelo, alrededor de un punto de restricción tal como una válvula reguladora. Esta válvula crea una presión diferencial a través del inyector, permitiendo así que el inyector produzca un vacío y aspire el material a inyectar (Figura 5.30).

Otra alternativa es instalar el inyector en la conducción principal y una llave de paso en una conducción en by-pass. Cuando la llave está cerrada, se produce la inyección. Cuando está abierta, la inyección se detiene debido a la presión diferencial reducida (Figura 5.31).

Cuando la presión de la línea principal no puede ser reducida, una pequeña bomba elevadora de presión puede ser utilizada para crear suficiente presión diferencial para operar el inyector. Esto se realiza instalado el inyector en una derivación junto con la bomba. Este montaje no resulta muy aconsejable, dado que la inclusión de la bomba aumenta los costos y se pierden las ventajas de este sistema de inyección frente a las bombas inyectoras eléctricas (Figura 5.32).

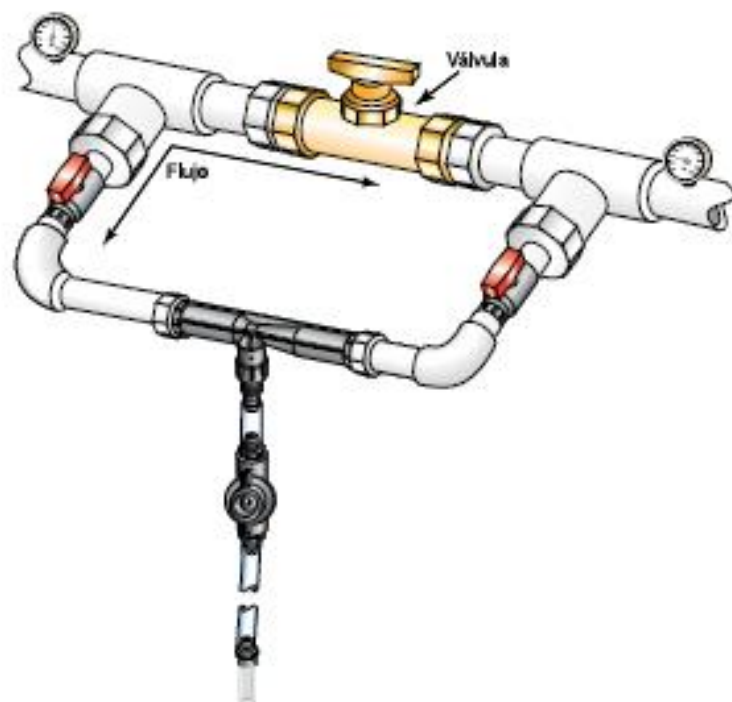


Figura 5.30: Inyector instalado en paralelo (Mazzei, 2014)

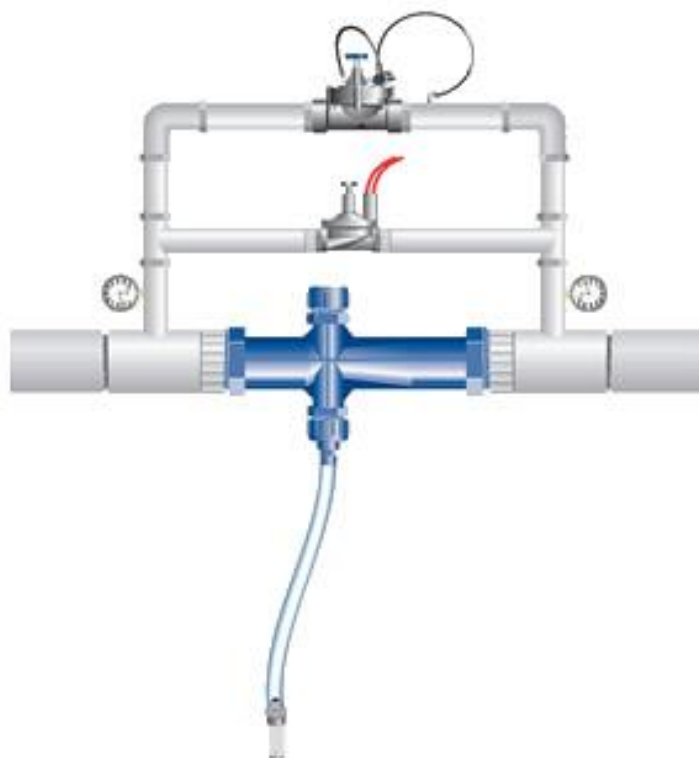


Figura 5.31: Inyector instalado en la conducción principal (Mazzei, 2014)

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

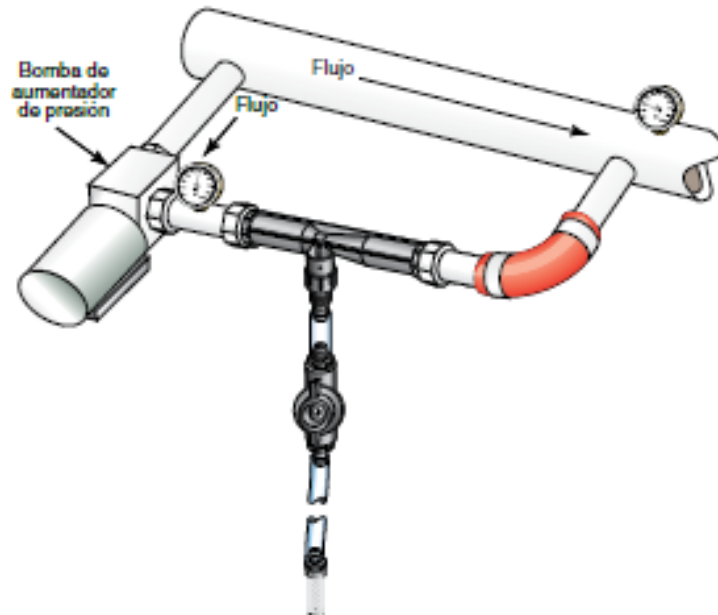


Figura 5.32: Inyector instalado en paralelo con bomba elevadora (Mazzei, 2014)

5.5.3.3.- Selección de un modelo comercial para el sistema de cloración de Colonia Las Pichanas.

En virtud de las características del emplazamiento, la fuente de agua y de la red de distribución, se propone la instalación del inyector Venturi a la salida inmediata del agua del pozo, dentro de la casilla de inspección existente actualmente en el lugar (Figura 5.33).



Figura 5.33: Casilla de inspección donde se instalará el inyector Venturi

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Para poder elegir un dispositivo comercial apto para Colonia Las Pichanas es necesario contar con los siguientes datos:

- Tipo de montaje de la instalación
- Máximo caudal que fluye por el sistema
- Máxima presión disponible aguas arriba del inyector
- Requerimientos de presión aguas abajo del inyector
- Densidad de la sustancia a inyectar
- Caudal a inyectar
- Posición del inyector respecto de la solución a inyectar

La elección del modelo puede realizarse consultando las tablas de rendimiento de inyectores de las marcas comerciales disponibles. En este informe se trabajó con las tablas de rendimiento disponibles en el catálogo de productos de la marca Mazzei. Estas tablas muestran un listado de los valores de flujo motriz (flujo de agua a través del inyector) y capacidades de succión de todos los modelos a diferentes presiones diferenciales. Con los datos listados anteriormente, debe buscarse en dichas tablas el modelo de inyector cuya capacidad de succión sea mayor que la requerida. Para obtener la succión precisa que se requiere, debe utilizarse una válvula dosificadora. Para elegir el modelo, debe tenerse en cuenta también que el flujo motriz no exceda el flujo total de agua del sistema.

En el sitio web de la marca de inyectores Mazzei se encuentra disponible una aplicación que permite determinar el modelo adecuado a las condiciones de instalación, ya que sintetiza toda la información disponible en las tablas de rendimiento. En este trabajo se hizo uso de la misma, verificando los resultados obtenidos con las tablas de rendimiento mencionadas. La Tabla 5.7 presenta una síntesis de los datos necesarios.

Tabla 5.7: Datos necesarios para la determinación del modelo de inyector

Forma de montaje	En paralelo
Flujo total	133,2 L/min
Presión aguas arriba de la válvula	1,5 kg/cm ²
Densidad del aditivo que se va a inyectar	1,02 kg/L
Capacidad de succión	0,32 L/h
Posición del inyector respecto del aditivo	Al mismo nivel

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Se elige un montaje con una configuración en paralelo, como la descrita en la Figura 5.30, para que sea posible evitar el paso del flujo de agua por el inyector en caso de ser necesario por cuestiones de inspección, limpieza o reparación.

El caudal de 133,2 L/min, equivalente a 2,22 L/s y 7992 L/h, es el valor correspondiente al final del período de diseño considerado.

La presión aguas arriba de la válvula es igual a la presión disponible a la salida del pozo, que como se dijo anteriormente tiene un valor de 15 m.c.a., pudiendo oscilar en mayor o menor medida según la época del año.

La densidad del aditivo listada en la tabla corresponde a una presentación comercial de hipoclorito de sodio.

La capacidad de succión se calculó aplicando la siguiente expresión:

$$M = \frac{DQ}{C}$$

Donde: M = Cantidad de cloro a dosificar [L/h]; D = Dosis de cloro necesaria [mg/L]; Q = Caudal de agua a tratar [L/h]; C = Concentración de la solución a dosificar [mg/L]. Luego:

$$M = \frac{1 \text{ mg/L} \times 7992 \text{ L/h}}{25000 \text{ mg/L}}$$

$$M = 0,32 \text{ L/h}$$

Al igual que la densidad del aditivo, el valor de 25.000 mg/L es el valor de concentración correspondiente a una forma comercial de hipoclorito de sodio. El valor de 1 mg/L es el que se obtuvo de la simulación hidráulica realizada con EPANET, expuesta en el apartado 5.2.2.

Los valores de capacidad de succión presentados en las tablas de rendimiento consideran que el fluido a inyectar es agua y se basan en el supuesto de que el inyector y el líquido inyectado están a la misma altura. Es por ello que se requiere la densidad del aditivo a inyectar y la ubicación relativa del inyector para efectuar las correcciones necesarias por peso específico y diferencia de altura.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

En primer lugar debe realizarse la corrección por peso específico. En el caso de que el peso específico del líquido a inyectar fuera mayor al del agua, la capacidad de succión listada en las tablas de rendimiento debe corregirse de la siguiente manera:

$$CS_{real} = \frac{CS_{listada}}{\gamma}$$

Donde: CS_{real} = capacidad real de succión; $CS_{listada}$ = capacidad de succión listada; γ peso específico del fluido a inyectar.

En segundo lugar debe considerarse la diferencia de altura entre el inyector y el fluido a inyectar. Si el inyector se ubica a mayor altura que el líquido:

$$CS_{corregida} = CS_{real} \times \frac{34 - \Delta H}{34 \gamma}$$

Donde: $CS_{corregida}$ = capacidad de succión corregida y ΔH = diferencia de elevación.

Si el inyector se ubica por debajo del líquido a inyectar:

$$CS_{corregida} = CS_{real} \times \frac{34 \gamma}{34 - \Delta H}$$

Como en este caso se consideró que el inyector y el fluido a inyectar se encuentran al mismo nivel, no es necesaria ninguna rectificación debida a la diferencia de altura.

Con toda la información anterior, los modelos comerciales de la marca Mazzei recomendados para la instalación en Colonia Las Pichanas, serían los mostrados en la Figura 5.34. En la misma se muestra el número de designación del inyector, seguido por los valores de presión a la entrada y a la salida del mismo, junto con el flujo motriz y su capacidad de succión.

Se observa que en todos los casos la presión a la salida del inyector es de 1,2 kg/cm², equivalente a 12 m.c.a., lo que implica una pérdida de carga del 20%. De todos modos, esta presión a la salida es suficiente para elevar el agua hacia el tanque elevado, instalado a 11,5 metros de altura, luego de su paso por el Venturi.

Como la instalación se realizará en una configuración tipo by-pass, en paralelo, solo una parte del flujo total de agua pasará por el inyector, es por ello que en todos los casos el flujo motriz es menor al flujo total.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Con respecto a la capacidad de succión, debe elegirse aquel modelo cuya capacidad de succión exceda la capacidad de succión requerida, para luego regularla con una válvula dosificadora. Esta condición se verifica en todos los modelos de la Figura 5.34. Dado que la capacidad de succión requerida es muy pequeña, se opta por el modelo de inyector “784”, el cual tiene la menor capacidad de succión de todos los presentados.

La válvula dosificadora necesaria es provista también por el mismo fabricante en un “kit de succión” que incluye, además de dicha válvula, una tubería de succión, conectores de filtro y abrazaderas (Figura 5.35 y Figura 5.36).

Inyectores recomendados





Inyector	Entrada	Salida	Flujo	Succión	Imágen
	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[L/min]	[L/h]	
1583	1,5	1,2	83,8	242,2	
1078	1,5	1,2	42,8	110,9	
784	1,5	1,2	35,2	63,7	
878	1,5	1,2	28,5	77,0	

Figura 5.34: Inyectores posibles de la marca Mazzei para Colonia Las Pichanas (Mazzei Inyector Selector, 2014)



Figura 5.35: Kit de succión (Mazzei, 2014)

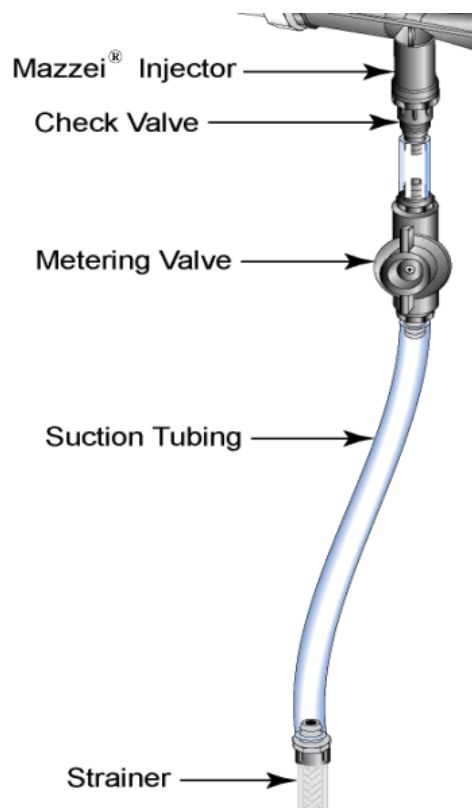


Figura 5.36: Esquema de instalación de válvula dosificadora (Mazzei, 2014)

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

5.5.4.- Planos y detalles.

En el Anexo se incluyen los siguientes recursos gráficos:

- Esquema de la instalación propuesta
- Detalle del tanque elevado
- Detalle de la casilla de inspección con el inyector montado (vista lateral y vista superior)
- Detalle del dispositivo Venturi elegido

5.6.- Cómputo y presupuesto de la alternativa propuesta.

A continuación se incluye el cómputo métrico y el presupuesto del sistema de cloración planteado, tomando los precios a la fecha actual (Octubre/2014).

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Costo		Total
				unitario		[\$]
1	Tuberías y accesorios					
1.1	Tubería de 2,5" de diámetro	3	m	1284,78	(A)	1284,78
1.2	Tubería de 2" de diámetro	5	m	754,02	(A)	754,02
1.3	Tubería de 1,25" de diámetro	1,5	m	403,68	(A)	403,68
1.4	Tubería de 0,75" de diámetro	1	m	180,48	(A)	180,48
1.5	Codo 2,5"	1	un	154,3		154,3
1.6	Codo 2"	4	un	64,81		259,24
1.7	Codo 0,75"	2	un	6,86		13,72
1.8	Reducción 2,5 " - 1,25 "	1	un	24,78		24,78
1.9	Reducción 2" - 1,25"	1	un	12,92		12,92
1.10	Unión T reducción 1,25" - 3/4"	2	un	44,76		89,52
1.11	Cinta aisladora	1	un	20		20
2	Válvulas					
2.1	Válvula de cierre diámetro 2,5"	1	un	835,44		835,44
2.2	Válvula de cierre diámetro 1,25 "	1	un	421,5		421,5
2.3	Válvula de cierre diámetro 3/4"	2	un	208,86		417,72
3	Inyector Venturi					
3.1	Inyector Venturi modelo 784 marca Mazzei	1	un	504,4		504,4
3.2	Kit de succión marca Mazzei	1	un	352,93		352,93
3.3	Kit de bypass marca Mazei	1	un	706,37		706,37

**Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de
Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba**

Item	Designación	Cantidad	Unidad	Costo unitario		Total
				[\$]		[\$]
4	Tanque elevado					
4.1	Torre de 11,50 metros de altura marca Bricher	1	un	61014,23		61014,23
4.2	Tanque de 20.000 litros marca Bricher	1	un	54571,61		54571,61
4.3	Accesorios	1	un	16320,48		16320,48
4.4	Flete y mano de obra de montaje	1	un	10710,32		10710,32
4.5	Estudio de suelos para fundaciones	1	un	15000		15000
4.6	Ingeniería en fundaciones	1	un	5000	(B)	5000
4.7	Construcción de fundaciones	1	un	41000	(B)	41000
				TOTAL [\$]		210052,44

Aclaraciones:

(A) Costo por seis metros de tubería.

(B) Cuatro pilotes de 40 cm de diámetro y 12 metros de profundidad, excavados con lodo bentonítico.

5.7.- Síntesis y conclusiones.

En este Capítulo se estimó la población a abastecer en Colonia Las Pichanas y se determinó el caudal para un período de diseño de 20 años. A partir de esta información se representó la posible expansión de la red de distribución de agua actual.

A partir de lo anterior y del estudio de la técnica de cloración presentada en el Capítulo 3, se propuso un sistema de tratamiento que se adapte a las condiciones locales del poblado en estudio y se analizó individualmente cada uno de sus componentes, recurriendo para ello a ensayos de laboratorio, al programa de simulación hidráulica EPANET y a la información provista por las empresas proveedoras de los mismos.

Para finalizar el análisis, se realizó el cómputo métrico y el presupuesto de la alternativa propuesta, y se confeccionaron los planos generales y de detalles a nivel de anteproyecto.

Todo este proceso fue de gran aprendizaje, y deben destacarse tres cosas.

En primer lugar, que los programas computacionales son de gran utilidad, permitiendo modelar la realidad con mayor o menor precisión, según los datos disponibles. En este caso, el EPANET fue de gran ayuda para obtener resultados que condicionaron la definición del sistema de cloración propuesto.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

En segundo lugar, que el criterio del proyectista es de suma importancia en la definición de algunas variables respecto de las cuales la información disponible es escasa o insuficiente. Esto quedó en evidencia en este trabajo, dado que al tratarse de un proyecto para un medio rural, ciertos datos no están documentados para la localidad de Colonia Las Pichanas en particular, como ser: patrón de consumo de agua (del cual depende el coeficiente de pico), población y tasas de crecimiento (que condicionan el caudal de diseño). Para ello debió recurrirse a otras fuentes (información sobre comunidades de características similares, bibliografía, información estadística departamental) que permitieron estimar un valor adecuado para dichas variables.

Por último, cabe destacar que existen múltiples formas de resolver un mismo problema. La elección más adecuada surgirá del estudio detallado de las alternativas disponibles, y dependerá del contexto técnico y socioeconómico en el que se trabaje, así como del análisis económico de la solución propuesta, y también del criterio y las experiencias previas del proyectista.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

6.1.- Conclusiones.

En este trabajo se analizó la calidad del agua subterránea de la localidad Colonia Las Pichanas y se evaluaron los factores fisicoquímicos y microbiológicos más relevantes, encontrando arsénico y nitritos en la fuente de agua de bebida. Se tuvo especialmente en cuenta el contexto geográfico y socioeconómico de la localidad y se relevó información sobre el grado de concientización que tiene su población sobre la problemática general de la calidad del agua de consumo. También se realizaron actividades para interactuar con dicha población a los fines de transmitirles la importancia de esta problemática en la calidad de vida.

A partir del estudio de antecedentes y análisis de material bibliográfico, se propusieron alternativas tecnológicas y sustentables para la remoción del arsénico y nitritos en el agua de bebida. Se modeló la red de agua potable actual y futura de Colonia Las Pichanas en un programa computacional y se ejecutaron ensayos de laboratorio para evaluar la eficacia de las alternativas propuestas.

Se resumen a continuación, las principales conclusiones obtenidas:

- Toda población que no tiene acceso a agua segura desde el punto de vista químico y microbiológico es una población vulnerable.
- Los estudios realizados en el agua de la localidad de Las Pichanas, requiere de la implementación de métodos sencillos que contribuyan a mejorar la calidad del agua de bebida, sobre todo por la situación social, económica y cultural de dicha población. Idéntica intervención sería necesaria en comunidades rurales vecinas, similares.
- El filtro domiciliario de remoción de arsénico propuesto, se presenta como una alternativa económica y viable, aplicable tanto a Colonia Las Pichanas como a localidades vecinas. En primer lugar, porque se propone el empleo de un material filtrante de bajo costo, de carácter natural, sin alteración alguna y al alcance de cualquier persona, que permite reducir la concentración de As en el agua de bebida, sin alterar ninguna de las demás propiedades fisicoquímicas, bacteriológicas ni organolépticas del agua. En segundo lugar, porque la facilidad en la construcción y en el montaje del filtro propuesto favorece el uso y mantención por parte de usuarios sin necesidad de capacitación especial.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

- El sistema de cloración propuesto atiende a la situación particular y a los condicionantes locales, procurando la máxima sencillez y eficacia posible. En comunidades vecinas con la misma problemática que ya cuentan con un tanque elevado, su implementación resultaría más sencilla, dado que sólo debería hacerse la adaptación necesaria para la instalación del dosificador de cloro.
- Por último, se considera ampliamente positivo el poder revalorizar la discusión de la importancia de la calidad de agua de bebida en la salud humana y al mismo tiempo la significancia de la preservación y cuidado de este recurso para las localidades con escasos del mismo.

6.2.- Recomendaciones para la continuación de este trabajo.

En el Capítulo 4 de este trabajo se explicó que la principal dificultad encontrada en el funcionamiento del filtro domiciliario se relaciona con problemas de escala, ya que no pudo reproducirse en el mismo la eficiencia lograda en los filtros de laboratorio. Si bien se logró reducir la concentración inicial de arsénico en el agua de Colonia Las Pichanas a la mitad, la concentración final obtenida aún se encuentra por encima del límite establecido por el Código Alimentario Argentino (10 ppb). Atendiendo a esto, debe continuarse trabajando en la optimización del diseño del filtro. Una vez resuelto esto, el paso a seguir sería la implementación in-situ de un filtro piloto y su monitoreo, que permita ir reajustando el diseño propuesto.

ANEXO

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT. - Dirección de Ambiente (2003), "Regiones naturales de la Provincia de Córdoba", pp 52 a 54

Arman A. (1992) "A Review of Remediation Technologies in the USA" *Environmental Geotechnology*, Balklema, pp. 385–389.

Bergoglio R.M. (1963) "Mortalidad por cancer en zona de aguas arsenicales de la provincia de Cordoba (Republica Argentina)". V Congreso Ibero-Latino Americano de Dermatología. Buenos Aires, Mar del Plata, pp. 1111 – 1118.

Besuschio S.C. (1990) "Situación Ambiental Argentina Hidroarsenicismo Crónico Regional endémico (HACRE) en Argentina." <http://www.dsostenible.com.ar/situacion/hacre.htm>

Cabrera A., Blarasin M., Cabrera S., Matteoda E., Gomez M.L., Villalba G., Hildman F., Bettera, A. (2005) "Arsénico y flúor en el acuífero freático en el sur de Córdoba: línea de base hidroquinona y problemática ambiental vinculada" en: G. Galindo, J.L. Fernandez-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno Torrente (eds.), *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea – IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Rio Cuarto, 25-28 de octubre de 2005. Argentina. pp. 41-52

Carro Pérez, M. E.; Cebollada-Verdaguer P.; Francisca F. M. y Rodríguez, A. (2007) Arsénico, vanadio y flúor en el agua subterránea de Córdoba. XXI Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2007, Tucumán, Argentina. Publicado. Con referato.

Carro Pérez y Francisca (2013), "Arsenic entrapment in reactive columns of residual soils", *Journal of environmental engineering* 139 (06), pp 780 – 795.

Código Alimentario Argentino-Ley 18.284/69. Art 982.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

DÍAZ, F. M. 1985. "Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos – Situación existente en el Aglomerado Bonaerense", Anales del XII Congreso Nacional del Agua, Tomo III (a), CONAGUA 85, Mendoza, República Argentina, 1985, 21.

Di.P.A.S. *Normas para la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la Provincia*. Decreto 415/99.

Di.P.A.S. (1994) *Resolución 608/93*, Dirección Provincial de Agua y Saneamiento.

Di.P.A.S. (2006) *Resolución 074/2006*, Dirección Provincial de Agua y Saneamiento.

ENOHSA *Ente Nacional De Obras Hídricas De Saneamiento*. CAPITULO VIII. TRATAMIENTOS ESPECIALES - 6. REMOCION DE ARSENICO.

EPA (2006). "List of Drinking Water Contaminants and MCLs", Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/safewater/arsenic/index.html>.

EPA (2002) Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste, and Water EPA-542-R-02-004 and Emergency Response September 2002 (5102G) <http://www.epa.gov/tioclu-in.org/arsenic>

Fernandez-Turiel J.L., Galindo G., Parada M.A., Gimeno D., Garcia-Valles M., Saavedra J. (2005). "Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento" en: G. Galindo, J.L. Fernandez-Turiel, M.A. Parada, D.Gimeno Torrente (eds.), *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea – IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Rio Cuarto, 25-28 de octubre de 2005. Argentina. pp. 1-22.

Fetter C.W. (1993) *Contaminant Hydrogeology*. Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey, 500 p.

Francisca, F. M., & Carro Perez, M. E. (2009). Assessment of natural arsenic in groundwater in Córdoba Province, Argentina. *Environmental Geochemistry Health*(31), 673-682.

GIJZEN, H. J. y A. MULDER. 2001. "El desbalance en el ciclo global del nitrógeno", *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 59, 73 –74.

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Hopenhayn–Rich C., Biggs M.L. y Smith A.H. (1998) “Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Cordoba, Argentina.” *International Journal of Epidemiology* 27, pp. 561-569.

INDEC, “Resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010”

INTERNATIONAL WATER SERVICES ASSOCIATION (IWSA). 1998. “Nitrates”, The Blue pages –The IWSA information source on drinking water issues, 7 – 8.

ISO (2002), Norma ISO 15873:2002 ““Irrigation equipment. Differential pressure venturi fertilizer injector”

JOLÁNSKAI, GÉZA (ed.); ROBERTS, GARETH (ed.). 1985. “Contamination of subsurface water resources by nitrate”. Unesco, Programa del Hombre y Biosfera, Paris. (Budapest: UNESCO / MAB, 1985).

Konstantinos C.M., Dibyendu S., Rupali D. (2006) “Evaluating a drinking-water waste byproduct as a novel sorbent for arsenic” *Chemosphere* 64, pp. 730–741.

Mazzei Injector Corporation, “Boletín técnico N° 5: El uso de inyectoros Mazzei en líneas de agua presurizada” http://mazzei.net/venturi_injectors/

Mazzei Injector Corporation, “Boletín Técnico N° 1: Corrección de la capacidad de succión de líquidos en inyectoros Mazzei” http://mazzei.net/venturi_injectors/

Nicolli H.B., O’Connor T.E., Suriano J.M., Koukharsky M.M.L., Gomez Peral M.A., Bertini L.M., Cohen. I.M., Corradi L.I., Balean O.A., Abril E.G. (1985) *Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la Llanura sudoriental de la provincia de Córdoba*. Miscelánea no 71, Academia Nacional de Ciencias. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Córdoba, Argentina. 112 pp.

Organización Panamericana de la Salud (2007), “La desinfección de agua”

Propuestas para la remoción de arsénico y nitritos del agua de bebida de la comunidad rural de Colonia Las Pichanas, Provincia de Córdoba

Organización Panamericana de la Salud, "Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento por gravedad y bombeo"

Organización Panamericana de la Salud (2007), "Guía para la selección del sistema de desinfección"

Organización Panamericana de la Salud (2007), "Guía para la operación y mantenimiento de sistemas de desinfección"

Smedley P.L. y Kinniburgh D.G. (2002) "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters." *Appl. Geochem.* 17(5), pp. 517-568.

WHO (World Health Organization) (1981) "Arsenic", EHC (ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA), no 18. IPCS (INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY). <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc018.htm>

WHO (World Health Organization) (2003) "Arsenic in Drinking-water" (Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality). WHO/SDE/WSH/03.04/75. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/arsenic.pdf