

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y
SAN DIEGO, CESAR**

**ADRIANA CASTILLO SARABIA
YUDIS YULIETH OSORIO BAYTER
LILIANA PATRICIA VENCE MÁRQUEZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA MICROBIOLOGIA AGROINDUSTRIAL
2009**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y
SAN DIEGO- CESAR**

**ADRIANA CASTILLO SARABIA
YUDIS YULIETH OSORIO BAYTER
LILIANA PATRICIA VENCE MÁRQUEZ**

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial para optar al título de
MICROBIOLOGA**

**Asesor Técnico y Metodológico
PEDRO JOSÉ FRAGOZO
Bacteriólogo Enf. Microbiología Agroindustrial
Maestrante en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

**Asesor Estadístico
ÁLVARO GOMEZ ELORZA
Ingeniero ambiental y sanitario**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA
ENFASIS AGROINDUSTRIAL
VALLEDUPAR
2009**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Valledupar 29 de octubre de 2009

DEDICATORIAS

A **Dios** por haberme dado la vida y regalarme día a día la fortaleza necesaria para alcanzar las metas que me he propuesto y en las que él en su amor infinito y sabiduría suprema ha sabido guiarme. **GRACIAS PADRE SANTO.**

A mi **mamá** y mi **papá**, por su amor y apoyo constante en esta etapa que acabo de culminar, sin su apoyo hubiese sido imposible ver realizado este sueño.

A mi tía **Clara** y mis **abuelos** por sus consejos sabios y sus enseñanzas en mis primeros años de vida.

A **Miguel**, por acompañarme todo este tiempo y apoyarme incondicionalmente. Este triunfo es también tuyo.

A mis hermanos, **Jairo, José y Oscar**, a **Mónica, Jairo Alberto, Emilce, Oscar** Vence por su compañía.

A mis amigos **Jessica, Jaider, Idier, Andrea, Álvaro**. Los quiero mucho.

Liliana Patricia

*A ti **Señor, mi Dios**, por ser el camino, la verdad y la vida. Por regalarme tu bendición en este largo viaje, que aunque difícil, tú has sido mi roca para soportar todas las adversidades y contigo lo he logrado. Gracias por tu luz y por tu amor.*

*A mi **papá** y a mis hermanos, **Jaime, Jader y Rocío**, porque estuvieron allí en esos momentos tan difíciles, por su paciencia, consejos, por creer en mi y por darme el amor que nunca me faltó.*

*A **Ceci**, por ser mi hermana, mi amiga y por acogerme cuando más lo necesité, por mostrarme que “la Gran espera es el comienzo de la Victoria...”*

*A mis amigos, **Alex**, los **Villa, Carlitos, Karol**, chicos muchas gracias por darme ánimos y ayudarme incondicionalmente.*

A todas las personas que hicieron posible que este sueño se hiciera realidad!

Adriana C.

A Dios, por darme la vida, por ser mi guía y protector en cada paso que doy, el que me ha llenado de fortaleza, fé y sabiduría para alcanzar mis metas.

A mi madre Yamile, por sus valiosos esfuerzos, su paciencia y su lucha insaciable. Gracias por enseñarme a ser fuerte y constante en mis propósitos y por enseñarme a ser la mujer que soy.

A mi mami Eloísa, por guiarme siempre por el camino del bien, por los grandes valores que me enseñó desde niña y por que junto a ella y mi madre crecí llena de entusiasmo para alcanzar mis sueños. ¡Gracias por que se que soy un orgullo para ustedes, y aquí está el resultado de mis esfuerzos!.....

A mis hermanos Soraya y Jesús David, por darme ánimo para seguir adelante, por apoyarme y por ser mi compañía.

A toda mi familia, por su confianza, apoyo incondicional y a todos los que intervinieron y me colaboraron para seguir adelante y alcanzar mis triunfos; en especial, a mis tías Ana y Elvia Pineda por ser tan acogedoras, por guiarme y protegerme y por sus continuas oraciones.

A mis primos: Nohora, Ivett, William Mejía y Fabiola Pineda y a mi amigo Luifer Bermúdez, por su gran compañía, confianza y consejos.

Yudis Osorio Bayter

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Popular Del Cesar**, por nuestra formación académica y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A la **Corporación Autónoma Regional del Cesar** y a su director Virgilio Calderón y al Ingeniero Jorge Armenta, por la confianza puesta en la realización del proyecto, por su disposición, colaboración, dedicación y enseñanzas.

A la **Universidad del Magdalena**, en especial al Dr. Isaac Romero Borja, coordinador del laboratorio de calidad de agua, Andrés Vélez, coordinador de laboratorio de aire y suelos, y Ariadna Cárdenas por sus amplias enseñanzas, confianza, colaboración, dedicación y por su gran amistad.

A la Empresa de Servicios Públicos de Valledupar, **EMDUPAR S.A. E.S.P.** por habernos permitido el desarrollo de nuestro trabajo en su laboratorio.

Al Dr. **Pedro Fragozo** y al Ing. **Álvaro Gómez**, porque sin su colaboración y dedicación no hubiese sido posible la realización de éste proyecto.

A la Dra. **Massiel Rivera**, la Dra. **Erika Arenas**, la Dra. **Niseth Vence**, el Dr. **Augusto Torres** a la Dra. **Andrea Hinojosa** y la Dra. **Diana Quintero**, por colaborarnos en la realización de éste trabajo y todo lo que aprendimos de ustedes.

A **Kathe**, **Margarita** y **Massiel**, por su apoyo constante y todos los momentos tristes y alegres que juntas pasamos....chicas lo logramos!

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
	LISTA DE TABLAS	
	LISTA DE FIGURAS	
	LISTA DE ANEXOS	
	GLOSARIO	
	RESUMEN	
	ABSTRACT	
	INTRODUCCIÓN	17
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.	JUSTIFICACIÓN	19
3.	OBJETIVOS	20
3.1	OBJETIVO GENERAL	20
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4.	MARCO TEÓRICO	21
4.1	EL AGUA SUBTERRÁNEA	21
4.1.1	Composición química del agua subterránea	22
4.1.1.1	Principales constituyentes químicos	22
	I. Cloruros	23
	II. Nitratos, Nitritos y Amonios	23
	III. Calcio	24
	IV. Magnesio	24
	V. Sodio	24
	VI. Hierro	25
	VII. Manganeseo	25
	VIII. Potasio	25
4.1.2	Características físico-químicas de las aguas subterráneas	25
4.1.2.1	Turbiedad	26
4.1.2.3	Ph	26
4.1.2.4	Temperatura	26
4.1.2.5	Conductividad y sólidos disueltos totales	27
4.1.2.6	Alcalinidad	27
4.1.2.7	Dureza	27
4.1.2.8	Sólidos Totales	27

4.1.2.9	Acidez	28
4.1.3	Importancia del Agua Subterránea	28
4.1.4	Fuentes de Captación	28
4.1.4.1	Pozos artesianos	29
4.2	Contaminación del Agua Subterránea	29
4.2.1	Indicadores de Contaminación Microbiana	30
4.2.1.1	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	30
4.2.1.2	Protozoos	31
	I. Sarcodina	32
	II. Ciliados	32
	III. Flagelados	32
	IV. Apicomplexa	33
	V. Microsporidio	33
4.2.2	Indicadores de Contaminación química	33
4.2.2.1	Dureza	33
4.2.2.2	Hierro y Manganeseo	34
4.2.2.3	Cloruro sódico	34
4.3	CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLOGICA DE AGUA SUBTERRANEAS	34
4.4	CALIDAD DE AGUA PARA AGRICULTURA	35
4.5	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	36
4.5.1	Características de los mapas digitales	37
4.5.2	Datos geográficos	37
4.5.3	Ventajas del SIG sobre otros sistemas de información geográfica	37
4.6	ESTADO DEL ARTE	38
4.6.1	Antecedentes a nivel mundial	38
4.6.2	Antecedentes a nivel nacional	39
4.6.3	Antecedentes a nivel regional	39
4.7	Marco Legal	41
5.	METODOLOGIA	42
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	42
5.1.1	Criterios para delimitar los puntos de muestreo	43
5.1.2	La Paz	43
5.1.3	San Diego	43
5.2	FASE DE CAMPO	44
5.2.1	Muestreo	45
5.2.1.1	Muestras para análisis microbiológico	45
5.2.1.2	Muestras para análisis fisicoquímico	45
5.3	FASE DE LABORATORIO	46

5.3.1	Análisis Microbiológico de muestras de aguas subterráneas	46
5.3.1.1	Determinación de presencia de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	46
5.3.1.2	Determinación de presencia de protozoos	47
5.3.2	Análisis Fisicoquímico de muestras de aguas subterráneas	47
5.4	Procesamiento de datos	48
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
6.1	Determinación de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	49
6.1.1	Representación gráfica de los resultados de la presencia de <i>P. aeruginosa</i>	49
6.2	Determinación de Protozoos	52
6.2.1	Representación gráfica de los resultados de la presencia de Protozoos.	54
6.3	Determinación de Análisis Fisicoquímico	55
6.3.1	Representación gráfica de los punto de muestreo con respecto a los resultados obtenidos luego de aplicar el modelo de ponderación al inverso de la distancia IDW	56
6.3.2	Clasificación de las aguas según el RAS	80
7.	CONCLUSIONES	84
8.	RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFIA	87
	ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: Valores establecidos por la normativa ambiental colombiana vigente	40
TABLA 2: Técnicas usadas para análisis fisicoquímicos	47
TABLA 3: Valores máximos y mínimos hallados	55
TABLA 4: Tipos de agua según la norma de Riverside	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: Ubicación geográfica de los aljibes analizados	42
FIGURA 2: Bailers: instrumento para toma de muestra en pozos	45
FIGURA 3: Presencia de <i>Pseudomona aeruginosa</i>	49
FIGURA 4: Revelación con luz UV	49
FIGURA 5: Determinación de la presencia de <i>P. aeruginosa</i>	51
FIGURA 6: Fotos de los protozoos encontrados en las muestras de agua	52
FIGURA 7: Determinación de la presencia de protozoos	54
FIGURA 8: Determinación de Acidez	56
FIGURA 9: Determinación de Alcalinidad	57
FIGURA 10: Determinación de Amonio	58
FIGURA 11: Determinación de Calcio	59
FIGURA 12: Determinación de Cloruros	60
FIGURA 13: Determinación de Color aparente	61
FIGURA 14: Determinación de Color Real	62
FIGURA 15: Determinación de Conductividad Eléctrica	63
FIGURA 16: Determinación de Dureza Cálctica	64
FIGURA 17: Determinación de Dureza Magnésica	65
FIGURA 18: Determinación de Dureza Total	66
FIGURA 19: Determinación de Hierro	67
FIGURA 20: Determinación de Magnesio	68
FIGURA 21: Determinación de Manganeseo	69
FIGURA 22: Determinación de Nitratos	70
FIGURA 23: Determinación de Nitritos	71
FIGURA 24: Determinación de pH	72
FIGURA 25: Determinación de Salinidad	73
FIGURA 26: Determinación de Sólidos Disueltos	74
FIGURA 27: Determinación de Sólidos Suspendedos	75
FIGURA 28: Determinación de Sólidos Totales Disueltos	76
FIGURA 29: Determinación de Turbidez	77
FIGURA 30: Determinación de Sodio	78
FIGURA 31: Determinación de Potasio	79
FIGURA 32: Depósito y soporte de la membrana	100
FIGURA 33: Depósito de obtención de vacío	100
FIGURA 34: Producción de piocianina	100
FIGURA 35: Producción de pioverdina	100
FIGURA 36: Procedimiento para la técnica de identificación de protozoos	101

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Coordenadas de los puntos muestreados	94
Anexo B. Fotografías de los puntos de muestreo (aljibes o pozos)	97
Anexo C. Técnica de filtración por membrana	99
Anexo D. Técnica de flotación por centrifugación con sulfato de zinc modificada.	101
Anexo E. Técnica de Análisis Fisicoquímicos.	103
Anexo F. Resultado de los análisis fisicoquímicos para los 93 pozos muestreados	104
Anexo G. Curva de calibración para calcular la concentración de Manganeseo.	112
Anexo H. Curva de calibración para calcular la concentración de Hierro.	113
Anexo I. Curva de calibración para calcular la concentración de Nitrato.	114
Anexo J. Curva de calibración para calcular la concentración de Amonio. Información sobre aljibes muestreados.	115
Anexo K. Curva de calibración para calcular la concentración de Nitritos	116
Anexo L. Tabla de resultados de la determinación de <i>Pseudomona aeruginosa</i> .	117
Anexo M. Tabla de resultados de la determinación e identificación de Protozoos.	119
Anexo N. Tabla para la interpretación de los tipos de agua según el RAS	121
Anexo O. Grafico utilizado para interpretar las Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Sanity Laboratory)	122

GLOSARIO

ACUÍFEROS: Un acuífero es una capa permeable de roca capaz de almacenar, filtrar y liberar agua. La capa de roca contiene muchos poros que, cuando se conectan forman una red que permiten el movimiento del agua a través de la roca.

COORDENADAS: Son un conjunto de números que permiten definir la posición de un punto en un espacio con relación a una referencia.

ESCORRENTÍA: Corriente de agua que se vierte a algún tipo de acuífero al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales; en muchos casos, sustancias contaminantes, que al caer al acuífero producen un cambio en la calidad del mismo.

HIDRÁULICA: Parte de la mecánica que estudia los fluidos y el arte de conducción, contención, elevación y aprovechamiento de las aguas.

INFILTRACIÓN: Proceso por medio del cual una sustancia líquida penetra suavemente entre los poros de un sólido, reposando en un acuífero, generalmente subterráneo.

MÉTODO IDW: (Inverse Distance Weighted) Ponderación del inverso de la distancia. Modelo estadístico que interpola ponderando cada valor por el inverso de la distancia al punto a interpolar. El valor interpolado es una medida ponderada de los valores observados donde los ponderados son los inversos de la distancia.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: Es una herramienta usada para analizar y modelar datos y eventos que ocurren en nuestro planeta y producir mapas sobre ellos basándose en el uso de avanzadas tecnologías que se complementan entre sí.

RESUMEN

En la zona rural de los municipios de La Paz y San Diego del departamento del Cesar, existen alrededor de 300 aljibes que actualmente se utilizan para consumo humano, agrícola y ganadero, de los cuales se tomó un grupo de 93 puntos de captación. Se les realizó un análisis microbiológico, que incluyó la determinación de *Pseudomona aeruginosa* y protozoos, y fisicoquímico que incluyó conductividad, pH, temperatura, sólidos disueltos totales, salinidad, acidez, alcalinidad, turbidez, cloruros, amonio, nitritos, nitratos, hierro, magnesio, sodio y calcio, estos tres últimos análisis necesarios para calcular la aptitud para riego; con el fin de evidenciar la calidad del agua de la que se abastecen los habitantes de estos predios. La detección de *P. aeruginosa* se realizó mediante filtración por membrana y revelación por fluorescencia con luz UV, se detectó la presencia de protozoos mediante la técnica de flotación por centrifugación con sulfato de zinc.

De las muestras analizadas en un 84.94% se encontró *P. aeruginosa*, el restante 15.06% no hubo presencia de dicho microorganismo. Se identificaron 5 géneros de protozoos, siendo *Giardia sp* el patógeno con mayor prevalencia, representando un 46.1%, le sigue *Cryptosporidium sp* con un 22.18%, *E. coli* con 13.4%, *E. histolytica* con 9.37% y *B. coli* con 8.9%, lo que se convierte en un alto índice de contaminación y por ende representa un elevado riesgo de infección por parte de estos parásitos para quienes se abastecen del recurso hídrico.

Con relación a los resultados fisicoquímicos estos indicaron que de los pozos muestreados solo un 4.3% contienen agua apta para riego sin que su uso acarree riesgos para la salud.

Palabras claves: aljibes, *P. aeruginosa*, protozoos, irrigación, infección, riesgos.

ABSTRACT

In rural municipalities of La Paz and San Diego's department of Cesar, there are about 300 wells currently used for human consumption, agriculture and livestock, which took a group of 93 collection points. Underwent a microbiological test, which included the determination of *Pseudomona aeruginosa* and protozoa, and physicochemical that included conductivity, pH, temperature, total dissolved solids, salinity, acidity, alkalinity, turbidity, chlorides, ammonia, nitrites, nitrates, iron, magnesium, sodium and calcium, these three recent analysis necessary to calculate the fitness for irrigation in order to show the quality of water which supplies the inhabitants of these lands. The detection of *P. aeruginosa* was performed by membrane filtration and revelation by UV fluorescence, revealed the presence of protozoa by centrifugation flotation technique with zinc sulphate.

Of the samples analyzed in a 84.94% were *P. aeruginosa*, the remaining 15.06% had no presence of this microorganism. We identified 5 genera of protozoa, *Giardia sp* being the most prevalent pathogen, accounting for 46.1%, followed by *Cryptosporidium sp* with 22.18%, *E. coli* with 13.4%, *E. histolytica* with 9.37% and *B. coli* with 8.9%, which becomes a high level of contamination and thus constitute a high risk of infection by these parasites for those supplying the water resource.

Regarding the physicochemical results indicated that these wells sampled only 4.3% contain water suitable for irrigation use without entailing health risks.

Key words: wells, *P. aeruginosa*, protozoa, irrigation, infection, risks.

INTRODUCCIÓN

El agua freática o subterránea, es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola; las capas acuíferas subterráneas, contienen el 90 % del agua fresca total que se encuentra disponible para el consumo humano; sin embargo, es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente (Lanz 1997). Cuando el agua freática llega a contaminarse no puede depurarse por sí misma como el agua superficial tiende a hacerlo, debido a que los flujos de agua freática son lentos, y la existencia de bacterias degradadoras es poca, gracias a la deficiencia en la cantidad de oxígeno disponible (Quintero y Herrera 2008).

La circulación subterránea, en lo que respecta al paso del agua por las distintas capas terrestres, tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos como bacterias, virus y protozoos; que en ocasiones, llegan al acuífero por contaminación generada a partir de las actividades humanas, como las fosas sépticas, la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy solubles usados en la agricultura, que suelen ser una causa grave de contaminación de los acuíferos en áreas de productividad agrícola y densa población.

En las aguas subterráneas se transportan muchos parásitos, bacterias coliformes y otras especies como la *Pseudomona aeruginosa*, *Klebsiella*, *Enterococos*, *Mesófilos aerobios*, entre otros. Siendo una peligrosa fuente de toxiinfecciones y enfermedades gastrointestinales en la población consumidora de esta agua (Campos *et al.* 2002). Por tal motivo es importante el estudio de la calidad microbiológica y fisicoquímica en los municipios de La Paz y San Diego, Cesar; para identificar los posibles agentes y causas que generen enfermedades de origen hídrico y peligros sanitarios, determinando los agentes patógenos que alteran la calidad de las aguas subterráneas, tomando dichos estudios como base para el control y tratamiento de estas aguas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua subterránea, explotada por medio de pozos profundos, es determinante para que zonas marginadas y poblaciones reprimidas, se desarrollen y mejoren sustancialmente su calidad de vida, sin embargo, cuando estas aguas están contaminadas y no tienen un tratamiento adecuado, su consumo puede ser peligroso para la salud humana y para el ecosistema.

En los municipios de La Paz y San Diego, se hallan pozos de aguas subterráneas que son utilizados para el consumo humano, actividades agrícolas y/o ganaderas, pero que se ven afectados por contaminación antrópica (Herrera, Quintero 2008).

Éstas son aguas que no se les realiza ningún tipo de tratamiento, ni monitoreo medioambiental que incluya análisis fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que se hace necesario la realización de un estudio que permita determinar la calidad de esta agua, para que sirva como base para el control y tratamiento de ellas, ya que estas son susceptibles a ser contaminadas por material orgánico que conllevan a la contaminación por microorganismos y sustancias químicas, producto de la escorrentía.

2. JUSTIFICACIÓN

En el Departamento del Cesar, existen muchos depósitos de agua subterránea, que constituyen una fuente importante de agua para consumo humano y uso agrícola, que se están viendo afectados por la contaminación provocada por las fosas sépticas cercanas que contienen desechos orgánicos y heces de animales y por lixiviados de agroquímicos, potencialmente nocivos, provenientes de la actividad agrícola los cuales se infiltran a través del suelo y que llegan a estas fuentes de agua por escorrentías (Fragozo 2007), además por las condiciones físicas de los puntos de captación las cuales no son ideales en infraestructura; esta situación da paso a que se altere la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua y por ende la calidad de vida de las personas que se abastecen de distintas formas de estos depósitos.

Estas aguas contaminadas son un vehículo para el transporte de patógenos causantes de enfermedades epidémicas, toxiinfecciones y enfermedades gastrointestinales como son disentería amebiana, diarrea, dolor abdominal, complicaciones hepáticas, renales y en las mucosas, además de otros problemas graves como defectos congénitos, daños hepáticos o renales, enfermedades en el sistema circulatorio y en la piel, constituyendo un serio problema de salud pública y de desequilibrio medioambiental.

Si el agua de estos aljibes se usa para riego, los problemas radican en la acumulación de elementos, como por ejemplo las sales, que son nocivas para las plantas, reduciendo el aprovechamiento y la labranza del suelo, generando pérdida de nutrientes y en otros casos inhibiendo el crecimiento celular en las mismas provocando pérdidas para el agricultor.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas en los municipios de La Paz y San Diego, Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la presencia de *Pseudomona aeruginosa* de las aguas subterráneas en estos municipios del Cesar.
- Determinar la presencia de protozoos en las aguas subterráneas en el área de estudio.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas en el área de estudio.
- Comprobar la aptitud para riego del agua proveniente de los pozos ubicados en estos municipios.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA

En todo el mundo, los pozos y los manantiales o fuentes proporcionan agua para las ciudades, las cosechas, el ganado y últimamente para la industria. El agua subterránea es uno de los recursos más valiosos y asequibles, aunque nuestras percepciones con respecto al ambiente subsuperficial del que procede son a menudo poco claras e incorrectas (Vargas 2004)

El agua subterránea es conocida como aquellas formaciones geológicas que permiten el paso del agua y su explotación. Se encuentra en la zona saturada, debajo de la superficie terrestre. Presenta sesenta veces más agua de la que hay en lagos y arroyos, pero parece algunas veces un problema por las diferentes profundidades a las que se encuentran, la velocidad de extracción y además, cuando se infiltran aguas contaminadas hasta los depósitos de agua subterránea, estas últimas también se contaminan (Hirata, Reboucas 2001)

El agua que se filtra por la zona de suelos no saturados, conocida como zona vadosa, lleva constituyentes disueltos, entre ellos compuestos orgánicos, hasta las aguas subterráneas donde se descomponen en reacciones anaerobias. En las aguas subterráneas la desnitrificación está favorecida por los potenciales redox bajos y las altas concentraciones de nitratos propios de muchos acuíferos (Schlesinger 2000)

Las aguas subterráneas suele ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

La circulación subterránea tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos, pero en ocasiones estos llegan al acuífero por contaminación debido a los usos humanos, como fosas sépticas o residuos agrícolas. El agua subterránea puede contaminarse por otras causas antropogénicas (debidas a los seres humanos), como la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy

solubles usados en la agricultura, que suelen ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población (Ocampo, Escobedo 2005).

4.1.1 Composición química de las aguas subterráneas

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, bacteriológico, isotópico etc. La composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado.

La incorporación de los constituyentes al agua en variedad y concentraciones diferentes es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación, esta unión de sustancias al agua comienza incluso antes de que se incorpore al sistema de flujo subterráneo propio de cada acuífero, gases, aerosoles polvo y sales diversas presentes en la atmósfera, reaccionan con el agua marcando el primer esbozo del quimismo del agua de infiltración; una vez infiltrada con unas características químicas definidas originadas en la atmósfera o en la superficie del terreno por evapotranspiración, el agua puede sufrir modificaciones drásticas en su composición como consecuencia de un conjunto de interacciones físicas - químicas y biológicas complejas con el medio (Rigola 1999).

Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables.

En consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal, una composición química concreta por lo tanto no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinado (Rigola 1999).

4.1.1.1 Principales constituyentes químicos

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de la de sus concentraciones, estos han sido clasificados

completando la clasificación de Freeze y Cherry (1979) por su frecuencia de aparición y valor de concentración decrecientes.

Constituyentes mayoritarios o fundamentales:

Aniones: Carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos

Cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , NH_4^+

Otros: CO_2 , O_2 , SiO_4H_4 , o SiO_2

Constituyentes minoritarios o secundarios:

Cationes. Mn , Fe , Li^+ , Sr , Zn .

Constituyentes traza: F^- , S , SH , Br , NO , PO_3 , Al , Ti , Co , Cu , Pb , Ni , Cr , etc.

En condiciones particulares un constituyente minoritario puede alcanzar rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica (sales casi totalmente disociadas) con menor frecuencia se presentan en forma molecular parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas.

I. Cloruros

Si se exceptúan las evaporitas y rocas de origen marino, las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales estos pasan rápidamente a la fase acuosa alcanzando concentraciones muy altas.

El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión Cl^- , especialmente en zonas próximas a la costa, la concentración de Cl^- en el agua de lluvia disminuye rápidamente tierra adentro.

El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador ideal (Rigola 1999).

II. Nitratos, Nitritos y Amonios

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno, la mayor parte del nitrógeno

aparece en forma gaseosa en la atmósfera (78% en volumen) en forma oxidada constituye una relativamente importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo).

El nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 , NH_4 y, por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en N , (gas) y, finalmente en NO ; que es la forma más usual y estable en que el nitrógeno se presenta en las aguas subterráneas (Tebbutt 2001).

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan o por la oxidación bacteriana de materia orgánica (Kiely 2003).

III. Calcio

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas, en rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato o de sulfato (Kiely 2003)

IV. Magnesio

El magnesio es menos abundante que el Ca en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina.

La solubilidad de la magnesita (MgCO_3) en las aguas subterráneas naturales es mayor que la de la calcita por lo que en condiciones normales el MgCO_3 no precipita directamente de la disolución de modo que para un período dilatado de tiempo puede producirse cierto grado de sobresaturación respecto a los diferentes carbonatos magnésicos (Tebbutt 2001).

V. Sodio

Una fuente importante de Na la constituyen los aportes de agua marina en regiones costera, tanto por fenómenos de intrusión en acuíferos costeros como

por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar. Las sales de Na son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del Ca. Sin embargo, el Na puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado por Ca provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural) (Tebbutt 2001).

VI. Hierro

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas, en aguas subterráneas suele encontrarse en forma de Fe^{+2} contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos, bicarbonato, sulfatos, etc.)

La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas (Rigola 1999).

VII. Manganeseo

Es esencial para el metabolismo de las plantas, se puede encontrar en forma de Mn o en forma de complejo, en cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central (Tebbutt 2001).

VIII. Potasio

El potasio corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm, por lo cual es mucho menos significativo que el sodio (Rigola 1999).

4.1.2 Características Fisicoquímicas de las Aguas Subterráneas

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc.

4.1.2.1 Turbiedad

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros (Glynn, Heinke 2000).

4.1.2.2 Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely 2003).

4.1.2.3 Potencial de Hidrogeno

El pH es el logaritmo negativo de la concentración molar, el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrogeno presente. Es medido en una escala de cero a catorce, en la cual siete indica que la sustancia es neutra.

4.1.2.4 Temperatura

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto.

A efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutra" de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente, por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradiente

geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que en áreas continentales, se considera normal cuando es de 3°C/100 m (Rigola 1999).

4.1.2.5 Conductividad y Sólidos Disueltos Totales

Como consecuencia de su contenido iónico el agua se hace conductora de la electricidad a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad (C) o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medida de conductividad es uS/cm (microsiemens/cm) o/mho/cm (micromho/cm) ambas equivalentes.

La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad, para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad. El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles (Rigola 1999).

4.1.2.6 Alcalinidad

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralización hasta pH = 4.5 y la alcalinidad TA hasta pH = 8.3. En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn, Heinke 2000)

4.1.2.7 Dureza

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones, Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles puede intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Na, Zn, etc. actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total) (Rigola 1999).

4.1.2.8 Sólidos Totales

Son la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el

agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada, y los sólidos en suspensión es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser detenidos en un filtro (Rigola 1999).

4.1.2.9 Acidez

Es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, sin embargo su presencia afecta a tuberías o calderas por corrosión. Se mide con las mismas unidades de la alcalinidad y se determina mediante adición de bases (Rigola 1999)

4.1.3 Importancia del Agua Subterránea

La cantidad del agua subterránea dentro de 800 metros, bajo la superficie es 30 veces la cantidad de toda el agua dulce de lagos y embalses y mayor de 3000 veces la cantidad de agua de superficie en cauces y canales en cualquier momento dado.

El incremento en el estudio y desarrollo de los acuíferos y la expansión de los usos en la agricultura indican algunas ventajas concretas para el desarrollo y el uso del agua subterránea en comparación con el agua de superficie. A diferencia de otras fuentes de agua usada para el regadío y otras necesidades, el agua subterránea puede desarrollarse rápidamente y cerca del lugar de uso, eliminando la necesidad de canales o tuberías largas que generan mayor costo (Prieto 2004).

4.1.4 Fuentes de Captación

El agua subterránea se halla debajo de la superficie y rellena los poros de sedimentos sueltos o cementados, cuya forma, tamaño y disposición de cavidades debe tomarse en cuenta, así como el movimiento del agua, cuyo origen puede ser: agua de infiltración desde la superficie, agua condensada en el suelo y agua surgente desde en interior de la tierra (Prieto 2004).

Esta agua se encuentra comprendida en una formación de roca que contiene cantidades suficientes de esta para ser explotada y traída a la superficie mediante pozos (Kiely 2003).

4.1.4.1 Pozos artesianos

Existen pozos de captación de agua llamados pozos artesianos, que son aquellos tipos de pozo que alcanza un manto cautivo de agua, de forma que como el nivel freático del líquido está por encima de la superficie del pozo, éste mana por sí solo elevándose hasta un nivel equivalente al del punto de alimentación de la capa cautiva menos un tanto debido a la pérdida de carga (Cuellar, Duarte 2001)

En la mayoría de los pozos, el agua no puede ascender por sí misma. Si el agua se encuentra por primera vez a treinta metros de profundidad, permanecerá a ese nivel, fluctuando quizá uno o dos metros con los períodos estacionales de humedad y sequía. Sin embargo, en algunos pozos el agua asciende, derramándose a veces por la superficie. Estos pozos son abundantes en la región de Artois, del norte de Francia y por eso denominamos a estos pozos autoascendentes artesianos (Sutton, Harmon 1999).

Este ascenso sucede siempre que se haya encontrado una corriente del agua subterránea, que circule entre dos capas geológicas impermeables del terreno y que el agua proceda de un punto más alto. Así debido a la ley hidráulica de los vasos comunicantes, el agua llegará a subir por el pozo perforado hasta una altura casi igual al nivel superior del agua de donde procede. La ventaja de los pozos artesianos es que no necesitan de bomba para elevar el agua. Para la exploración en busca de estos pozos se debe tener en cuenta la configuración geográfica y geológica, pero en todo caso es de difícil descubrimiento (Tarbuck, Lutgens 1999).

4.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causados por diferentes factores: por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debida a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación, por procesos completamente naturales, o por diversas combinaciones posibles entre todos ellos (Vargas 2004)

Las aguas subterráneas pueden ser deterioradas o contaminadas por sobreexplotación y otras actividades humanas causantes de riesgo de contaminación de acuíferos como las urbanizaciones, industrias, extracciones

minerales, prácticas agropecuarias como cultivos de suelos y cría de animales, principalmente si están ubicadas en zonas de recarga. Una vez contaminado el reservorio de aguas subterráneas, su recuperación es difícil y en muchos casos prácticamente imposibles por el costo y tiempo que toma su limpieza, lo cual podría alcanzar décadas o siglos (Vargas 2004)

4.2.1 Indicadores de Contaminación Microbiana

Tradicionalmente se han usado ensayos para la determinación de microorganismos indicadores más que para la determinación de patógenos. Los métodos usados para el aislamiento y el recuento de los microorganismos patógenos en agua, alimentos, etc. pueden no ser eficaces debido a que dichos microorganismos se encuentran en muy baja cantidad, sobre todo en presencia de números altos de otros microorganismos, o tienen una distribución irregular en el producto (Pajares, Orlando 2000)

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y los animales, y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección.

Los protozoos son los organismos unicelulares mas especializados, caracterizados por ser móviles en alguna de sus fases evolutivas y presentar nutrición heterótrofa. La mayoría son no fotosintéticos y carecen de paredes celulares, siendo esta última una característica distintiva de las algas y los hongos (Kiely 1999).

4.2.1.1 *Pseudomona aeruginosa*

El grupo de *Pseudomonas*, se incluye dentro del grupo general de microorganismos quimioheterótrofos aeróbicos Gram negativos. Son Bacilos flagelados, su tamaño oscila entre 0.5-1 μm por 1.5-4 μm (Marín, 2003). Debido a que no fermentan la glucosa, se les conoce como no fermentadores, al contrario de las enterobacterias que si lo fermentan (Levison, Jawetz 1999).

Las *Pseudomonas* pueden multiplicarse en aguas que contengan tan solo cantidades mínimas de nutrientes, y son capaces de utilizar una amplia variedad de fuentes de carbono y nitrógeno para crecer en diversos ambientes, las *Pseudomonas* son organismos ecológicos, importantes en la tierra y el agua y es probable que sean responsables de la degradación de muchos compuestos solubles derivados de la descomposición de materiales de plantas y animales (Schaechter *et al.* 1994).

La *Pseudomona aeruginosa* produce dos pigmentos útiles como lo son la piocina, que puede colorear de azul y la pioverdina (fluorescencia), pigmento amarillo verdoso que presenta fluorescencia bajo la luz ultravioleta, propiedad que puede usarse en la identificación temprana de dicho microorganismo (Marín 2003).

La *Pseudomona aeruginosa*, se encuentra en el suelo y en el agua, esta bacteria es un importante patógeno oportunista que causa una variedad de infecciones en pacientes inmunocomprometidos, así como las víctimas de quemaduras y los pacientes con cáncer y fibrosis quística (Schaechter *et al.* 1994).

4.2.1.2 Protozoos

Adaptados originariamente a un hábitat acuático, muchos protozoos son de vida libre; pero otros son simbioses obligados de los animales, incluyendo al hombre. La adaptación a su hospedador condiciona importantes modificaciones morfológicas y del tipo de nutrición de los diversos protozoos en relación a sus homólogos de vida libre. Algunos requieren necesariamente varios hospedadores para completar su ciclo vital pudiendo presentar en cada uno de ellos una morfología, metabolismo y tipo de reproducción diferentes (Pelczar *et al.* 1982).

El tamaño y forma de los protozoos varía ampliamente; oscilando entre 1 y 3000 μm de diámetro. Poseen las estructuras propias de las células eucariotas. Sobreviven en condiciones adversas formando quistes con gruesas paredes celulares, siendo esta fase la forma infecciosa del microorganismo. Su tipo de nutrición puede ser saprofítico, pero principalmente actúan donde haya enormes cantidades de bacterias (Kiely 1999).

Se reproducen asexualmente, por división simple o múltiple, que en algunos grupos alterna con fases de reproducción sexual. El huésped en el que tiene lugar la reproducción sexual se denomina definitivo, y aquel en que se produce la reproducción asexual, intermediario (Pelczar *et al.* 1982).

Los protozoos se han clasificado basándose fundamentalmente en su morfología y en particular en los órganos de locomoción. Los parásitos del hombre pertenecen a los siguientes grupos: amebas (Sarcodina), ciliados (Ciliophora), flagelados (Mastigophora), apicomplexa (Apicomplexa) y microsporidios (Microsporidia).

I. Sarcodinia

Dentro de los sarcodina sólo en los amébidos se encuentran parásitos del hombre. Se caracterizan por presentar un tamaño entre 10 y 30 μm y una morfología irregularmente esferoidal, abollonada, ameboidea, como consecuencia de la emisión de pseudópodos mediante los que se mueven y fagocitan; poseen un núcleo cuya morfología característica permite, junto al tamaño de la célula y los diversos elementos e inclusiones citoplasmáticas, identificar las diferentes especies de amebas (Delgado *et al.* 2001).

II. Ciliados

Los ciliados presentan una forma ovalada, con cilios en su superficie. Poseen un citoplasma o “boca” celular para la ingestión de partículas sólidas y característicamente presentan dos núcleos, un macronúcleo y un micronúcleo. En este grupo existen numerosísimas especies de vida libre y parásita pero sólo una patógena para el hombre (Delgado *et al.* 2001).

III. Flagelados

En los flagelados la morfología y tamaño celular varía según el lugar de parasitación pudiendo ser esféricos, piriformes o fusiformes, pero todos se caracterizan por presentar flagelos como elementos de locomoción. Los flagelos suelen presentar en su base de implantación un corpúsculo visible denominado cinetoplasto, que es una mitocondria y la estructura flagelar puede completarse formando una membrana ondulante. Los flagelados que son parásitos intracelulares pierden el flagelo al alcanzar esa localización y poseen menor tamaño que los extracelulares (Delgado *et al.* 2001).

IV. Apicomplexa

Los apicomplexa son un grupo heterogéneo de protozoos todos los cuales son parásitos de localización intracelular y por tanto de tamaño pequeño 3-10 μm . Carecen de órganos de locomoción y se definen por la posesión de una estructura apical adaptada a la penetración intracelular que no es visualizable mediante el microscopio óptico, pero cuya complejidad estructural puede observarse por microscopía electrónica. (Delgado *et al.* 2001)

Presentan una fase de reproducción asexual y otra sexual, por lo que pueden estar como trofozoitos, como gametos o como cigoto y en cada uno de estos estadios presentan una morfología particular.

V. Microsporidios

Los microsporidios son pequeños parásitos intracelulares. Se les considera organismos eucariotas primitivos, puesto que carecen de mitocondrias, peroxisomas, aparato de Golgi y otros orgánulos típicos de los eucariotas. Se caracterizan por la estructura de sus esporas, que poseen un complejo mecanismo de extrusión celular (túbulo polar) utilizado para inyectar material infeccioso (ergijastoplasma) en las células huésped.

Hasta ahora se han descrito cinco géneros de microsporidios en los humanos y sólo uno de ellos, *Enterocytozoon*, es exclusivo del hombre. Los demás tienen una amplia gama de huéspedes entre los animales invertebrados y vertebrados (Delgado *et al.* 2001)

4.2.2 Indicadores de contaminación química

Los principales problemas de la calidad del agua subterránea, vienen causados por la dureza, hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno, sulfato y cloruro sódico (Kiely 2003).

4.2.2.1 Dureza: la dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. El agua subterránea que pasa a través de la caliza, disuelve los compuestos de calcio y magnesio que provocan la dureza. En consecuencia las aguas duras son comunes en las zonas calizas, con concentraciones de dureza totales que varían de

doscientos a cuatrocientos miligramos por litro. Esto puede ser beneficioso para la salud.

Por el contrario, niveles muy altos pueden ser un problema, dando como resultado la formación de incrustaciones en cacerolas, tuberías y calderas (Rigola 1999).

4.2.2.2 Hierro y Manganeseo: las concentraciones en exceso de hierro, no suelen causar problemas de salud, pero son preocupantes por razones estéticas y de gusto. Cuando se extrae de un pozo o del grifo, el agua puede ser incolora, pero al entrar en contacto con aire, el hierro precipita para formar un depósito rojizo marrón que recuerda a la herrumbre. Esto da un gusto metálico al agua y manga las tuberías y la ropa. El origen del hierro, puede ser minerales ferrosos en las rocas y suelos, la contaminación por residuos orgánicos u ocasionalmente la corrosión de los accesorios de hierro en el sistema de distribución de agua.

El manganeso produce una coloración negra del agua, se suele asociar frecuentemente con el hierro aunque es menos predominante. También es un buen indicador de contaminación por residuos con alta DBO como el efluente de silos agrícolas (Kiely 2003).

4.2.2.3 Cloruro sódico: la intrusión salina en los acuíferos, puede dar lugar altos niveles de NaCl en el agua subterránea. Los problemas se presentan en zonas donde las rocas son muy permeables y donde hay un bajo gradiente hidráulico. El problema puede exacerbarse por pozos de extracción de aguas subterráneas cerca de la costa (Kiely 2003).

4.3 CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

A causa de las enfermedades de origen hídrico y el interés de controlarlas, los estudios bacteriológicos del agua se han orientado, en su mayor parte, hacia sus aspectos sanitarios. Uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran presentes. En general, los métodos utilizados están diseñados para detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal.

Para prevenir y controlar la contaminación biológica del agua debería realizarse un seguimiento de la calidad bacteriológica de las aguas de suministro en zonas rurales, así como desarrollar y adaptar metodologías que permitan detectar la presencia de microorganismos patógenos que no pueden aislarse por métodos convencionales (Mondaca, Campos 2004).

4.4 CALIDAD DE AGUA PARA AGRICULTURA

Algunas sales, especialmente en altas concentraciones son nocivas para el crecimiento de las plantas, porque limitan la cantidad de agua que puede absorber. Otras sales son nocivas por su toxicidad.

Un problema potencial, asociado con el regadío, es la acumulación de sales en el suelo, en un proceso denominado salinización. Se produce porque la evaporación del agua de riego deja en el suelo las sales disueltas. Además de afectar la estructura del suelo, el proceso incrementa la concentración de elementos tóxicos en el agua (Brassington 2000)

La calidad del agua de regadío puede ser determinada mediante análisis de laboratorio. Los factores mas importantes a tener en cuenta para determinar la validez del agua usada para los fines agrícolas específicos son los siguientes: pH, riesgo de salinidad, riesgo de sodio (Relación de absorción de sodio o RAS), riesgo de carbonato y bicarbonato en relación con el contenido en Ca & Mg, elementos traza (Payeras 2007)

De acuerdo con el manual No 60 del departamento de agricultura de los Estados Unidos, aguas con concentraciones menores de 750 $\mu\text{mhos/cm}$, son satisfactorios para riego en lo concerniente al contenido total de sales. Aguas en el intervalo de 750 a 2250 $\mu\text{mhos/cm}$, se usan ampliamente con resultados satisfactorios de crecimiento de cultivos cuando hay buen drenaje y administración del riego.

El exceso de salinidad ocasiona acumulación de sales en la zona de las raíces de cultivo y disminuye la productividad, además de que afecta el potencial osmótico del suelo y puede perjudicar el cultivo.

El sodio afecta la permeabilidad de la tasa de infiltración y la labranza del suelo. El porcentaje de sodio es un indicador útil de la calidad del agua para riego, porque representa la cantidad de sodio existente en relación con la de todos los cationes.

En aguas para riego ricas en iones de bicarbonatos, existe la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse como carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve mas concentrada. De esta manera, las concentraciones de calcio y magnesio se reducen y la concentración relativa de sodio aumenta.

Los cloruros en el agua para riego representan un riesgo porque son absorbidos por la planta y se acumulan en las hojas produciendo hojas quemadas cuando su concentración es alta (Romero 2002).

4.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG, es una herramienta usada para analizar y modelar datos y eventos que ocurren en nuestro planeta y producir mapas sobre ellos. Los SIG, permiten analizar operaciones de consulta y análisis sobre bases de datos, a la vez que presentan la posibilidad de visualización y realización de análisis geográficos sobre éstas (Software ArcGis 9 2006)

A partir de estos primeros avances se facilitaba la comprensión de las relaciones espaciales, la asociación de observaciones y el desarrollo de elementos propios de un nuevo lenguaje, es decir, la representación espacial ha estado relacionada con una serie de procesos asociados con la obtención de datos, diseños de mapas, producción y reproducción; estas habilidades manuales han sido sustituidas, por avanzadas tecnologías, generando una revolución en esta disciplina. Dentro de estos desarrollos informáticos, se encuentran: computación gráfica, sistemas de cartografías automatizadas y sistema de información geográfica.

4.5.1 Características de los mapas digitales

Los mapas digitales permiten estimar información mediante visualización gráfica, estructurar la información basados en coordenadas geográficas y teniendo en cuenta atributos lógicos; facilita la integración proveniente de diferentes fuentes como son la digitalización, fotografías aéreas, imágenes de satélite, datos tabulares.

Gracias a la obtención de los datos y el uso de los aspectos mencionados anteriormente se puede analizar e inferir otras informaciones como, lo son calcular áreas, interpolar e inferir zonas de influencia además de extraer patrones de comportamiento para predecir comportamientos futuros (Software ArcGis 9 2006)

4.5.2 Dato geográfico

Los datos geográficos permiten la ubicación respecto a un sistema de coordenadas conocido, sus relaciones espaciales con otros elementos y sus propiedades no espaciales (Software ArcGis 9 2006).

Gracias a la utilización de coordenadas geográficas y al uso de un sistema de posicionamiento global se puede ubicar un punto en cualquier lugar del planeta, conociendo las coordenadas en las que se encuentra dicho lugar.

4.5.3 Ventajas del uso de los SIG sobre otros sistemas de información

A diferencia de otros sistemas de información, el SIG arroja los datos de la dimensión espacial (dispersión, vecindad, agrupamientos y otros), lo que es útil para la comprensión de los resultados, lo que a menudo no puede lograrse sólo con las tablas estadísticas o con gráficas. También representa gráficamente la información estadística en forma simplificada, siguiendo la dimensión espacial, y por ultimo, son eficaces para relacionar la estadística con el área geográfica a la que se aplican los datos, facilitando su comprensión y asegurando que el usuario los convierta en conocimiento (Software ArcGis 9 2006).

4.6 ESTADO DEL ARTE

De acuerdo a los trabajos realizados acerca del tema, se han desarrollado muchas investigaciones al respecto en busca de un mejoramiento en la evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas subterráneas.

4.6.1 Antecedentes a Nivel Mundial

En el año de 1998, Rosetti *et al.*, realizaron un estudio bacteriológico de aguas subterráneas de la provincia de Buenos Aires, cuyo análisis demostró que *Pseudomonas aeruginosa* fue la bacteria aislada con mayor frecuencia y destacaron el elevado porcentaje de recuperación de enterococos como buen indicador de contaminación fecal en muestras de agua subterránea.

En el año 2000, Galindo *et al.*, realizaron una caracterización geoquímica del agua subterránea en la zona este de Gran Canaria. Uno de los temas analizados fue la relación existente entre la composición química de las aguas subterráneas de la zona y las distintas formaciones geológicas correspondientes a los distintos ciclos volcánicos que constituyen el acuífero insular.

En el año 2002 Lura *et al.*, estudiaron el agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales en la región centro- norte de la provincia de Santa Fe, Argentina, donde identificaron *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia (intestinalis)*, siendo este último el más frecuente diagnosticado en todo el país.

En el año 2004, Pacheco *et al.*, realizaron un diagnóstico de localidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán México. Se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea.

En el 2004 Pozzolo *et al.*, caracterizaron los sistemas de bombeo para el riego de arroz en la provincia de Entre Ríos, Argentina, utilizando el agua proveniente de los pozos para el riego de dichos cultivos y las técnicas utilizadas para su recolección.

4.6.2 Antecedentes a Nivel Nacional

En el año 2002, Campos, *et al.*, evaluaron el comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas en la sabana de Bogotá. Con el objeto de conocer la presencia, concentración y comportamiento de indicadores bacterianos (coliformes fecales), virales (fagos somáticos) y parasitarios (huevos de helminto y *Giardia* y *Cryptosporidium*), en aguas superficiales, subterráneas, sistemas de potabilización y depuración.

4.6.3 Antecedentes a Nivel Regional

En el año 2007 Fragozo, P., realizó una investigación titulada Evaluación Hidrogeoquímica del agua subterránea en los municipios de Bosconia, Copey, Valledupar, La Paz y San Diego ecorregión del Valle del Río Cesar, a través de la ejecución de análisis fisicoquímicos y microbiológicos donde trabajó con 160 muestras de agua subterránea.

En el año 2008, Gómez y Capachero, evaluaron el nivel de riesgo de contaminación de los pozos de agua subterránea ubicados en el departamento del Cesar utilizando cartografías digitales mediante la modificación del software ArcView. Al realizar la integración o superposición de las cartografías obtuvieron como resultado el mapa de vulnerabilidad concluyendo que el 32% y el 20% del departamento presentan vulnerabilidad alta y crítica respectivamente; situación presentada generalmente en los municipios de Agustín Codazzi, San Diego, La Paz, Valledupar, La Jagua de Ibirico, Pelaya, Aguachica, Tamalameque y La Gloria donde los impactos ambientales ocasionados al recurso hídrico subterráneo por parte de las actividades mineras e infiltración de fluidos contaminados con patógenos o tóxicos son más severos.

En el año 2008, Quintero y Herrera evaluaron la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas de los municipios de los Venados y Caracolí, Cesar, empleando como indicadores de contaminación Coliformes totales, Coliformes fecales, Mesófilos Aerobios y Enterococos (*Streptococcus Fecales*), cuyos resultados fueron: Coliformes totales 2600 UFC/100 ml, Coliformes fecales 2600 UFC/100 ml Mesófilos Aerobios 2600 UFC/100ml, y Enterococos 2600 UFC/100 ml, lo que demostró que estas aguas no son aptas para el consumo humano según la resolución 2115 de 2007 y el decreto 1594/84.

4.7 MARCO LEGAL

La presente investigación se fundamenta en bases legales contenidas en la constitución política de Colombia, las leyes, decretos, resoluciones y normas legislativas entre las que se quiere destacar.

Para pozos artesianos todavía no hay normas colombianas vigentes (no aplica)
La norma técnica de calidad de Agua potable en Colombia reglamentada en el decreto 1575 de 2007 expedido por el Ministerio de Protección Social. (Tabla No 1)

Tabla 1 Valores establecidos por la normatividad ambiental colombiana vigente.

PARÁMETROS	DECRETO 1575/2007 RESOL 2115
Temperatura °C	NR
PH	6.5-9.0
Conductividad US/CM	Hasta 1000
Sólidos disueltos mg/l	NR
Cloruros mg/l	250
Fosfatos mg/l	Hasta 0.5
Hierro mg/l	Hasta 0.3
Nitratos mg/l	Hasta 10
Nitritos mg/l	Hasta 0.1
Nitrógeno amoniacal mg/l	NR
Nitrógeno total mg/l	NR
Acidez mg/l	NR
Alcalinidad mg/l	Hasta 200
Dureza cálcica mg/l	NR
Dureza magnésica	NR
Dureza total mg/l	Hasta 300
Manganeso mg/l	Hasta 0.1
Sodio mg/l	NR
Fenol mg/l	NR
Sólidos suspendidos	NR
Color aparente UPC	Hasta 15
Turbiedad UNT	Hasta 2
Sólidos sedimentables	NR
Sólidos totales mg/l	NR

Magnesio mg/l	36
Calcio mg/l	60

NR: No referenciado

5. METODOLOGIA

En este estudio se llevó a cabo una investigación de tipo Exploratoria, al no existir la suficiente información sobre la calidad microbiológica y físico-química de las aguas subterráneas. Así mismo, esta investigación es de nivel Descriptiva debido a que se pretende caracterizar y describir los morfotipos de parásitos (protozoos) y la presencia de *Pseudomona aeruginosa*.

5.1 AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio está comprendida por los municipios de La Paz y San Diego, Cesar. (Fig. 1)

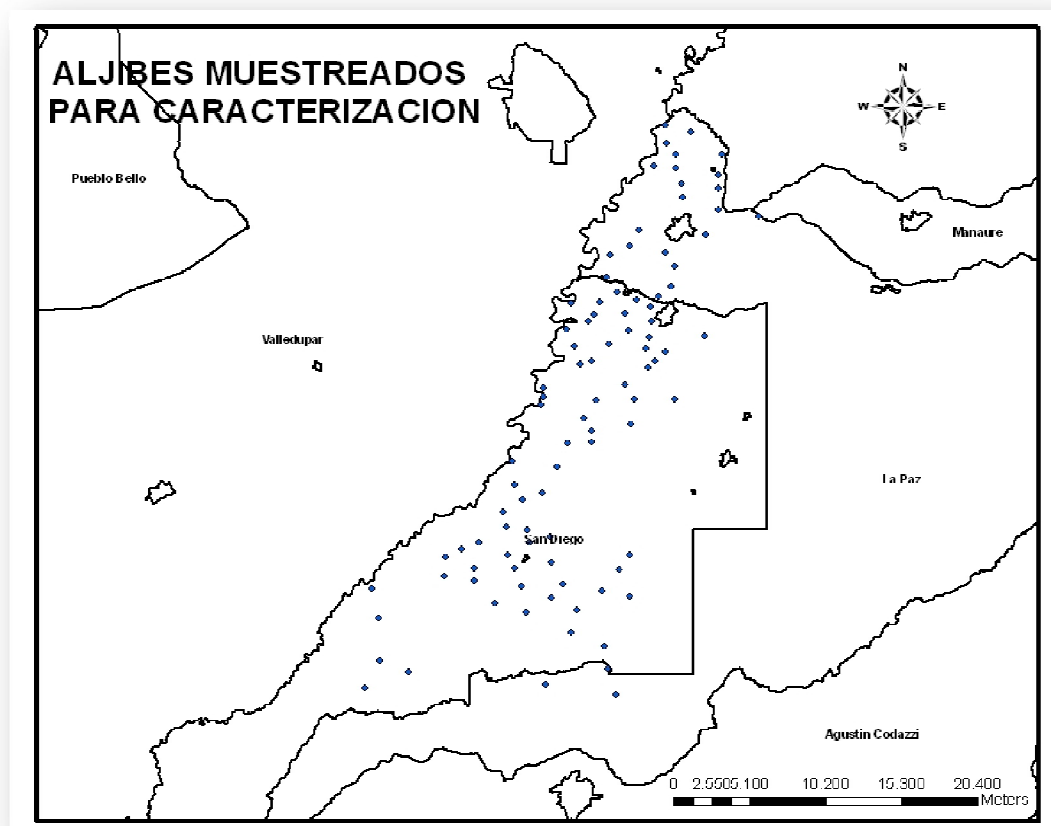


Fig. 1. Ubicación geográfica de los aljibes analizados
Fuente: Gómez 2009

5.1.1. Criterios para delimitar los puntos de muestreo

Teniendo en cuenta que en los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, existen alrededor de 300 aljibes, de los cuales se trabajo con una población de 93 distribuidos espacialmente de forma estratégica, con el fin de tomar muestras representativas que permiten hacer una ponderación y al mismo tiempo conocer las características de la totalidad de los pozos ubicados en el área descrita, los cuales fueron ubicados por medio del sistema de posicionamiento global

5.1.2 La Paz

Extensión total: 1081 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 165 m sobre el nivel del mar

Temperatura media: Temperatura promedio a los 11.6 y 37° C

Distancia de referencia: Dista de Valledupar por carretera pavimentada en asfalto, en una longitud de 12 Km aproximadamente.

Límites del municipio: Limita al Norte con el Municipio de Manaure (Cesar), con el Departamento de la Guajira y con el Municipio de Valledupar (Cesar), al Este con la República de Venezuela y parte del Municipio de Codazzi (Cesar); al Sur con el Municipio de Codazzi (Cesar) y al Oeste con los Municipios de Valledupar, San Diego y el Paso (Cesar).

Coordenadas: Norte 1649000 a1583000 y Este 1130000 a 1049500.

Descripción Física: Su localización dentro del Departamento le ha permitido poseer buenas vías de acceso, lo que lo convierte en paso obligatorio para quienes transita hacia La Guajira desde cualquier parte del país. La Paz posee un privilegio en su transitabilidad ya que es surcado por la troncal de oriente que la comunica con el sur del Departamento del Cesar y con el Interior del país; igualmente con el resto de la Costa Atlántica.

5.1.3 San Diego

Extensión total: 670 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 180 metros sobre el nivel del mar.

Temperatura media: Temperatura promedio a los 27 °C. ° C

Distancia de referencia: Dista de Valledupar en 20 minutos de recorrido por carretera pavimentada en asfalto, en una longitud de 20 Kilómetros aproximadamente.

Límites del municipio: San Diego limita al norte con la capital Valledupar; al sur con el municipio de Agustín Codazzi; al Nororiente con el municipio de la Paz y al occidente con la capital del Cesar.

Coordenadas: Norte 1636000 a1582700 y Este 1104800 a1053300.

Descripción física: El territorio municipal comprende dos regiones perfectamente definidas, una zona plana y baja de altas temperaturas, localizadas en la llanura del Río Cesar en cuya cercanía se encuentran tierras anegadizas; muy aptas para el desarrollo de agricultura tropical y ganadería. La otra región corresponde a la zona montañosa de las estribaciones de la Serranía de Perijá, donde están localizados los corregimientos de Tocaima, Media Luna y El Rincón y por naturaleza climática, tiene tierras propicias para la agricultura de climas medios.

5.2 FASE DE CAMPO

El tiempo total de muestreo fue de 16 días, los cuales abarcaron el período comprendido entre 14 y el 29 de septiembre de 2009. Durante este tiempo se tomaron 3 muestra simples (una para análisis fisicoquímico y dos para análisis microbiológico) por cada pozo de muestreo (93 pozos) (Anexo A) para un total de 279 muestras procesadas. De los puntos en los cuales se tomó muestra 69 se encuentran ubicados en el municipio de San Diego y los otros 24 analizados se encuentran ubicados en el municipio de La Paz, en el Departamento del Cesar (Anexo B).

5.2.1 Muestreo

La toma de las muestras se realizó con un tubo plástico con un volumen de 1 litro, denominado BAILER (Fig. 2), sujetado por medio de una soga el cual posee una pesa en el fondo del mismo que al momento de ingresar al pozo y hacer contacto con el agua permite la entrada del agua al interior del tubo quedando allí la muestra analizada.

Las muestras se tomaron con bailers estériles para los análisis microbiológicos y otros para análisis fisicoquímicos. Se utilizaron en recipientes limpios y estériles para envasar la muestra.

5.2.1.1 Muestras para análisis Microbiológicos

Se utilizaron botellas de vidrio con capacidad para tomar hasta 2 L de la muestra, de color claro y boca ancha previamente esterilizados en autoclave, luego **se conservaron en refrigeración hasta el momento de sus análisis en el laboratorio.**

5.2.1.2 Muestras para análisis Físico químicos

Se utilizaron botellas plásticas de polietileno, con capacidad para 2 L de la muestra y fueron preservadas con ácido sulfúrico al 0.02 N.

Fig. 2 Bailer: instrumento para toma de muestra en pozos



Fotos: Osorio 2009

5.3 FASE DE LABORATORIO

Las muestras microbiológicas se analizaban inmediatamente después del muestreo en los laboratorios de control de calidad de EMDUPAR S.A. y de Microbiología de la Universidad Popular del Cesar, en Valledupar.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en las instalaciones del laboratorio de la Universidad del Magdalena, (en la ciudad de Santa Marta, enviadas en un bus directo una vez se llegaba de campo), se enviaba diario una nevera de icopor con el total de las muestras tomadas durante la fase de campo.

Gracias al excelente trabajo que realiza CORPOCESAR, y al interés desmedido por conocer y documentar las características fisicoquímicas y microbiológicas de los recursos hídricos presentes en la región, la corporación consideró pertinente la realización de este proyecto, lo que le permite tener información veraz de las condiciones en que se encuentran dichos recursos.

Garantizó además, el desarrollo del mismo por medio de la financiación de las herramientas necesarias y recursos para trabajar facilitando el buen desarrollo y posterior documentación del mismo.

5.3.1 Análisis Microbiológico de muestras de aguas subterráneas

5.3.1.1 Determinación de la presencia de *Pseudomona aeruginosa*

El método de filtración por membrana (Ver anexo C), fue la técnica utilizada para determinar la presencia de *P. aeruginosa*. La siembra se realizó por duplicado, una de ellas se hizo sin realizarle dilución a la muestra (muestra patrón) y la otra siembra se hizo con la dilución 10^{-1} , solo se trabajaron estas dos diluciones porque por ser *Pseudomona aeruginosa*, no se realizó conteo, solo determinación de presencia o ausencia.

La siembra se hizo en el medio de cultivo Agar Cetrimide y se incubó durante 48 horas a 35 grados centígrados.

5.3.1.2 Determinación de la presencia de Protozoos

Para la caracterización de protozoos, técnica utilizada fue de Flotación por Centrifugación con Sulfato de Zinc Modificada, tomada del APHA, 1986 (Ver Anexo D).

Estos microorganismos fueron diagnosticados mediante las claves para identificación en Delgado (2001).

5.3.2 Análisis Fisicoquímicos de muestras de aguas subterráneas

Los parámetros para el análisis fisicoquímico se realizaron, según la metodología establecida en el Standard Methods, 1992. (Ver anexo E) (Tabla 2).

TÉCNICAS DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

Tabla 2. Técnicas usadas para los análisis fisicoquímicos

DETERMINACION	PROCEDIMIENTO (Referencia)
Acidez	2310 B. Método de titulación con NaOH (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Alcalinidad	2320 B. Método de titulación con HCL(Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Amonio	4500 D. Método de la sal de fenol(Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Calcio	3500. Método titulométrico de EDTA. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Cloruros	4500. Método argentométrico. (Mohr). (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Color aparente y color real	2120 B. Método colorimétrico de comparación visual. Método estándar de platino cobalto. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Conductividad	Método potenciométrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Dureza cálcica	2340. Metodo titulométrico con EDTA.(Estándar Methods-18 Ed. 1992)
Dureza magnésica	2340. Metodo titulométrico con EDTA.(Estándar Methods-18 Ed. 1992)
Dureza total	2340. Método titulométrico con EDTA.(Stándar Methods-18

	Ed. 1992)
Hierro	3500 D. Método de Fenantrolina. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Magnesio	3500 E. Método de cálculo. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Nitratos	4500 E. Método de reducción de cadmio (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Nitritos	4500. Método colorimétrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
pH	Método potenciométrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Potasio	3500 K D. Método espectro métrico de absorción atómica de llama de acetileno. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Relación de absorción de sodio(RAS)	Técnica del IGAC (1973)
Salinidad	Método potenciométrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Sodio	3500 D. Método espectro métrico de absorción atómica de llama de acetileno.(Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Sólidos disueltos totales	Método potenciométrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Sólidos suspendidos, sólidos totales y sólidos disueltos.	2540.Método gravimétrico.(Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Temperatura	Método potenciométrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)
Turbiedad	2130 B. Método nefelometrico. (Stándar Methods-18 Ed. 1992)

Fuente: Stándar Methods, 1992

5.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

En el desarrollo del estudio se realizó un muestreo sistemático y se emplearon los modelos estadísticos de interpolación como son: Ponderación del Inverso de la Distancia IDW (Inverse Distance Weighted), el cual está contenido dentro del software ArcView creado por la empresa ESRI, propiedad de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR).

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las observaciones realizadas a nivel de campo sumado a los análisis efectuados en el laboratorio permitieron obtener los siguientes resultados.

6.1 DETERMINACIÓN De *Pseudomona aeruginosa*

De las 93 muestras analizadas el 83.87 % tiene presencia de *Pseudomona aeruginosa* y el restante 16.13% ausencia de la misma (Anexo L).

La presencia de *P. aeruginosa* se evidencia gracias a la pigmentación que presentan las colonias en el medio de cultivo (Agar Cetrimide), produciendo una coloración azul (producción de pircianina) (fig. 3), y una coloración amarillo verdosa (producción de pircianina) (fig. 4), que produce fluorescencia en las colonias, al exponer la caja de petri a la luz UV.

Fig. 3 Presencia de *P. aeruginosa*

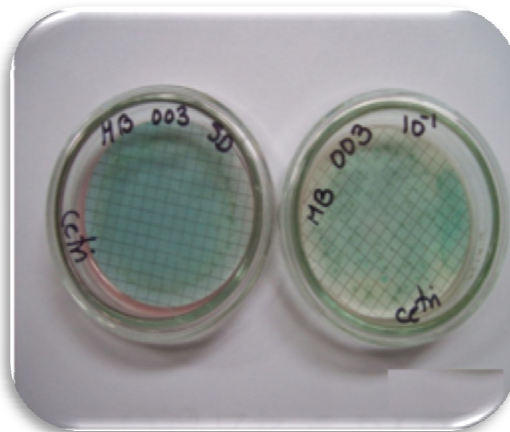
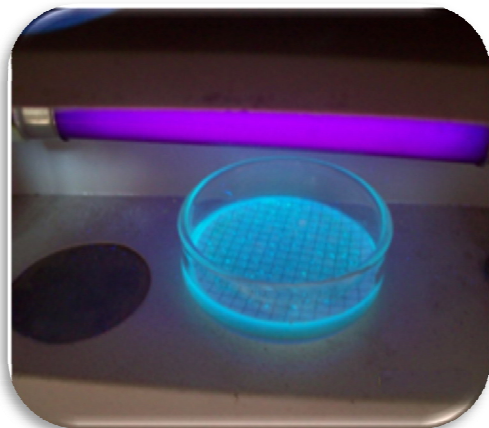


Fig. 4 Revelación con luz UV



Fotos: Vence 2009

La contaminación hallada en el agua por *P. aeruginosa*, no solo puede influir en la calidad del agua, sino que además constituye un riesgo para la salud de la población rural que se abastece de esta; es un habitante normal en el agua y es muy frecuente encontrar este género bacteriano en aguas de pozo que no han atravesado por un proceso de potabilización.

Su presencia indica contaminación de tipo fecal, estudios de determinación de *P. aeruginosa*, en aguas dulces, residuales domésticas y de hospital encontraron que en excretas de diferentes animales esta no se halló, pero si en las excretas humanas, lo que demuestra que este organismo se encuentra relacionado con efluentes de fuentes humanas (Candela 2002)

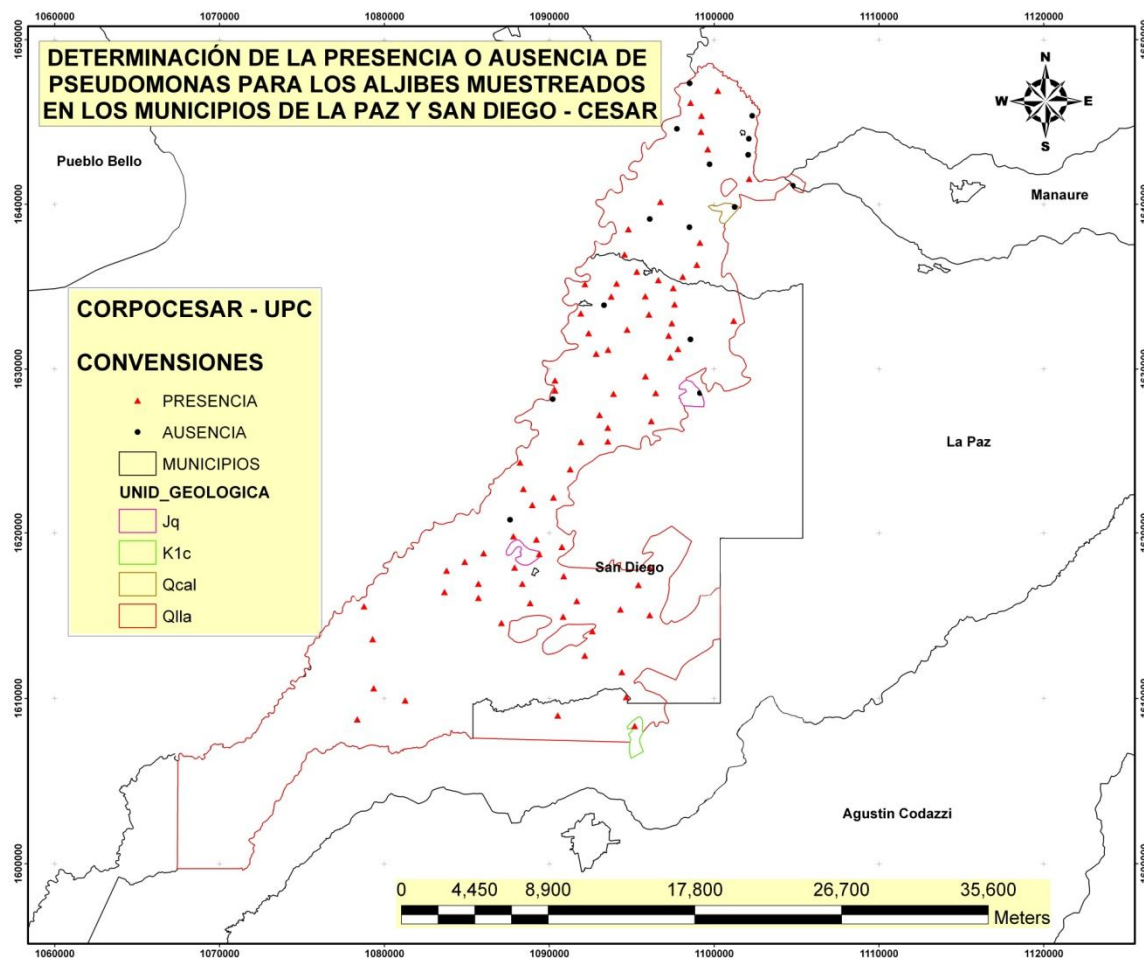
Una de las razones por las cuales se hizo efectiva la presencia de *P. aeruginosa*, se debe a las condiciones en la que se encontraban los aljibes en la zona de estudio, referenciando la gran variedad de compuestos orgánicos que utilizan como fuentes de carbono y energía, entre ellos materia orgánica en descomposición y residuos de agroquímicos (Ontiveros 2009).

Aunque esta bacteria está presente naturalmente en el medio ambiente, no esta catalogada como patógeno en sentido propio, pero un gran número de estos microorganismos oportunistas contenidos en agua que se utiliza para diversas actividades humanas, significan un riesgo ya que pueden producir diversas infecciones cutáneas y de las membranas mucosas del ojo, oído, nariz y garganta, enfermedades gastrointestinales entre otras afecciones (De Luca *et al.* 2006).

La utilización de este microorganismo como indicador de calidad de agua es muy eficiente y debe ser incluida su detección y cuantificación en los análisis de rutina y monitoreo.

6.1.1 Representación gráfica de los puntos de muestreo de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, con respecto a los resultados obtenidos de cada uno de los análisis luego de aplicar el modelo de la ponderación del inverso de la distancia IDW, contenido en el software ArcView.

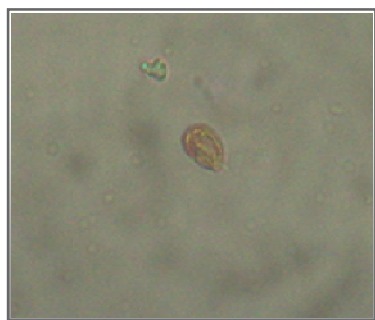
Fig. 5 Determinación de la presencia de *P. aeruginosa*



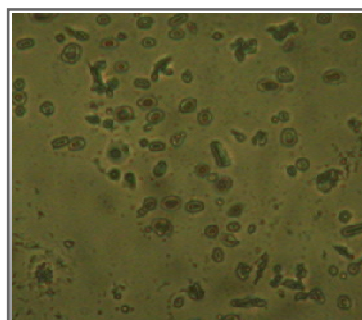
6.2 DETERMINACIÓN DE PROTOZOOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis para la identificación de protozoos en las 93 muestras, se identificaron los siguientes géneros (Fig. 6): *Giardia sp*, *Cryptosporidium sp*, *Entamoeba coli*, *Balantidium coli*, *Entamoeba histolytica*, todos en su forma infectante (quistes). (Anexo M).

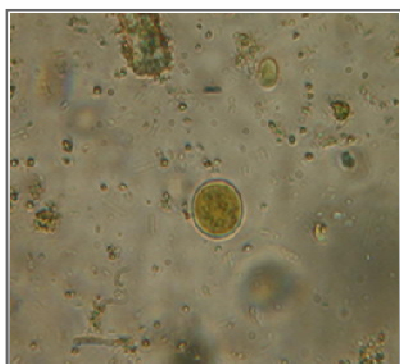
El porcentaje de presencia de cada uno de los géneros encontrados fue: *Giardia sp* 46.1%, *Cryptosporidium sp* 22.16%, *E. coli* 13.4 %, *B. coli* 8.9% y *E. histolytica* 9.37%.



a)



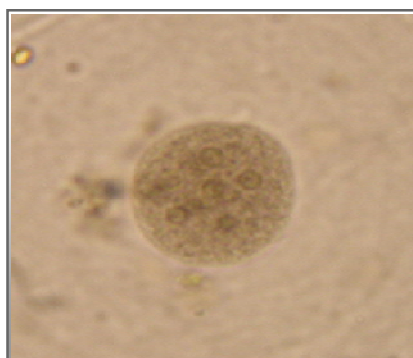
b)



c)



d)



e)

Fig. 6 Fotos de los protozoos encontrados en las muestras de agua con objetivo de 40X. a) *Giardia* sp. b) *Cryptosporidium* sp c) *E. coli* d) *B. coli* e) *E. histolytica*
Fotos: Vence 2009

Las infecciones intestinales por protozoos constituyen una de las causas más frecuentes de enfermedad entre los seres humanos a nivel mundial. Tres de ellos se destacan como productores de diarrea aguda en pacientes inmunocompetentes, *Giardia sp*, *Cryptosporidium sp*, *E. histolytica* (Lura et al. 2002).

Los resultados obtenidos indican que, en los aljibes muestreados, el género *Giardia sp* es el protozoo con mayor prevalencia, dentro de todos los géneros identificados, seguido por *Cryptosporidium sp*. Sin embargo se encontraron complejos formados por la presencia de varios géneros en un mismo aljibe, como fue el caso del punto de captación ubicado en el predio N° 075, que presentó *Cryptosporidium sp.*, *B. coli*, *E. coli*, y *Giardia sp.*, lo que se convierte en un alto índice de contaminación y por ende representa un elevado riesgo de infección por parte de estos parásitos para quienes se abastecen del recurso hídrico.

Las fuentes de agua deben ser protegidas del contacto con materias fecales, ya que éstas pueden ser portadoras de bacterias, virus, protozoos (OMS 1997).

Los sitios donde se tomaron las muestras, están ubicados en la zona rural de los municipios de La Paz y San Diego, (fincas y haciendas), por lo que es inminente la presencia de animales en grandes cantidades y por ende la contaminación con microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal. Por otra parte, es preciso indicar que muchos de estos puntos de captación presentan fisuras, daños en sus estructuras, tapas mal elaboradas o en mal estado, que permiten el proceso de infección de estas aguas de forma directa o indirecta.

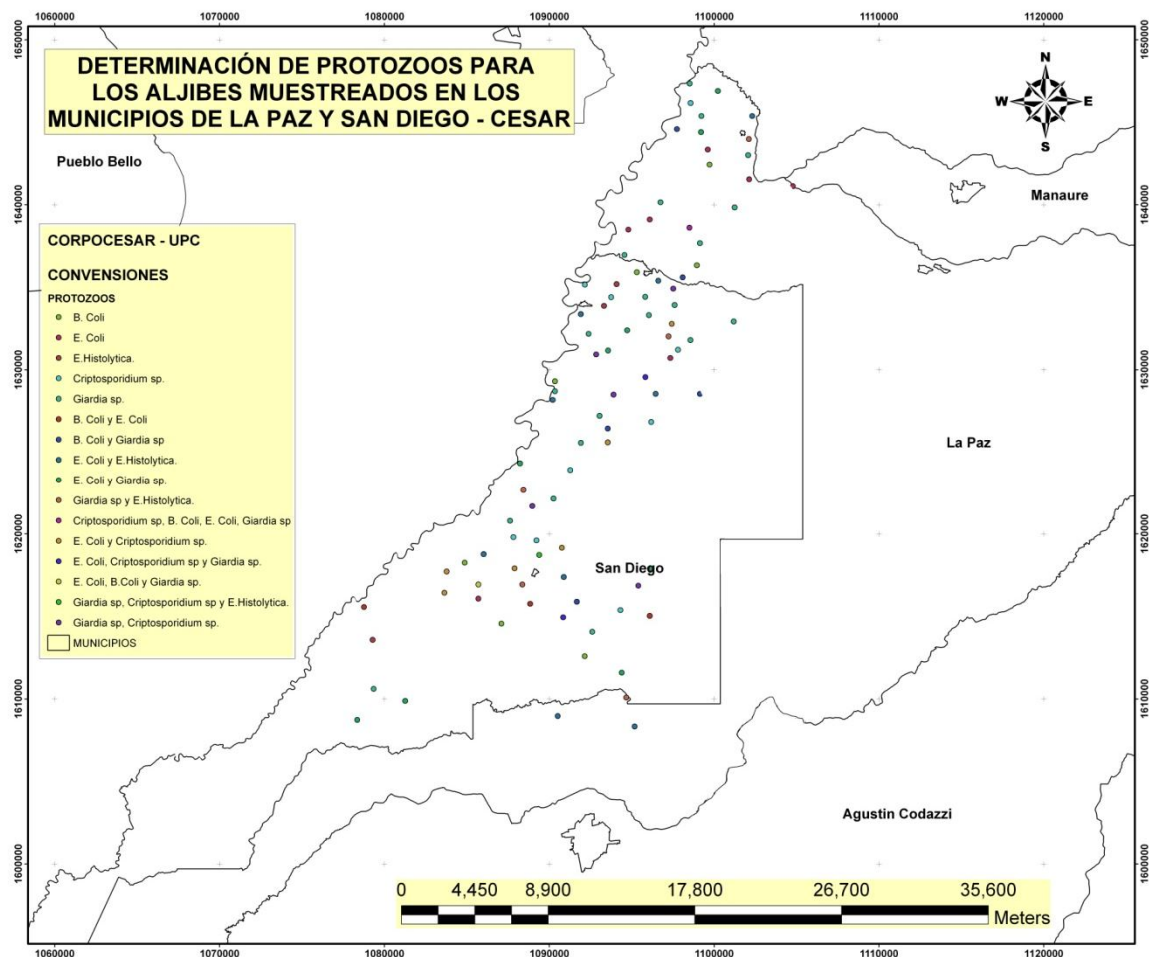
La detección de cualquiera de estos agentes en una fuente determinada indica que la misma está contaminada con heces y que en ella puede estar presente una multiplicidad de patógenos, además del identificado, de los que habitan en el intestino de los seres humanos y animales.

La sobrevivencia de los quistes de protozoos en el agua, varía según la temperatura de la misma, desde algunos días hasta semanas o incluso meses. La técnica utilizada en este trabajo para la identificación de protozoos en el agua no aseguraba que los mismos fueran viables y que, por lo tanto, tuvieran capacidad para infestar huéspedes humanos. Por otra parte es aceptado que la contaminación de las fuentes puede ser ocasional y no necesariamente debe prolongarse en el tiempo. Sin embargo es oportuno indicar que el decreto que rige para agua potable reglamenta que la presencia de parásitos en el agua para

consumo humano debe ser cero, poniendo en conocimiento entonces que el agua de los puntos analizados representa un riesgo para la salud de los consumidores, más puntualmente para personas inmunocomprometidas (Lura *et al.* 2002).

6.2.1 Representación gráfica de los puntos de muestreo de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, con respecto a los resultados obtenidos de cada uno de los análisis luego de aplicar el modelo de la ponderación del inverso de la distancia IDW, contenido en el software ArcView (Fig. 7).

Fig. 7 Determinación de los Protozoos identificados



6.3 DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a las 93 muestras tomadas, se describen en las tablas presentadas a continuación, las cuales constan de los valores de todos los parámetros analizados y los valores máximos y mínimos hallados para cada uno de los parámetros analizados (Tabla 3). Los valores detallados por punto de muestreo se describen en el anexo F, y las curvas de calibración de los nutrientes y metales analizados los anexos G al K.

Tabla 3 Valores máximos y mínimos hallados

PARAMETRO	VALORES MINIMOS	VALORES MAXIMOS
Sólidos suspendidos (SS)	0.01 mg/l	0.45 mg/l
Sólidos totales (ST)	0.8 mg/l	620 mg/l
Sólidos disueltos (SD)	0.4 mg/l	900 mg/l
Dureza total (DT)	15 mg/l	180 mg/l
Dureza cálcica	10 mg/l	105 mg/l
Acidez	100 mg/l	1000 mg/l
Alcalinidad	2.0 mg/l	114 mg/l
Cloruros (Cl ⁻)	0.0035 mg/l	0.600 mg/l
Calcio (Ca)	4 mg/l	24 mg/l
Magnesio (Mg)	0 mg/l	33.12 mg/l
Color aparente	0 UPC	60 UPC
Color real	0 UPC	40 UPC
Turbidez	0 UPC	23,3 UPC
Amonio (NH ₄)	0.493 mg/l	23.064 mg/kl
Nitratos (NO ₃)	0.613 µg/l	128.824 µg/l
Nitritos (NO ₂)	0.191 µg/l	3.088 µg/l
Hierro (Fe)	0.011 mg/l	0.136 mg/l
Manganeso (Mn)	2.889 mg/l	39.556 mg/l
Sodio (Na)	1.43 mg/L	42.0 mg/l
Potasio (K)	0.56 mg/l	5.53 mg/l
Temperatura	27,50 °C	31,70°C
Ph	6,71	8,20
Conductividad (C.E)	221 µs/cm	5270 µs/cm
Salinidad	0.11 ppt	0.88 ppt
Sólidos disueltos totales	120 mg/l	2630 mg/l
RAS	0.489	19.85

6.3.1 Representación gráfica de los puntos de muestreo de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, con respecto a los resultados obtenidos de cada uno de los análisis luego de aplicar el modelo de la ponderación del inverso de la distancia IDW, contenido en el software ArcView.

Fig. 8 Determinación de Acidez en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La figura explica que los puntos donde se concentran los valores de mayor acidez, no solo afecta precisamente el punto de muestreo sino también zonas aledañas, lo que constituye un serio problema para quienes poseen sistemas de tuberías que puedan dañarse por corrosión (Rigola 1999). Sin embargo en la mayoría de los puntos se establecen rangos moderados que se hallan distribuidos en grandes extensiones de la zona de estudio.

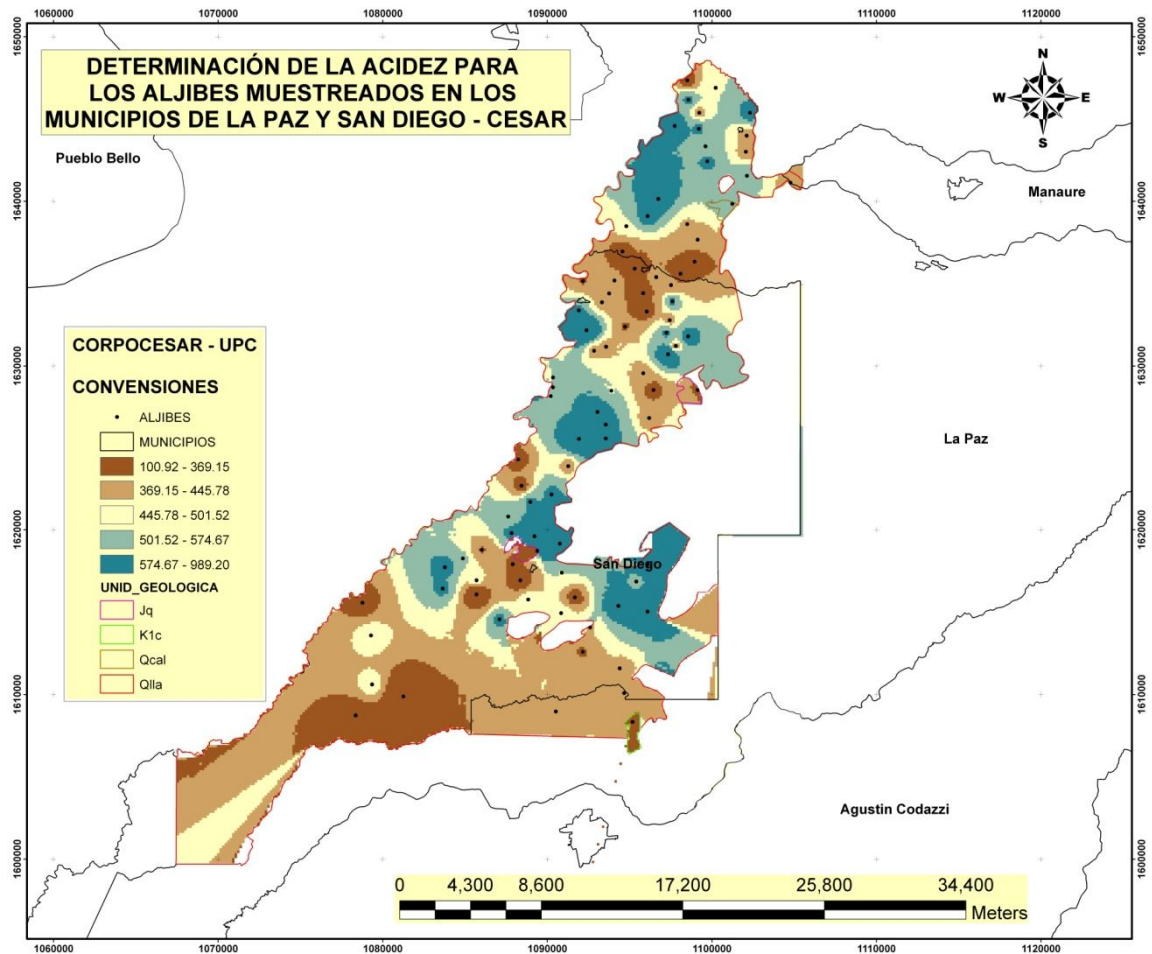


Fig. 9 Determinación de Alcalinidad en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La gráfica representa los niveles de alcalinidad observando marcadas diferencias de la zona media hacia el norte, lo que demuestra que los más altos valores encontrados, se pueden generar debido a la presencia de ácidos orgánicos en el suelo, que contribuyen a que los iones de carbonato y bicarbonato aumenten la alcalinidad, siendo determinante para neutralizar los ácidos (Glynn, Heinken 2000).

La norma (Resolución 2115 de 2007), establece un rango permisible para consumo humano hasta 200 mg/l; el 99.07% de los pozos están dentro de la norma y el restante 0.93% se encuentra fuera de norma.

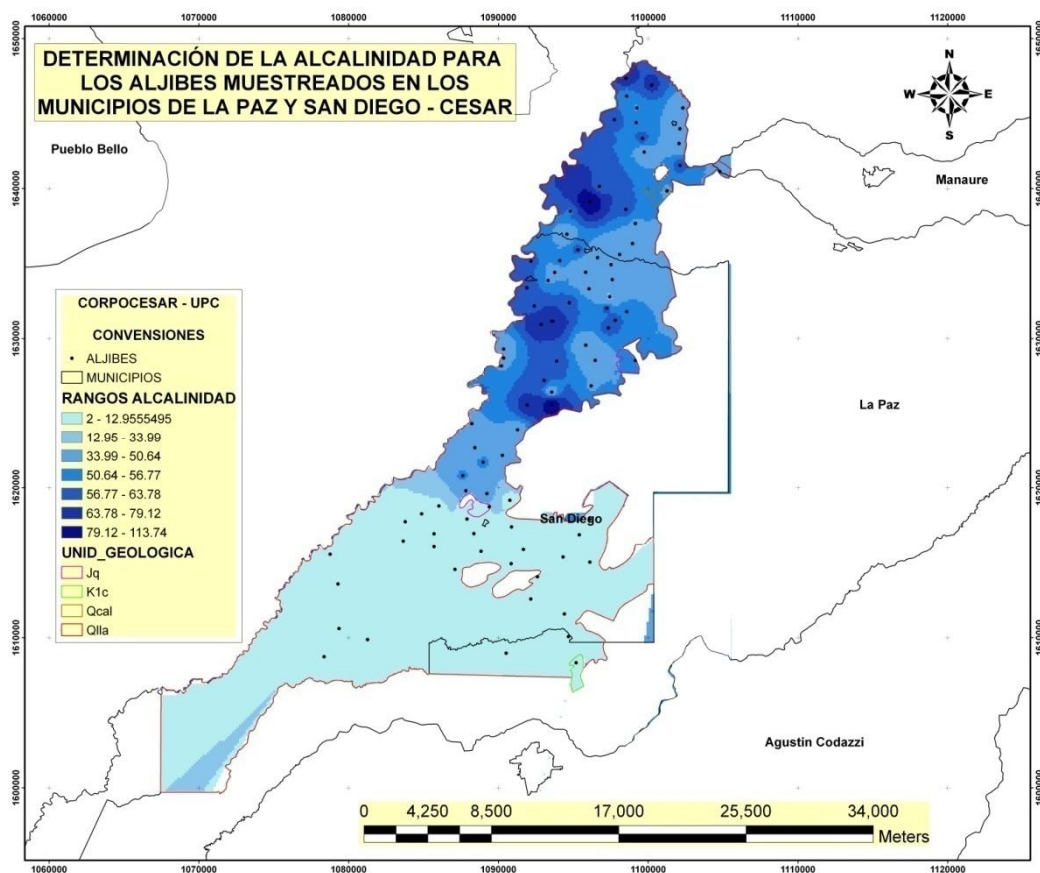


Fig. 10 Determinación de Amonio en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La grafica representa que en la mayoría de los puntos muestran bajas concentraciones de amonio, lo que demuestra que los sitios con mayor concentración, son puntos de captación donde el agua no es potable, debido a que este ion produce alta toxicidad para quienes consumen estas aguas (Tebbutt 2001).

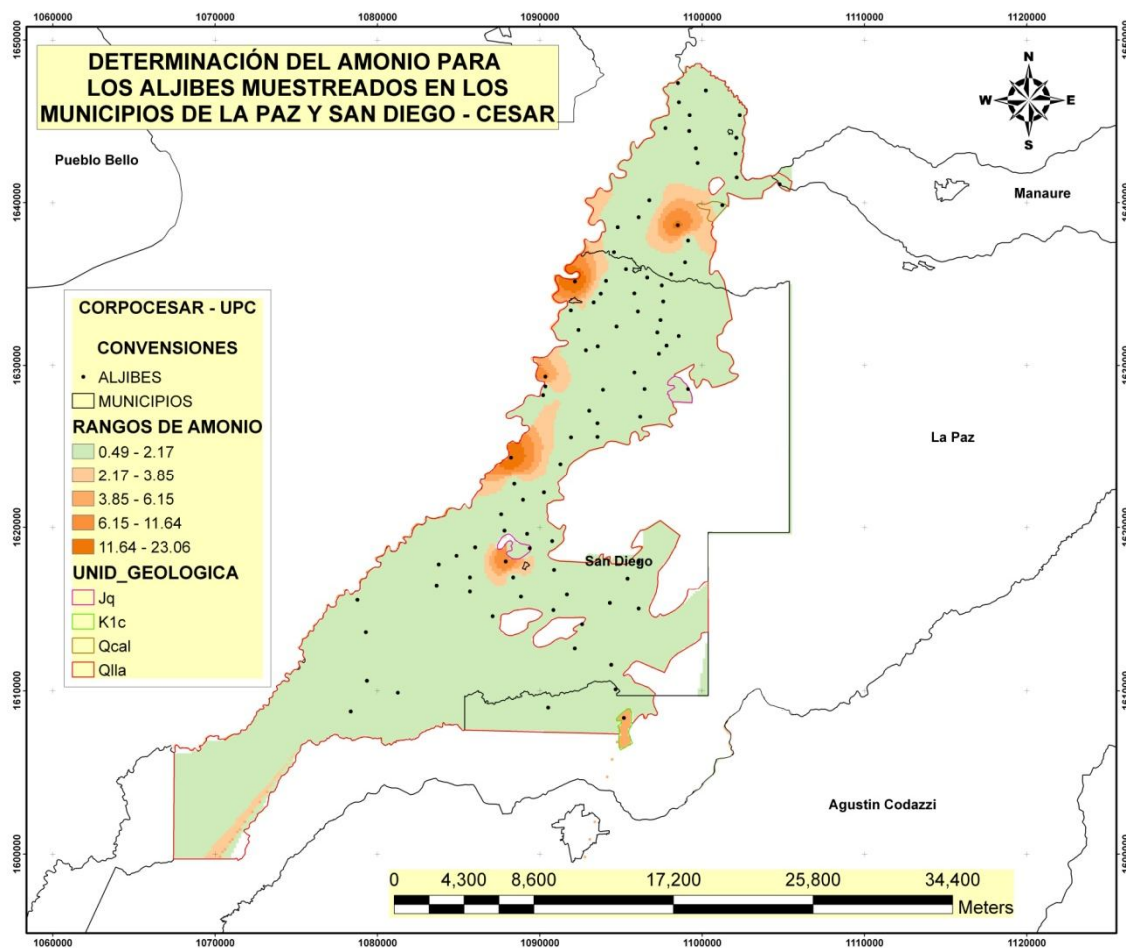


Fig. 11 Determinación de Calcio para aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la grafica se observa que la mayoría de los puntos poseen bajas concentraciones de calcio, mas hacia la zona de la parte norte de La Paz y en la parte media de San Diego. Sólo en este último se presentan pocos puntos con altas concentraciones del catión, debido a la formación geológica que esta zona presenta (Kiely 2003).

El 100% de los pozos están dentro de la norma establecida (Resolución 2115 de 2007).

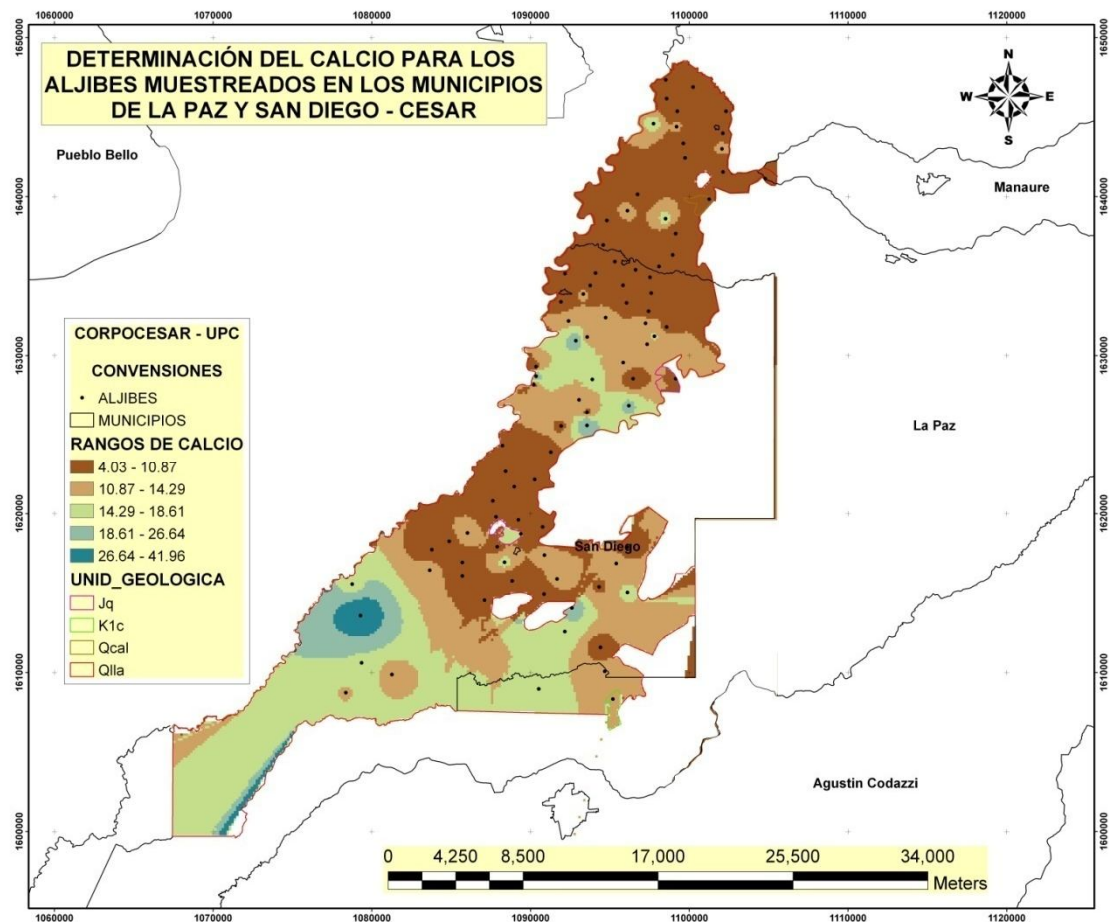


Fig. 12 Determinación de Cloruros para aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En el mapa se observan distintas concentraciones de cloruro, sin embargo 100% de los pozos están dentro de la norma establecida (Resolución 2115 de 2007).

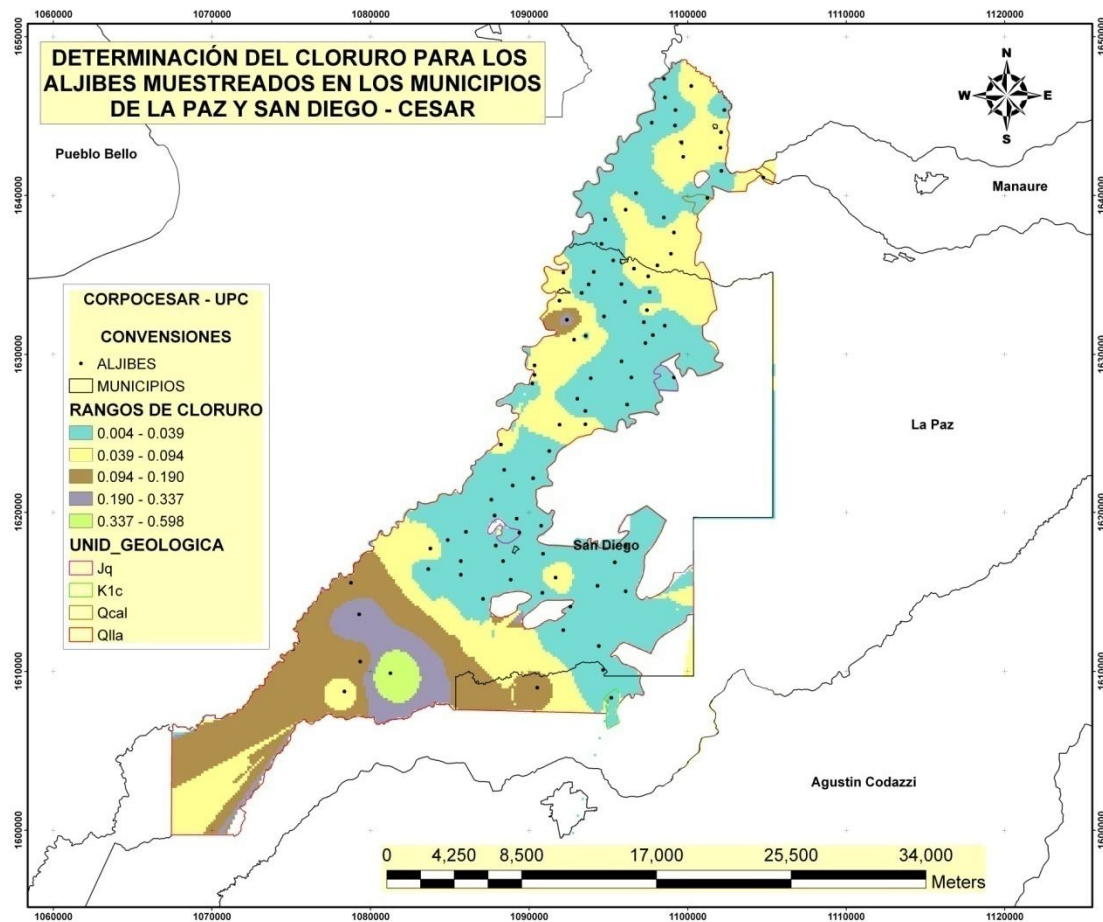


Fig. 13 Determinación del Color aparente en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la grafica se observa que en la gran mayoría de los puntos muestreados, el color aparente esta dentro de los niveles aceptables establecidos en la norma, la cual establece un rango permisible para consumo humano hasta 15 UPC; el 74.89% de los pozos están dentro de la norma y el restante 25.11% se encuentra fuera de norma; lo que puede deberse al contacto del agua con desechos orgánicos en descomposición y están asociados a la presencia de hierro y manganeso (Kiely 2003).

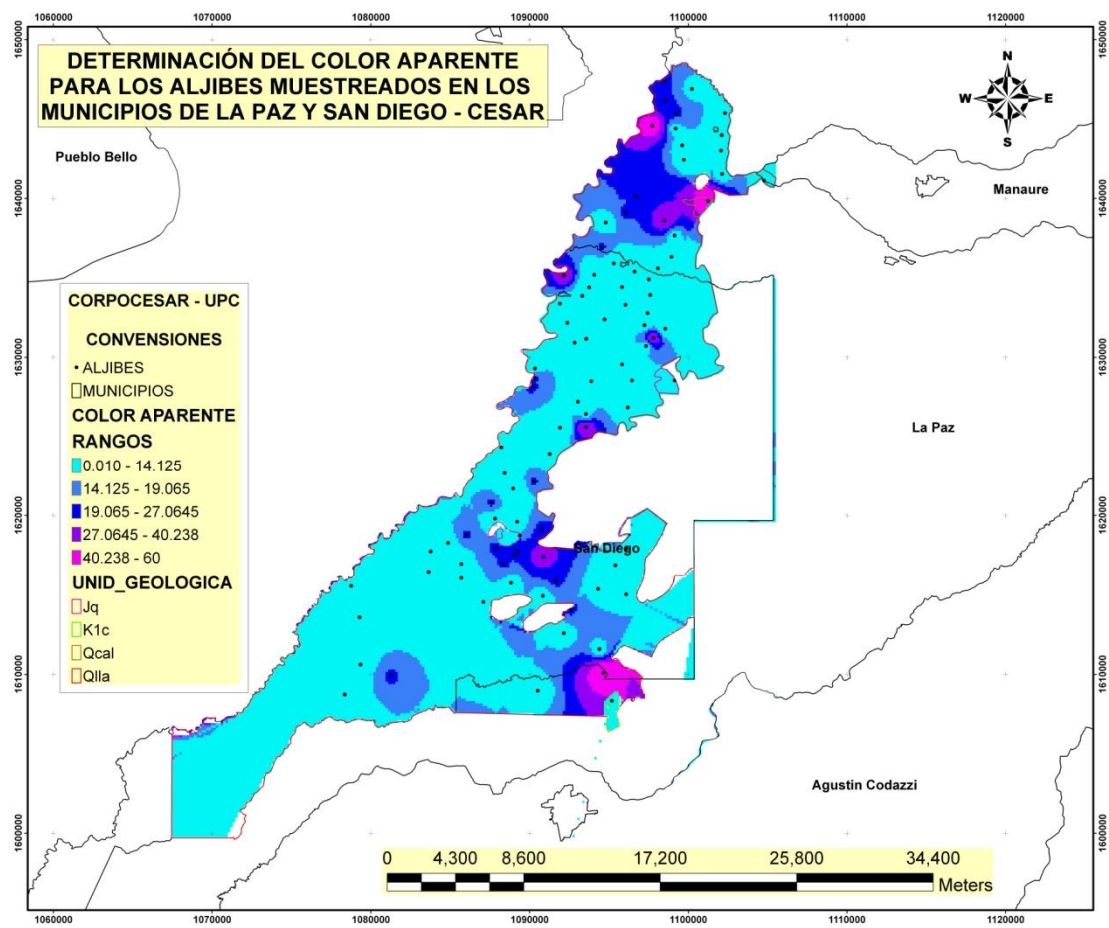


Fig. 14 Determinación del Color Real en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la grafica se observa que en la mayoría de los puntos de muestreo poseen niveles bajos de color real, lo que quiere decir que el agua en estos puntos no entraba en contacto con desechos orgánicos en descomposición (Kiely 2003).

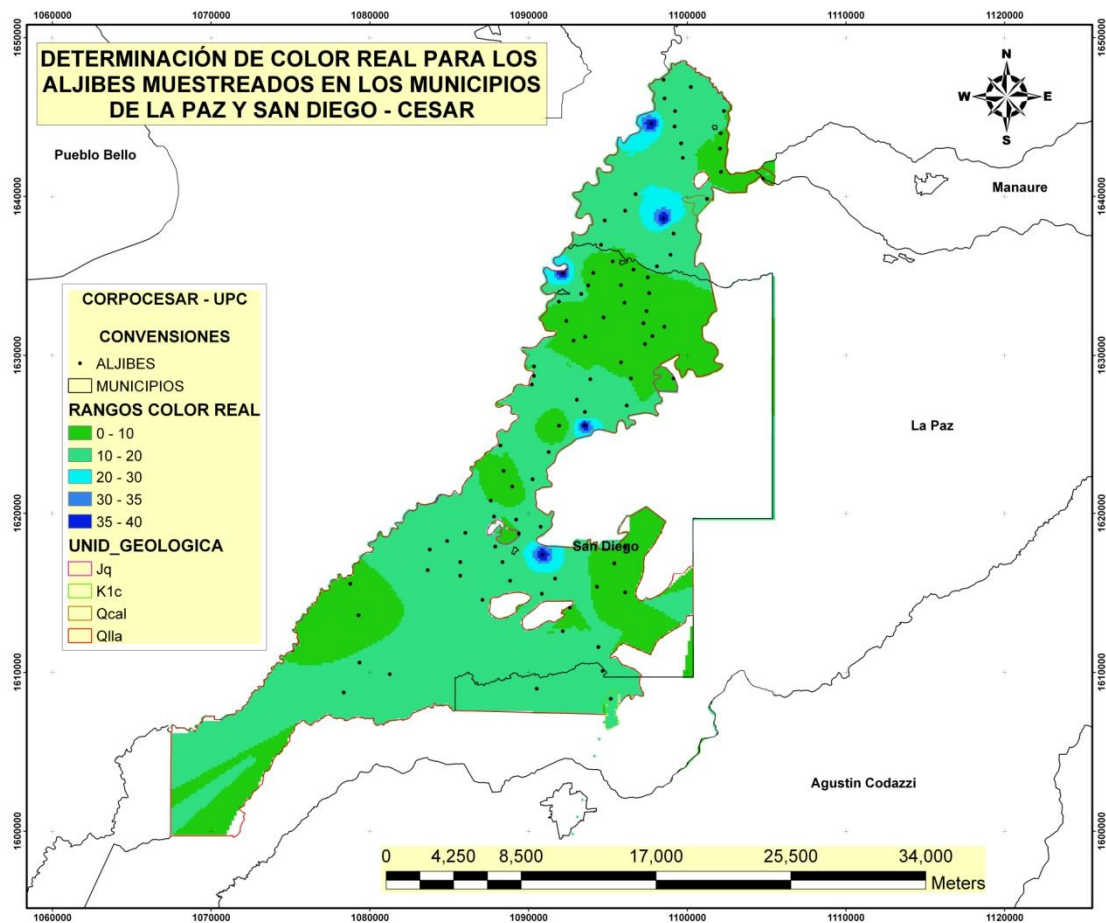


Fig. 15 Determinación de la Conductividad Eléctrica en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la gráfica se observa que la mayor conductividad se concentra en un punto hacia el sur de San Diego, lo cual indica que en este punto el agua no es apta para irrigación, debido a que esto puede afectar la productividad de los cultivos por la alta concentración de sales en las raíces (Romero 2002).

La norma establece un rango permisible para consumo humano hasta 1000 microsiemens/cm; el 90.7% de los pozos están dentro de la norma establecida (Resolución 2115 de 2007).

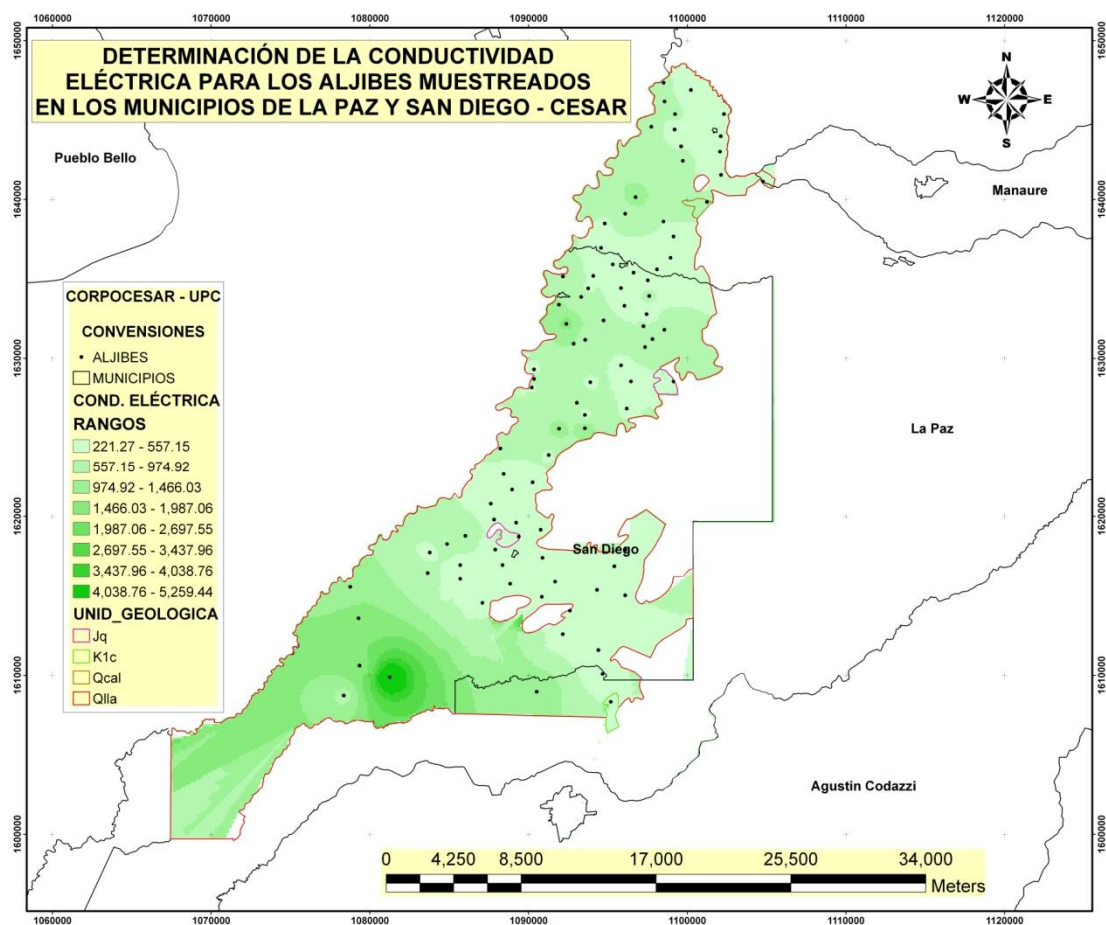


Fig. 16 Determinación de Dureza cálcica en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La figura demuestra que los rangos más altos de dureza cálcica se presentan en los puntos muestreados el sur de San Diego. Su presencia se debe al paso del agua subterránea a través de la caliza disolviendo los compuestos de calcio y magnesio (Rigola 1999).

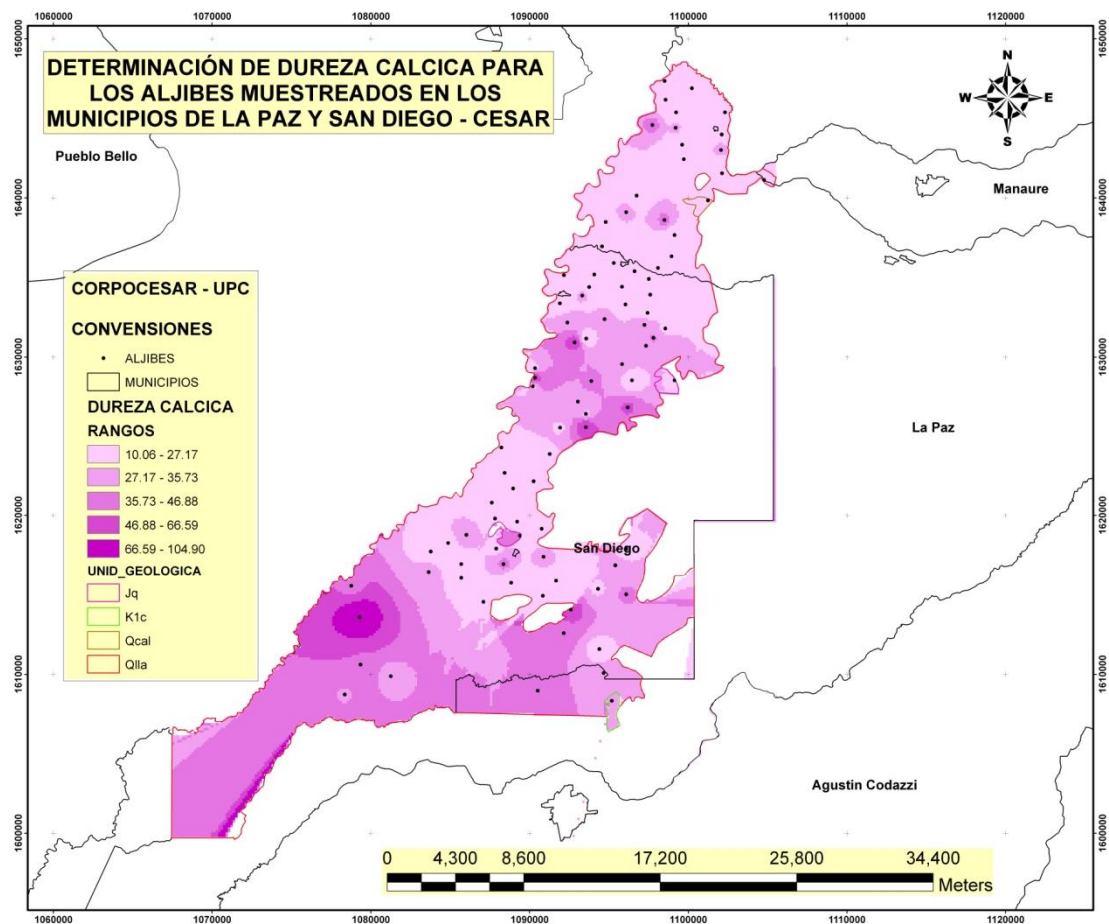


Fig. 17 Determinación de Dureza magnésica en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La gráfica describe los niveles de dureza magnésica cuyos puntos mas elevados, se encuentran dispersos en la zona de estudio. Su presencia se debe al paso del agua subterránea a través de la caliza disolviendo los compuestos de calcio y magnesio (Rigola 1999).

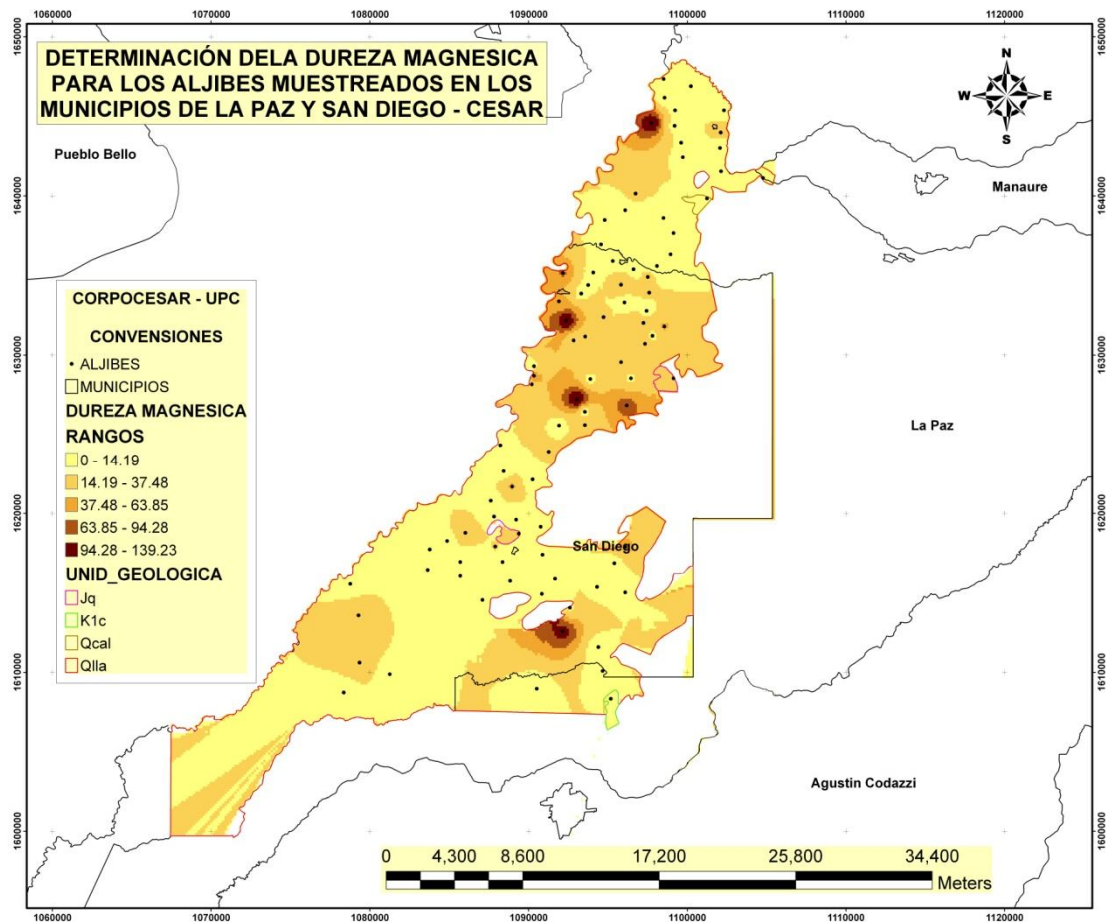


Fig. 18 Determinación de la Dureza Total en los aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la figura, el 100% de los pozos se encuentra dentro de la norma establecida en los rangos de la Resolución 2115 de 2007.

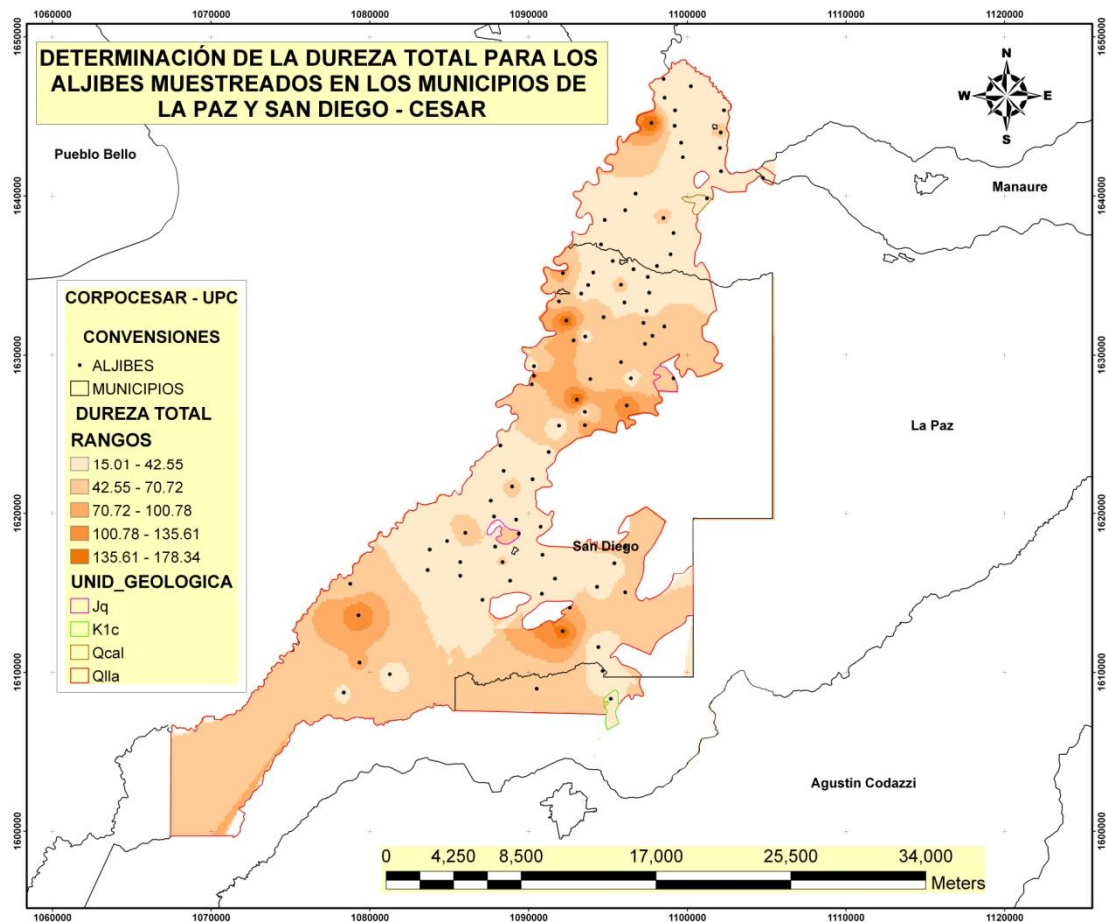


Fig. 19 Determinación de Hierro en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de hierro no afectan la salud, pero son preocupantes por razones de estética y gusto, pues produce un sabor metálico al agua, además de contribuir a la acidificación del suelo y a la pérdida de fósforo (Romero 2002).

En el grafico se expresan los valores determinados para el hierro, pese a que se presenten fluctuaciones en los puntos muestreados, como se demuestran en la zonas mas oscuras, el 100% de las muestras se encuentran dentro del rango normal establecidos en la resolución 2115 de 2007.

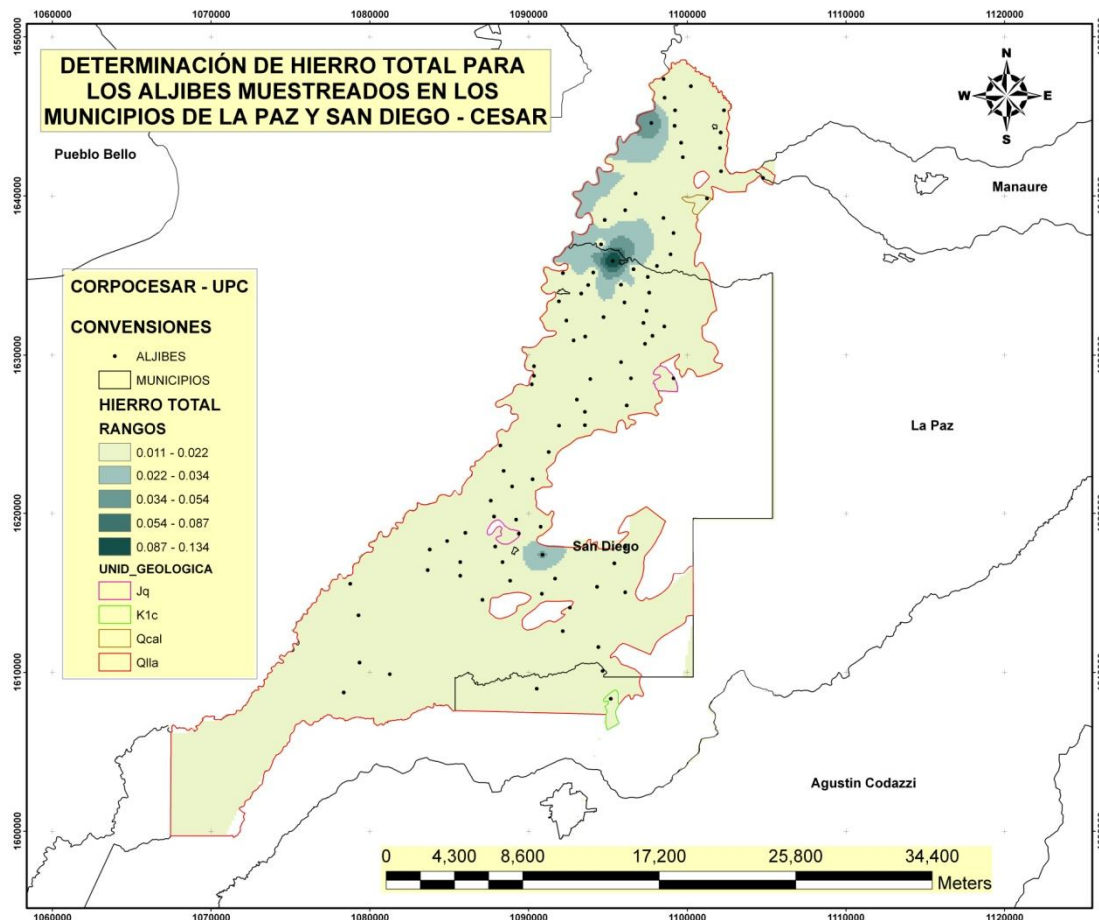


Fig. 20 Determinación de Magnesio en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

En la figura se describen los valores obtenidos para el magnesio, cuyas concentraciones se encuentran esparcidas en el mapa. Su presencia se debe a las rocas carbonatadas, dolomitas y calizas magnesianas (Tebbutt 2001).

El 100% de los pozos están dentro de los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007.

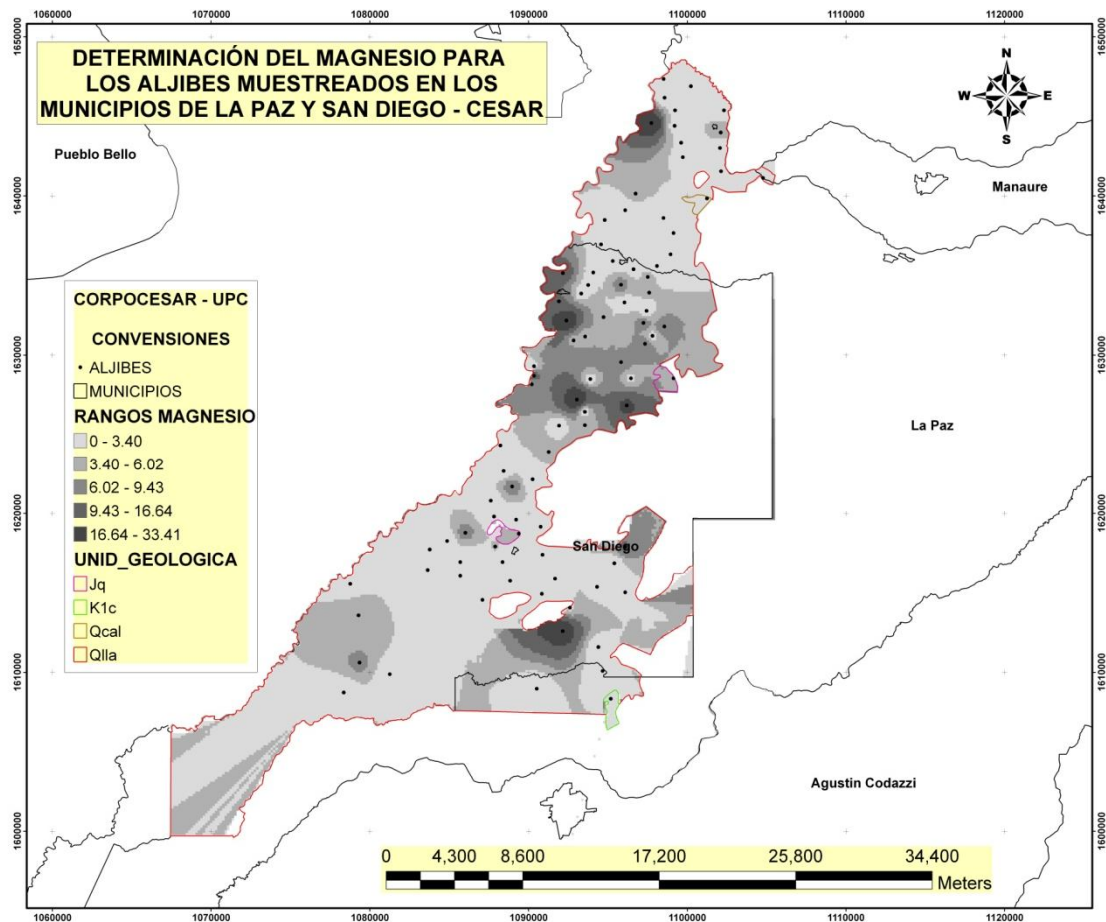


Fig. 21 Determinación de Manganeseo en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de manganeseo se encuentran en los puntos pertenecientes a la zona norte de San Diego. El magnesio presenta una coloración negra, lo que indica contaminación por residuos con alta DBO como efluentes de silos agrícolas (Tebbutt 2001), sin embargo, el 100% de las muestras analizadas se encuentran dentro de los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007.

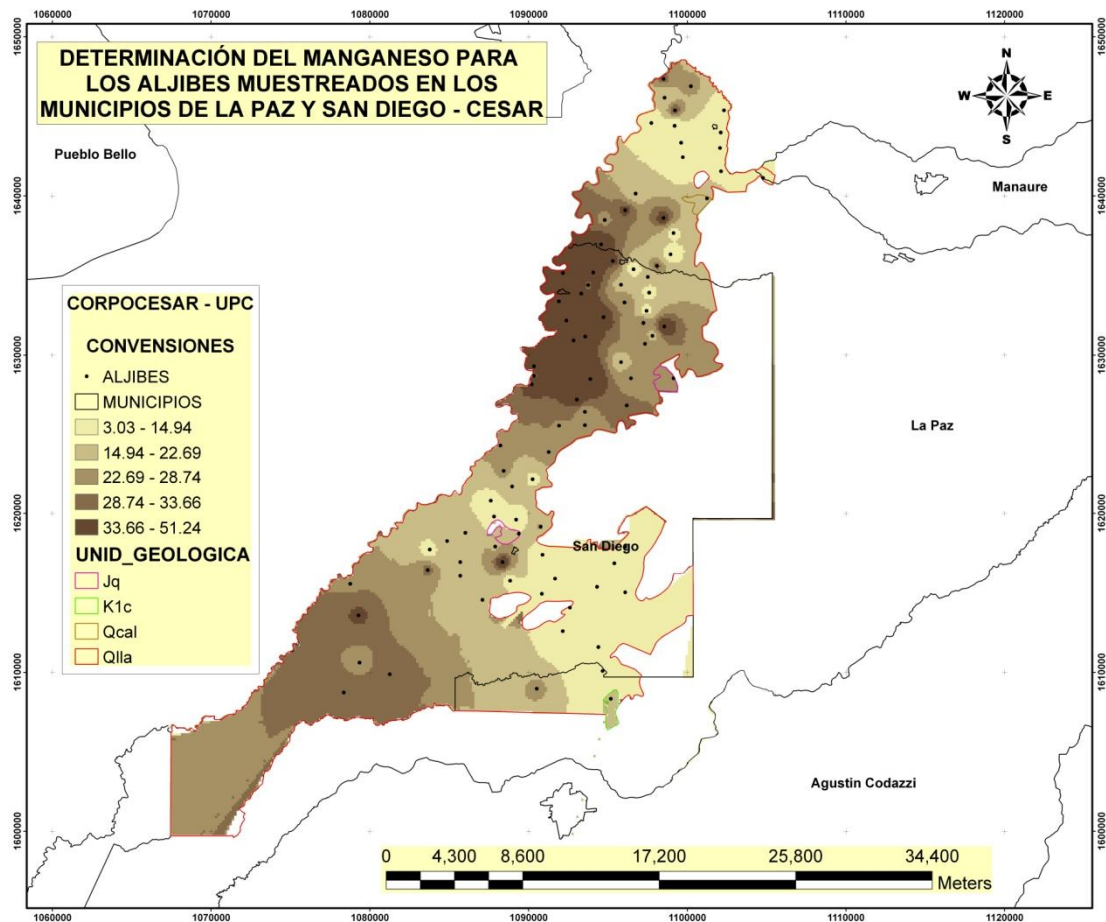


Fig. 22 Determinación de Nitratos en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de nitratos indican la disolución de rocas que los contengan o la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana (Kiely 2003).

El 27.46% de los pozos están dentro de la norma y el restante 72.54% se encuentra fuera de los rangos establecidos en la resolución 2115 de 2007.

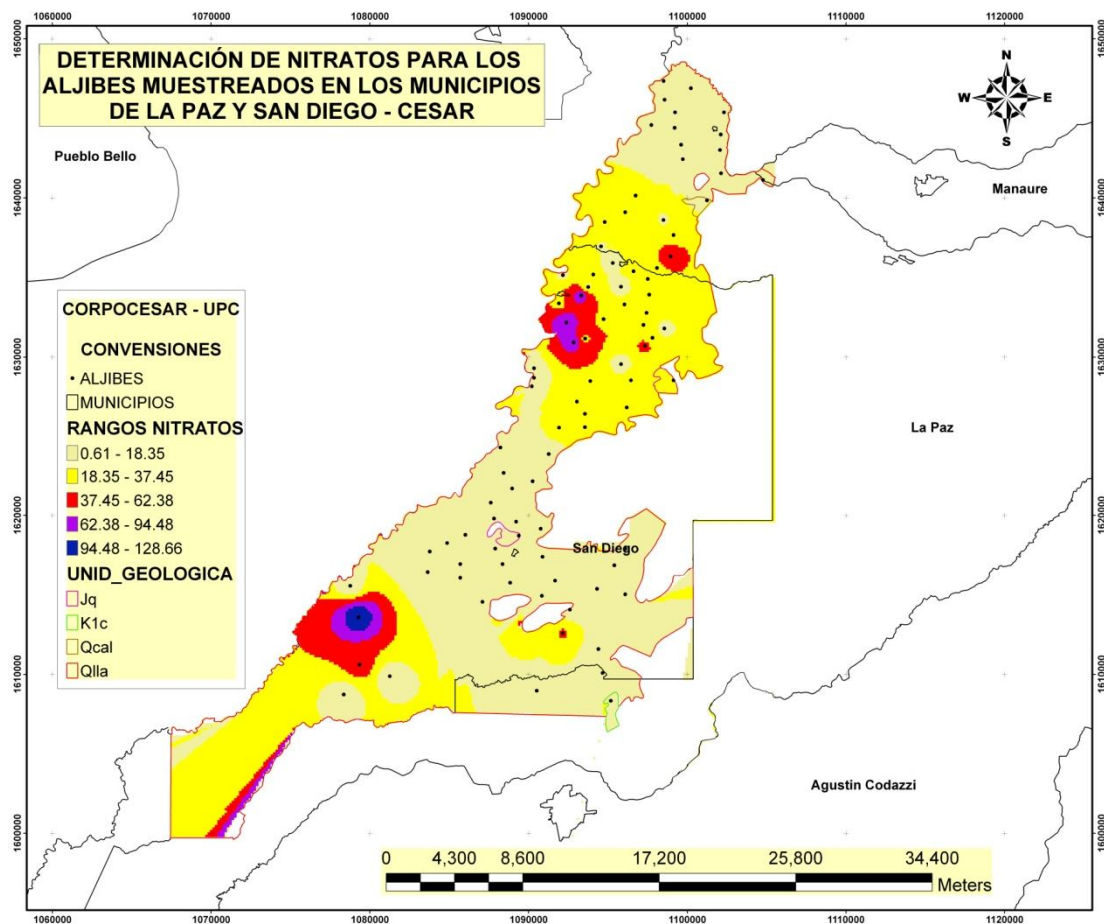


Fig. 23 Determinación de Nitritos en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de nitritos en los puntos muestreados indican contaminación por sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales y desechos) (Tebbutt 2001).

El 100% de los pozos se encuentra fuera de norma establecida en la resolución 2115 de 2007.

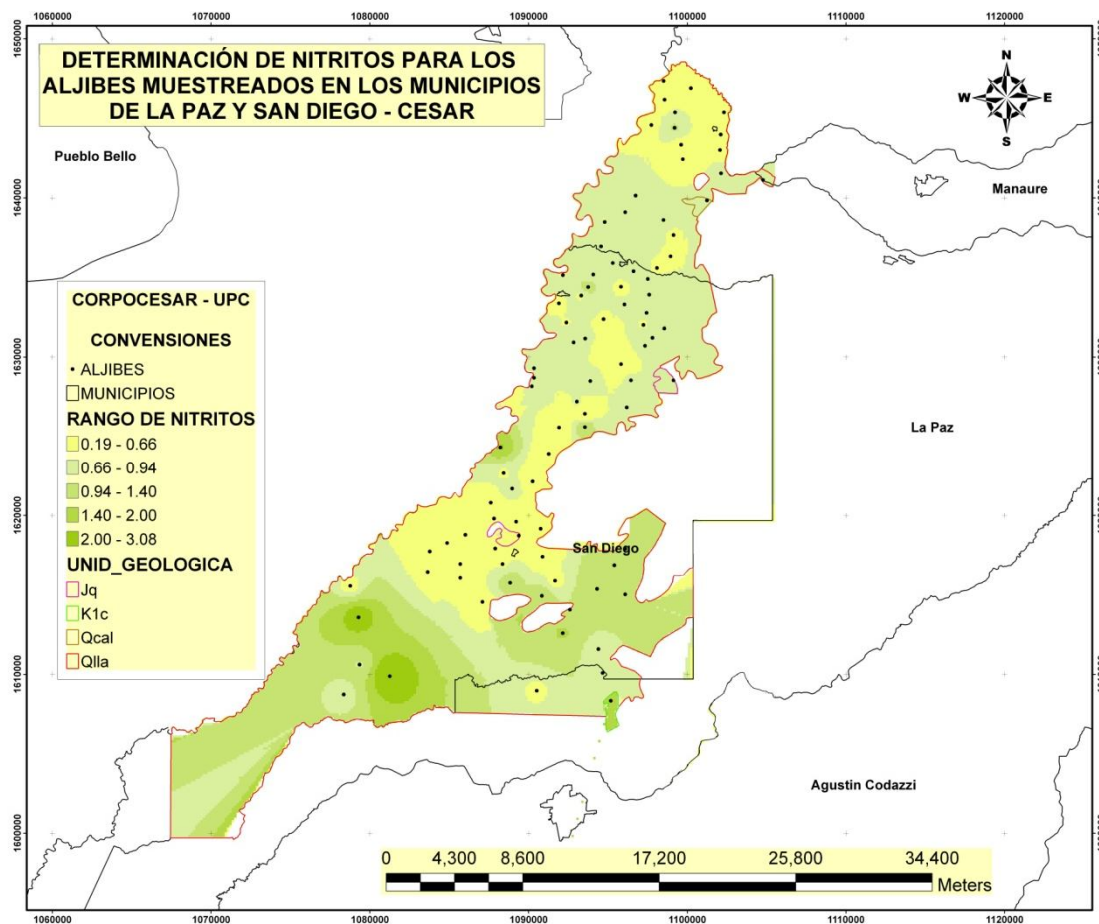


Fig. 24 Determinación del pH en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Aunque se observan altas concentraciones de pH dispersos en la zona de estudio, el 100% de los puntos muestreados se encuentran dentro de la norma establecida (Resolución 2115 de 2007).

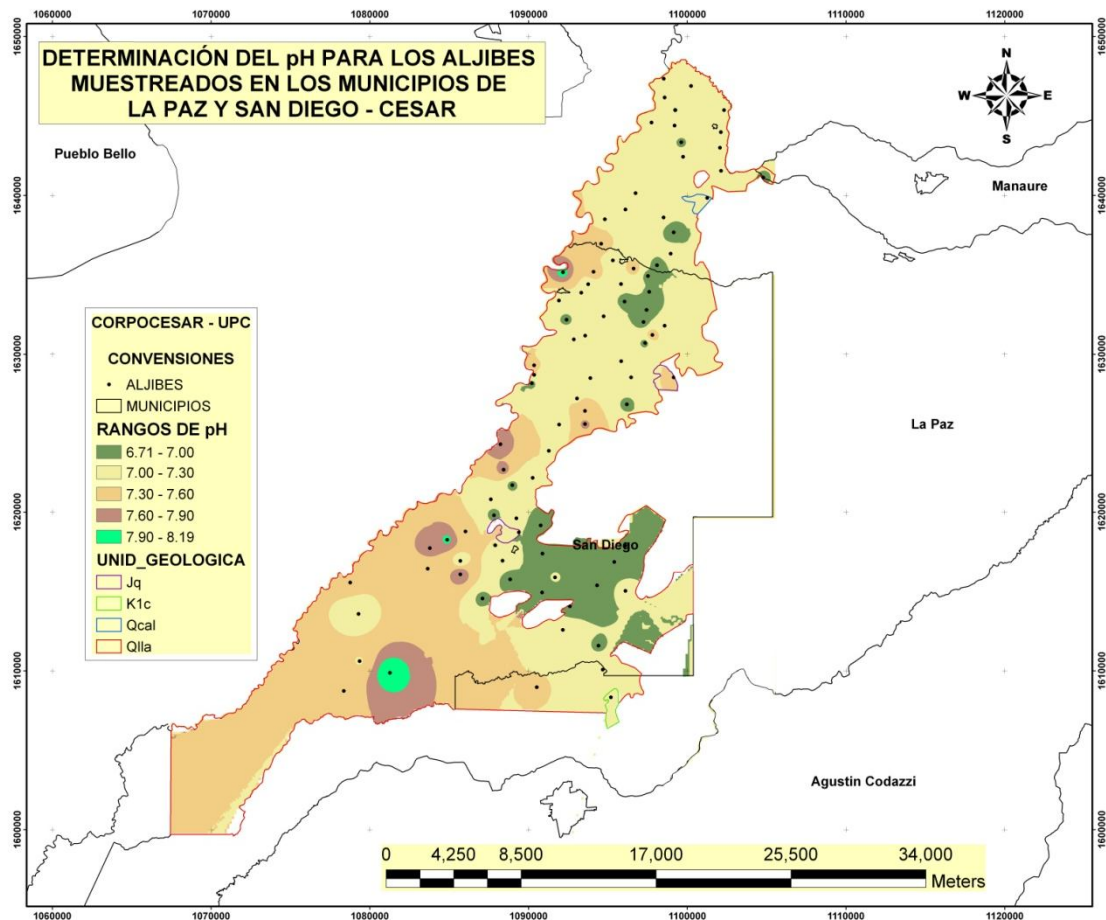


Fig. 25 Determinación de la Salinidad en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de sal se encuentran con mayor prevalencia en los puntos muestreados en el sur de San Diego, generando un problema con los sistemas de regadío, debido a que las altas concentraciones de sales son nocivas para el crecimiento de las plantas, limitando la cantidad de agua que éstas pueden absorber, además incrementando la concentración de elementos tóxicos en el agua (Brassington 2000).

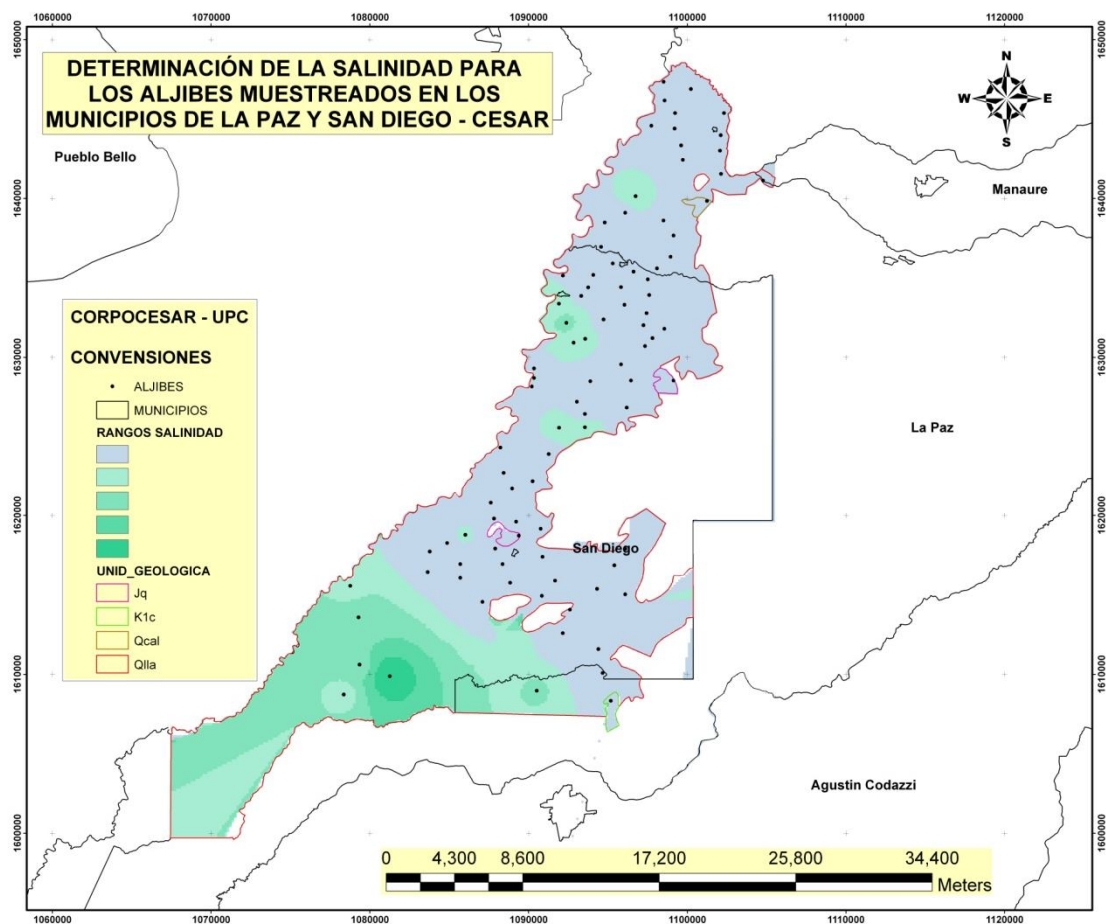


Fig. 26 Determinación de Sólidos Disueltos en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las bajas concentraciones de sólidos disueltos se encuentran extendidas en los puntos muestreados de la zona norte de La Paz y gran parte de San Diego. Por el contrario, en la zona sur de San Diego se concentran altos valores encontrados para éste parámetro.

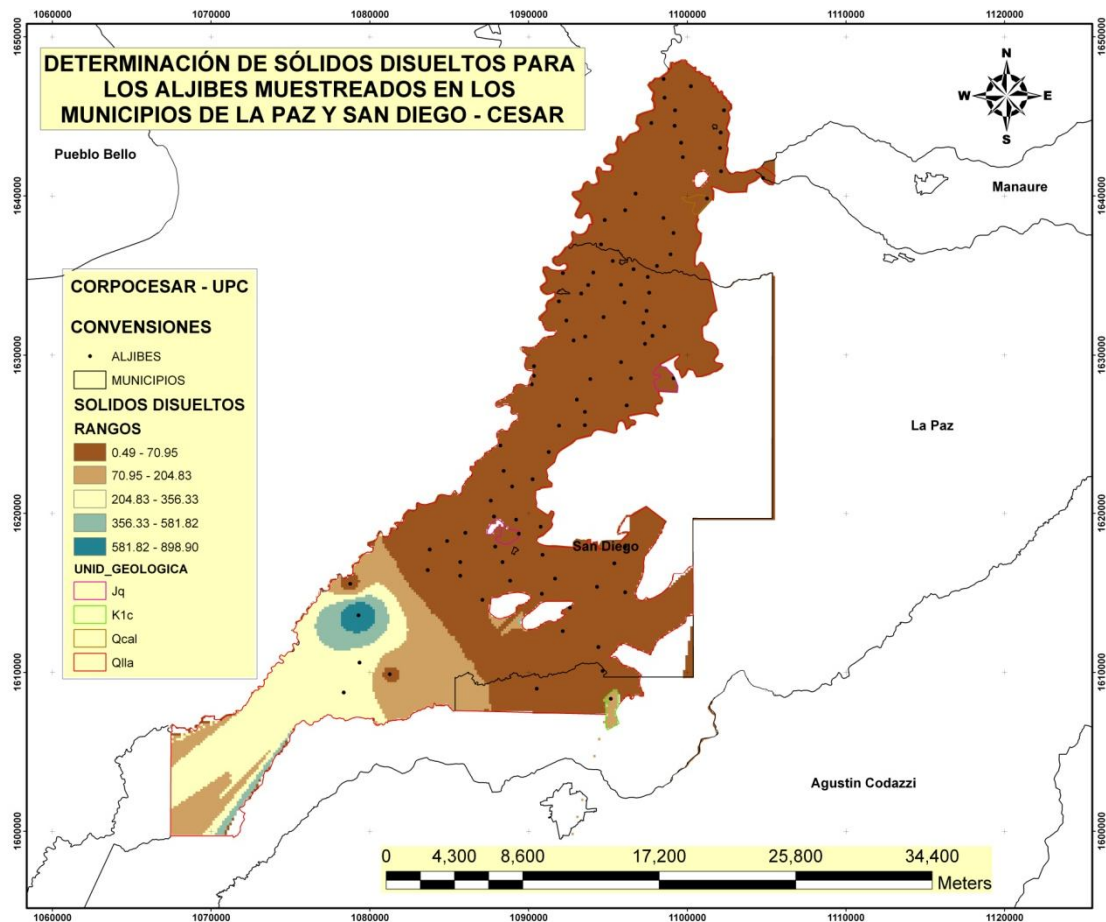


Fig. 27 Determinación de Sólidos Suspendedos en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

La mayoría de los puntos muestreados (norte de La Paz y San Diego), comprenden las más bajas concentraciones de sólidos suspendidos, y las más altas se encuentran en la zona sureste de San Diego.

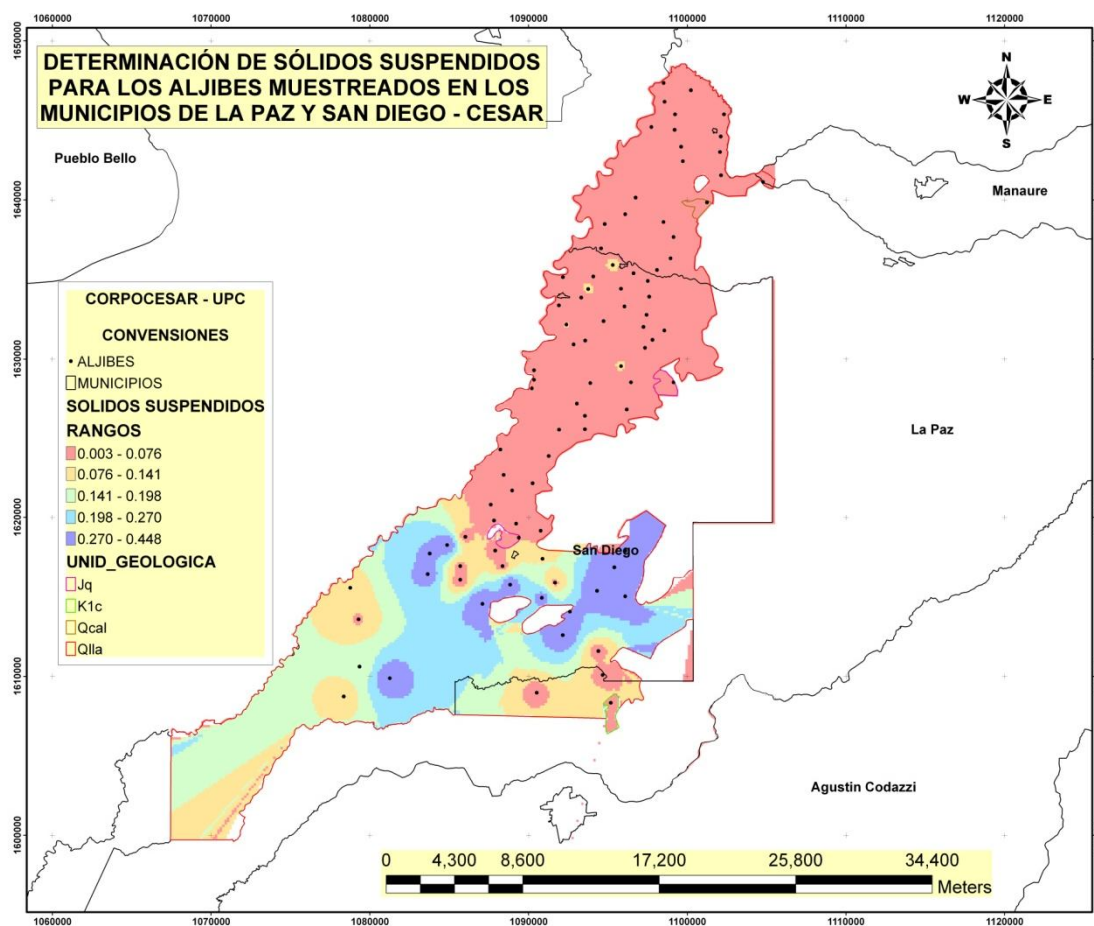


Fig. 28 Determinación de Sólidos Totales Disueltos en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Las altas concentraciones de sólidos totales disueltos se encuentran en la zona sur de San Diego, en donde pueden verse afectados muchos cultivos y plantas sensibles (Romero 2002).

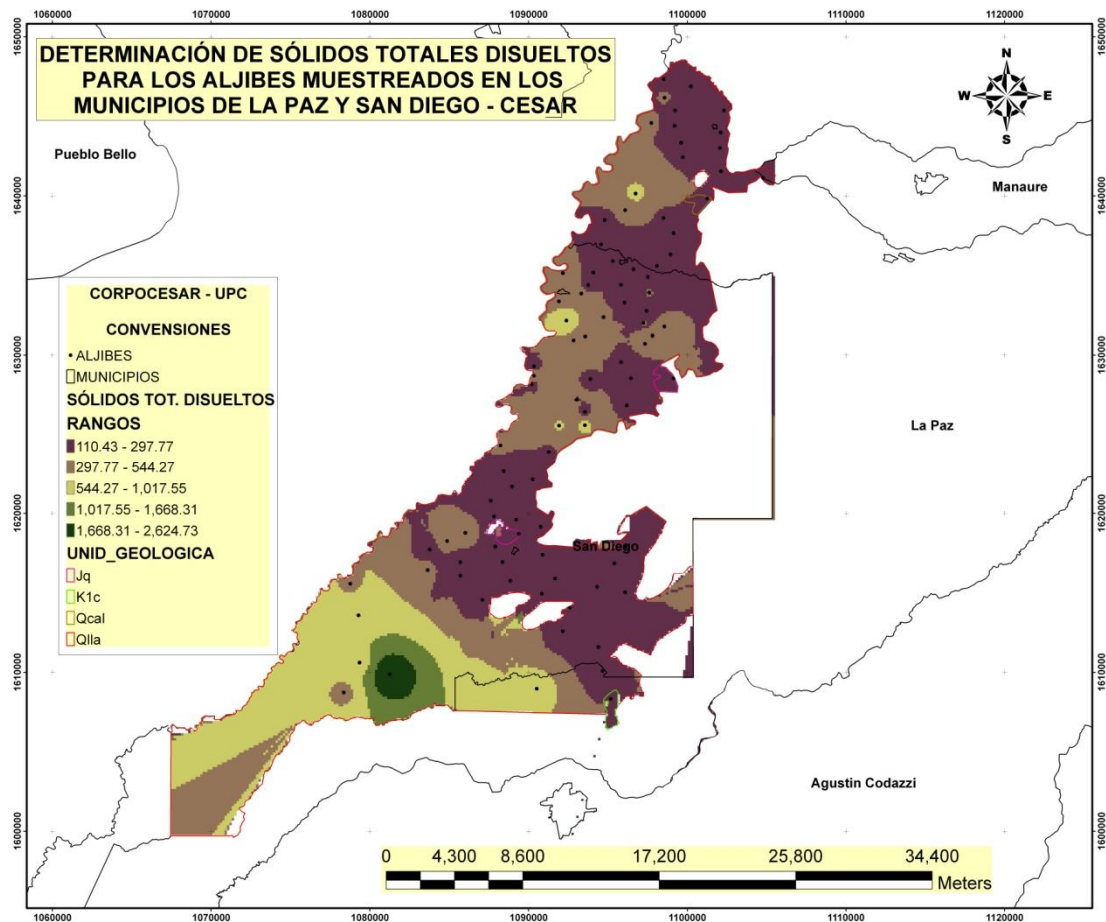


Fig. 29 Determinación de la Turbidez en aljibes muestreados en La Paz y San Diego

Los valores más elevados de turbidez se concentran en el Este de San Diego, alrededor de un 14.88%, lo que indica que se encuentra fuera de los rangos establecidos en la norma (Resolución 2115 de 2007).

Los niveles altos de turbidez indican presencia de materiales en suspensión como partículas en suspensión, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y microorganismos (Glynn, Heinke 2000).

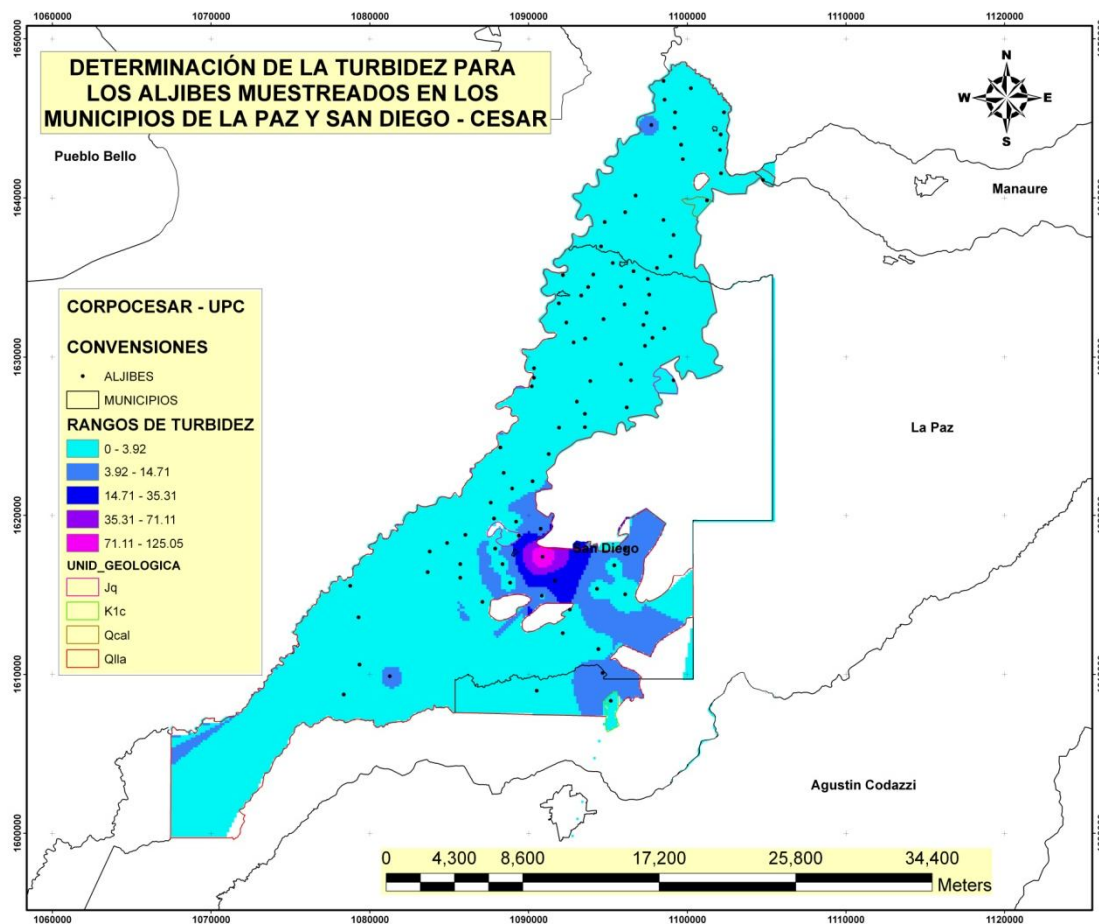


Fig. 30 Determinación de los niveles de Sodio

Las altas concentraciones de sodio son muy perjudiciales para la agricultura, ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas donde el drenaje es deficiente. Por lo tanto, se observa que los niveles de este elemento se concentran en la zona sur de San Diego (Romero 2002).

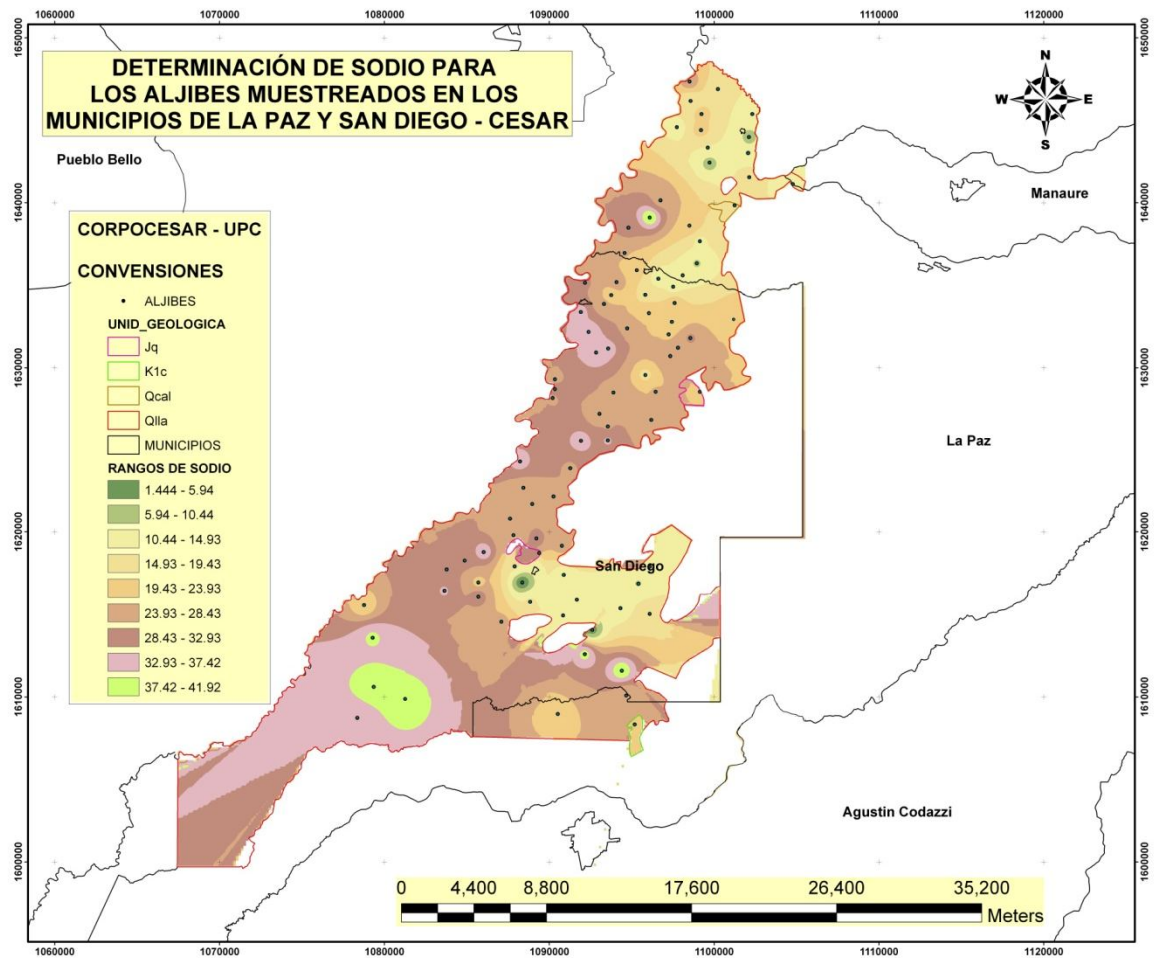
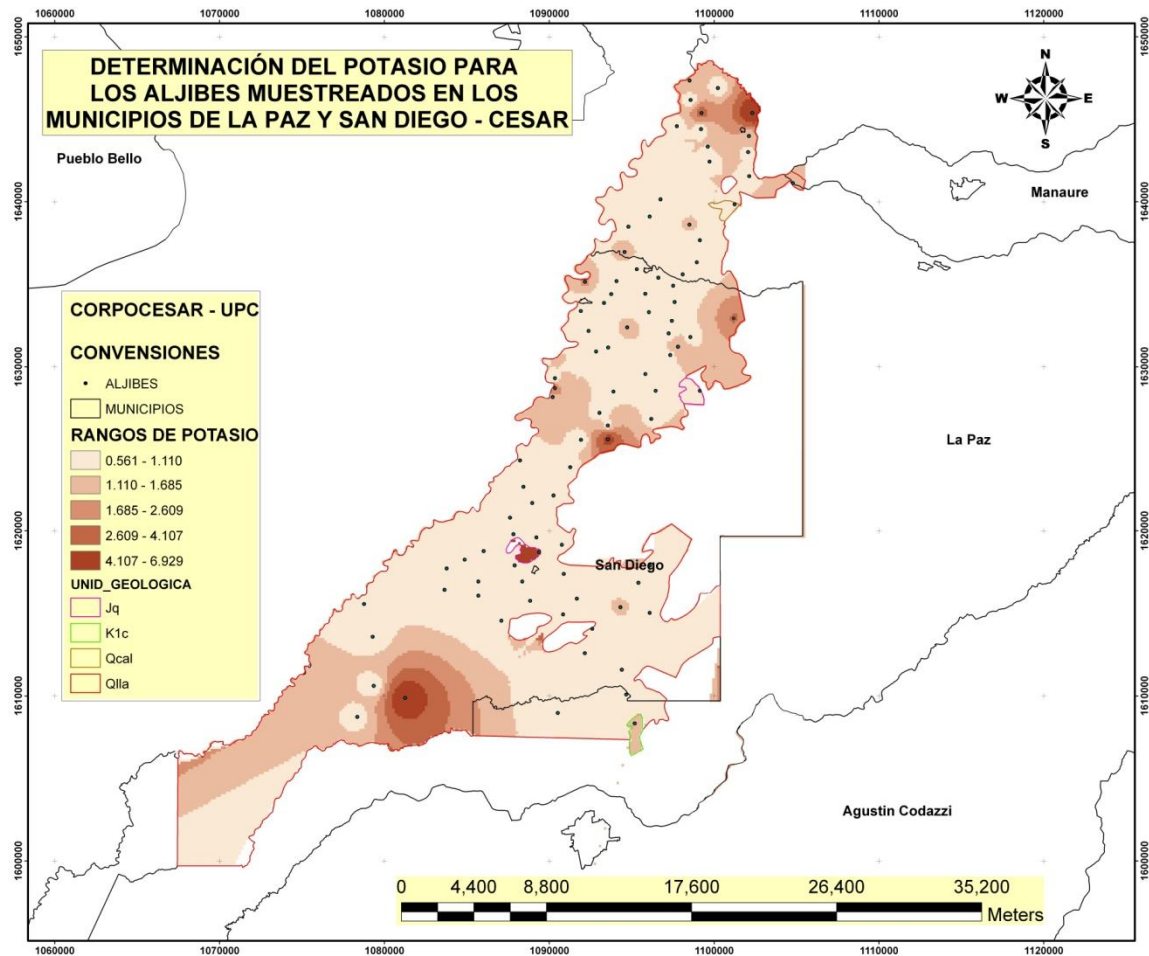


Fig. 31 Determinación de Potasio

Las altas concentraciones de potasio se observan esparcidas en diferentes puntos, mas especialmente en la zona sur de San Diego. Se debe a las sales que han sido difíciles de precipitar para este tipo de aguas (Rigola 1999).



Los gráficos que no poseen correlación con la resolución 2115 de junio de 2007 se debe a que este no tiene dichos parámetros referenciados dentro de sus estipulaciones para agua para consumo humano.

6.3.2 Clasificación de las aguas según el RAS (Norma de Riverside)

El 47.3 % de las muestras analizadas, presenta un agua de salinidad media apta para el riego, con contenido medio de sodio y con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo (C2 S2). El 24.7% (C2 S1), es un agua de salinidad media apta para el riego con bajo contenido de sodio. El 12.9 % es un agua de salinidad alta, puede usarse para riego, siempre y cuando tenga un buen drenaje y posee un contenido medio de sodio con cierto peligro de acumulación (C3 S2).

El 5.4% es un agua de salinidad alta, puede usarse para riego si el suelo tiene buen drenaje, posee un alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación en el suelo (C3 S3). El 4.3% es un agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos, con bajo contenido de sodio, apta para el riego en la mayoría de los cultivos (C1 S1). El 4.3% es un agua de salinidad media, apta para el riego con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación en el suelo (C2 S3). El 1.1% es un agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego, con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación en el suelo (C6 S3) (Bastidas *et al.* 2007).

La tabla el grafico y para la interpretación de datos se encuentran en los anexos N y O, respectivamente.

Tabla 4. Tipo de agua según las normas de Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory).

CÓDIGO	RAS	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$	TIPOS DE AGUA
FQ001	12,378	830,0	C3-S3
FQ002	15,963	5270,0	C6-S3
FQ003	11,580	1645,0	C3-S3
FQ004	7,801	1740,0	C3-S2
FQ005	0,489	240,0	C1-S1
FQ006	11,244	448,0	C2-S2
FQ007	6,823	984,0	C3-S2
FQ008	7,088	1434,0	C3-S2
FQ009	8,838	543,0	C2-S2
FQ010	9,531	422,0	C2-S2
FQ011	19,685	416,0	C2-S3
FQ012	8,470	412,0	C2-S2
FQ013	6,466	454,0	C2-S1
FQ014	1,107	313,0	C2-S1
FQ015	3,418	249,0	C1-S1
FQ016	4,022	255,0	C2-S1
FQ017	5,186	287,0	C2-S1
FQ018	8,404	279,0	C2-S2
FQ019	8,333	317,0	C2-S2
FQ020	12,542	742,0	C2-S2
FQ021	12,167	653,0	C2-S2
FQ022	17,889	492,0	C2-S3
FQ023	10,418	434,0	C2-S2
FQ024	13,323	447,0	C2-S2
FQ025	11,058	956,0	C3-S2
FQ026	5,858	308,0	C2-S1
FQ027	4,244	221,0	C1-S1
FQ028	4,463	246,0	C1-S1
FQ029	9,148	500,0	C2-S2
FQ030	12,564	515,0	C2-S2
FQ031	11,011	386,0	C2-S2
FQ032	13,377	478,0	C2-S2
FQ033	10,987	446,0	C2-S2
FQ034	15,987	467,0	C2-S3
FQ035	9,007	451,0	C2-S2
FQ036	12,880	463,0	C2-S2
FQ037	16,377	655,0	C2-S3

FQ038	10,501	527,0	C2-S2
FQ039	16,014	1146,0	C3-S3
FQ040	8,731	1293,0	C3-S2
FQ041	11,881	458,0	C2-S2
FQ042	5,260	503,0	C2-S1
FQ043	7,724	866,0	C3-S2
FQ044	11,304	431,0	C2-S2
FQ045	9,266	483,0	C2-S2
FQ046	5,002	590,0	C2-S1
FQ047	9,264	513,0	C2-S2
FQ048	6,916	604,0	C2-S1
FQ049	5,751	505,0	C2-S1
FQ050	11,648	421,0	C2-S2
FQ051	8,592	684,0	C2-S2
FQ052	9,401	592,0	C2-S2
FQ053	9,902	317,0	C2-S2
FQ054	9,719	623,0	C2-S2
FQ055	4,908	384,0	C2-S1
FQ056	7,337	528,0	C2-S1
FQ057	9,732	514,0	C2-S2
FQ058	9,616	647,0	C2-S2
FQ059	12,166	1011,0	C3-S2
FQ060	7,883	1728,0	C3-S2
FQ061	9,750	981,0	C3-S2
FQ062	12,889	858,0	C3-S3
FQ063	9,810	608,0	C2-S2
FQ064	4,739	387,0	C2-S1
FQ065	6,431	555,0	C2-S1
FQ066	8,567	783,0	C3-S2
FQ067	10,546	498,0	C2-S2
FQ068	11,445	510,0	C2-S2
FQ069	10,934	482,0	C2-S2
FQ070	9,698	403,0	C2-S2
FQ071	5,281	475,0	C2-S1
FQ072	5,250	455,0	C2-S1
FQ073	8,564	544,0	C2-S2
FQ074	9,400	807,0	C3-S2
FQ075	7,757	1436,0	C3-S2
FQ076	9,639	555,0	C2-S2
FQ077	9,972	584,0	C2-S2
FQ078	5,871	511,0	C2-S1

FQ079	4,530	424,0	C2-S1
FQ080	4,183	429,0	C2-S1
FQ081	3,369	424,0	C2-S1
FQ082	3,962	457,0	C2-S1
FQ083	8,621	586,0	C2-S2
FQ084	7,409	475,0	C2-S1
FQ085	8,170	614,0	C2-S2
FQ086	13,079	467,0	C2-S2
FQ087	12,037	568,0	C2-S2
FQ088	7,345	585,0	C2-S1
FQ089	2,327	555,0	C2-S1
FQ090	10,624	641,0	C2-S2
FQ091	16,058	1311,0	C3-S3
FQ092	13,880	614,0	C2-S2
FQ093	9,737	541,0	C2-S2

7. CONCLUSIONES

- La evaluación realizada de las características microbiológicas y fisicoquímicas de los pozos o aljibes ubicados en las zonas rurales de los municipios de La Paz y San Diego, evidenció que en todos los puntos de muestreo los parámetros estudiados sobrepasan los rangos normales aptos para que el agua pueda ser utilizada por la población de estos municipios para consumo humano (contacto primario, baño y como alimento); en cambio se encontró que un 4.3% del total de los pozos presentan agua apta para riego, un 76.3% puede ser utilizada para riego pero su utilización implica ciertos riesgos como aumento en la salinización de los terrenos regados, disminución de la permeabilidad del suelo y disminución de la productividad del cultivo, y un 12.9% muestran agua no apta para actividades de riego y pastoreo.
- La detección de *Pseudomona aeruginosa* en el 83.8% de los pozos artesianos muestreados, indica que estos se están viendo sometidos a contaminación de origen fecal, una de las razones de que estas aguas están contaminadas por este microorganismo es que existen letrinas o pozas sépticas cerca de los aljibes lo que hace que los lixiviados de estos estén en contacto con los acuíferos. La presencia de este *P. aeruginosa* limita el uso de estas aguas para diversos usos.
- Se identificaron quistes *Giardia sp*, *Entamoeba coli*, *Balantidium coli*, *Entamoeba histolytica*, *Cryptosporidium sp*; siendo el mas abundante *Giardia sp* con un 46.1%, y el menos abundante *B. coli* con 8.9%. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas, puesto que como parásitos se reproducen fácilmente e infectan directamente al hombre o al ser ingeridos, generando así complicaciones graves de salud.
- Los resultados de los análisis fisicoquímicos de las 93 muestras de pozo en toda la región, mostraron diferentes problemas asociados a la calidad de agua, entre ellos, problemas de contaminación representados por el elevado contenido de nitratos y nitritos. El exceso en el contenido de sales totales como cloruros, sodio, magnesio, asociados con alta salinidad y conductividad encontrados en algunas zonas, pueden complicar la salud de animales jóvenes y afectar la asimilación de otros nutrientes, además de limitar su uso en la agricultura por parte de los pobladores, en las actividades de riego para cultivos de tubérculos y pastoreo.

- De acuerdo a los Decreto 1575/2007 y la Resolución 2115/2007 todas las muestras analizadas resultaron ser no aptas para el consumo humano, principalmente desde el punto de vista microbiológico y fisicoquímico.
- La calidad del agua de los pozos muestreados se encuentra alterada de acuerdo a los resultados descritos en este estudio, además la influencia de las inadecuadas condiciones de higiene del pozo, suciedad en el interior, algas, vectores, objetos extraños, transformándose de tal forma en focos infecciosos para la proliferación de microorganismos, representando riesgos potenciales para la salud.
- La utilización del sistema es muy útil al momento de realizar estudios hidrogeológicos que incluyan estudios ambientales, caracterización geología de fuentes de agua, así como para el procesamiento de la información al detallar mediante la generación de mapas de modelamiento geográfico, los cuales presentan los valores de los parámetros analizados en toda el área de estudio.

8. RECOMENDACIONES

- En posteriores estudios ampliar los puntos de muestreo con el fin de abarcar un área mucho más grande en el departamento del Cesar, esto con el fin de conocer como varía la distribución espacio-temporal de la calidad del agua en otros municipios de Valledupar, cuya población utiliza esta agua en diferentes actividades.
- Realizar estudios de monitoreo con base a las estaciones climatológicas, ya que la composición de estas aguas varían por las infiltraciones de las lluvias.
- Efectuar análisis de posible generación de gases tóxicos como metano, butano que puedan ser producidos bajo condiciones de anaerobiosis y contaminación orgánica, las cuales poseen muchos pozos.
- Realizar determinaciones de algas, ya que muchas de estas tiene implicaciones tanto a nivel ambiental como de salud por dificultar el proceso de potabilización, producir metabolitos tóxicos e influir en el deterioro de la calidad del agua.
- Es importante implementar sistemas de monitoreo, para controlar el grado de contaminación que puedan estar sufriendo los pozos debido a la influencia que ejerce las fosas sépticas cercanas y escorrentía de agroquímicos, ya que estas aguas al ser estancadas y poseer poco oxígeno no se autodepuran fácilmente.
- Realizar campañas preventivas en los sectores rurales de los municipios de La Paz y San Diego, con el fin de comunicar a la población residente, de la contaminación de las aguas subterráneas y del riesgo que implica el consumo de esta.

BIBLIOGRAFÍA

AVERY B., LEMLEY A., HORNSBY A., 2003. Food and agricultural sciences (UF/UFAS) for the people of the state of Florida. University of Florida. Estados Unidos.

ARCGIS 9 2006. Using ArcGis Desktop. Manual Del Software ArcView. Ed. ESRI. Estados Unidos. ISBN-13: 978-1-58948-167-1.

ARIAS, A., MORALES, C. 2002 Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar, memoria explicativa. República de Colombia. Ministerio de minas y energía. Instituto de investigación geocientífica, minero ambiental y nuclear. Santa Fe de Bogotá.

BASTIDAS, M. MORENO, W. DURAN, T. 2005. Caracterización hidrogeoquímica en el laboratorio de resultados respectivos dentro del marco del proyecto: Evaluación del potencial de aguas subterráneas para riego de los sistemas acuíferos del cono aluvial y la llanura aluvial del municipio de Valledupar. Convenio CORPOCESAR-UPC. Valledupar, Colombia.

BRASSINGTON, R., 2000. Alumbramiento de aguas. Guía para la construcción y mantenimiento de suministros de aguas privadas. Ed. Acribia S.A.

CAMPOS. C., CÁRDENAS, M., GUERRERO, A., 2002. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de agua de la sabana de Bogotá (Colombia). Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales. Departamento de microbiología. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

CANDELA L. Contaminación de las aguas subterráneas: tipo doméstico e industrial. 2002. En: http://aguas.igme.es/igme/publica/lib108/pdf/lib108/in_n7.pdf

CUÉLLAR, N. DUARTE, R. 2001 Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador Tendencias y desafíos para la gestión territorial. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente (PRISMA). Informe sobre el desarrollo humano sostenible. El Salvador, Nicaragua., Cáp. 44.

DE LUCA L., ZAMORA A. y FOLABELLA A. Bacterias indicadoras de riesgo sanitario aportadas por el riego frente a la supresividad edáfica. 2006. En <http://www.prodti.us.es/congreso/carteles/DELUCA.pdf>

DELGADO, A. POLANCO, A. PRIETO, S. AMICH, S. SALVE, M. 2001 Manual de laboratorio clínico básico. Microbiología. Parasitología Clínica. Mac Graw Hill, editores. España.

FRAGOZO, Pedro. 2007. Evaluación Hidrogeoquímica del agua subterránea en los municipios de Bosconia, Copey, Valledupar, La Paz y San diego ecorregion del valle del Rio Cesar.

GALINDO, E., DEL POZO, M., DIAZ, J. A., CASTAÑO, S., MARTÍ, B., GUERRA, J.L. 2000. Caracterización geoquímica del agua subterránea en la zona este de gran canaria.

GOMEZ, A., CAPACHERO, C. 2008 Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación en el departamento del cesar, aplicando la metodología Drastic.

HIRATA, R., REBOUCAS, A., 2001. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. Sao Paulo, Brasil.

HERRERA I., QUINTERO D. 2008. Microbiología de aguas subterráneas en la región sur del municipio de Valledupar-Cesar. Trabajo de Grado. Departamento de Microbiología. Universidad Popular del Cesar.

GLYNN J., HENRY, GARY W. HEINKE, 2000. Ingeniería Ambiental. Aguas subterráneas. Editorial Prentice Hall, México, D. F

KEMMER, FRANK N., McCALLION, JHON, 1999. Manual de aguas subterráneas, tratamiento y aplicaciones. Depósitos de aguas subterráneas. Ed. Mc Graw Hill. Nalco Chemical Company.

KIELY, GERALD. 2003. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestion. Editorial Mc Graw Hill.

LANZ, K. 1997. El libro del agua. Ed. Greenpace España. Temas de dibale SA. Madrid, España.

LEVINSON, W., JAWETZ, E. 1999. Microbiología e inmunología: autoevaluación y repaso. Editorial Manual Moderno S.A Segunda edición. México D.F

LURA, M., BELTRAMINO, D., ABRAMOVICH, B., CARRERA, E., HAYE, M., CONTINI, L. 2002 El agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales.

MARÍN GALVIN, RAFAEL. 2003. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de calidad en aguas. Editorial Díaz De santos. Madrid.

MONDACA, M. CAMPOS, V. 2004 El riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Concepción. Chile. Pág. 13.

OCAMPO. ESCOBEDO. 2005 Protección de aguas subterráneas. Conocimiento tradicional y estrategias campesinas para el manejo y conservación del agua de riego. Colegio de postgrado puebla, México.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. 2ª ed. Ginebra: OMS, 1995; 1: 179. 44.

ONTIVEROS M. Agentes patógenos transmitidos por el agua. 2009 En: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Tesis/Basic/Marchand_P_E/anteced.htm

PACHECO, J., CABRERA, A., PÉREZ, R., 2004 Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán. México

PAJARES, M. ORLANDO, E. 2000 Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

PAYERAS, Antoni. 2007. La calidad del agua de riego. Efectos de la calidad del agua de riego con relación a la absorción de esta por las raíces. En: www.miliarium.com/paginas/prontu/aguas/riego/htm

PELCZAR, MICHAEL J., REID, ROGER D., 1982 Microbiología, Algas y Protozoos Mc Graw Hill

POZZOLO, O. R., ROMERO, E.C., ZUFIAURRE, J.L. y DÍAZ, E.L. 2004. Caracterización de los sistemas de bombeo para el riego de arroz en la provincia de entre ríos, Argentina

PRIETO B., CARLOS J. 2004. El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Importancia del agua subterránea. ECOE ediciones.

RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F

RODIER, J.; GEOFFRAY, Ch.; KOVACSIK, G.; LAPORTE J.; PLISSER, M.; SCHAIDHAUER, J.; VERNEAUX, J.; VIAL, J.; 2002. Análisis de las aguas. Ed. Omega S.A. Barcelona.

ROMERO, J., 2002. Calidad del agua. Ed. Escuela colombiana de ingeniería. Colombia.

ROSSETTI, F., FARACE, M., CASTELLI, E., CURTI, L., FUNES, R., 1998. Estudio bacteriológico de aguas subterráneas de la provincia de Buenos Aires (1994-1998). INEI - ANLIS Carlos G. Malbrán. Capital Federal, Argentina.

SCHAECHTER, M. Ph.D, MEDOFIF, G., EISENSTEIN, B., GUERRA, H. 1994 Microbiología. Mecanismos de las enfermedades infecciosas. Enfoque mediante resolución de problemas. Editorial medica Panamericana. 2ª edición. Buenos aires, Argentina.

SCHLESINGER, WILLIAM H. 2000. Biogeoquímica. Ed. Ariel, S.A. 1ª edición. Barcelona, España

SUAREZ, J.G. 1986. Calidad del agua para riego. Manual de riego y drenaje. Programa manejo de aguas. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Bogotá D.C, Colombia.

SUTTON, D., HARMON, P., 1999. Fundamentos de ecología. Limusa Noriega Editores. G

TARBUCK, E., LUTGENS, F. 1999 Ciencias de la tierra, una introducción a la geología. Prentice Hall.

TEBBUTT, T. H. Y, 2001. Fundamentos de control de la calidad del agua. Limusa, editores. México, D. F

VARGAS, Nelson, 2004. Monitoreo de aguas subterráneas. Subdirección de hidrología IDEAM.

ZUNINO, M., ZULLINI, A., 2003. La diversión espacial de la evolución, Biogeografía, Fondo de cultura económica. México.

ANEXOS

ANEXO A: COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

PREDIO	LONGITUD	LATITUD	CÓDIGO DE LA MUESTRA
Porrilla	1077980	1609041	FQ-MB 001
La Palizaa	1080881	1610184	FQ-MB 002
Agropecuaria El Guaimaro	1078974	1610919	FQ-MB 003
San Rafael	1078904	1613891	FQ-MB 004
El Embudo	1087984	1617246	FQ-MB 005
San Martin	1086716	1614866	FQ-MB 006
Las Delicias	1078388	1615877	FQ-MB 007
Danabrise	1090138	1609276	FQ-MB 008
Nueba Idea	1094801	1608641	FQ-MB 009
Masahan	1094289	1610385	FQ-MB 010
Milan II	1094019	1611899	FQ-MB 011
La Providencia	1091780	1612890	FQ-MB 012
Villa Monica	1095720	1615346	FQ-MB 013
Nuevo Horizonte	1092229	1614373	FQ-MB 014
Los Guacimitos	1095722	1618199	FQ-MB 015
El Prado	1095023	1617166	FQ-MB 016
Hda La Giralda	1093938	1615692	FQ-MB 017
La Convencion	1090468	1615250	FQ-MB 018
El Medidor	1088461	1616072	FQ-MB 019
Guamachito	1084491	1618570	FQ-MB 020
Casa de Zinc	1083264	1616740	FQ-MB 021
San Benito	1083395	1618036	FQ-MB 022
Villa Lici	1085320	1617240	FQ-MB 023
Cotoprix	1085323	1616390	FQ-MB 024
Dona Tomasa	1085642	1619089	FQ-MB 025
El Cerrito	1087522	1618217	FQ-MB 026
Los Guaduos	1091288	1616199	FQ-MB 027
El Oriente	1090498	1617698	FQ-MB 028
El Oscuro	1089008	1619035	FQ-MB 029
Villa Geomar	1090386	1619465	FQ-MB 030
La Frontera	1087442	1620108	FQ-MB 031
La Frontera	1088848	1619913	FQ-MB 032

No hay como Dios	1087239	1621110	FQ-MB 033
Puente La Mina	1089876	1622460	FQ-MB 034
Casanare Sur	1088592	1622007	FQ-MB 035
El Centro	1088050	1622983	FQ-MB 036
Tiburcio	1087850	1624638	FQ-MB 037
Los Delirios	1090892	1624231	FQ-MB 038
La Ceibita	1091543	1625889	FQ-MB 039
Los Chaparros	1093175	1625915	FQ-MB 040
Los Angeles	1093177	1626748	FQ-MB 041
Maria Auxiliadora	1095452	1629875	FQ-MB 042
Pastelillo	1089966	1629015	FQ-MB 043
Pozo de la Bomba	1089970	1629620	FQ-MB 044
Las Palmas	1089827	1628484	FQ-MB 045
Siberia	1092674	1627528	FQ-MB 046
El Higuito	1093516	1628813	FQ-MB 047
Gag Ltda	1096860	1632336	FQ-MB 048
El Rosario	1095809	1627155	FQ-MB 049
El Limonar	1096079	1628852	FQ-MB 050
Brilla Lucero	1096965	1631025	FQ-MB 051
Las Marias	1097425	1631528	FQ-MB 052
El Tunal	1097058	1633097	FQ-MB 053
San Martin	1097225	1634242	FQ-MB 054
El Doral	1098576	1636638	FQ-MB 055
Villa Zamara	1098763	1637980	FQ-MB 056
Guadalajara	1095670	1633629	FQ-MB 057
La Sonora	1092942	1634181	FQ-MB 058
La Distraccion	1091535	1633694	FQ-MB 059
La Virginia	1092013	1632486	FQ-MB 060
El Ebano	1092466	1631243	FQ-MB 061
El Ebano	1093188	1631481	FQ-MB 062
La Maya	1094350	1632702	FQ-MB 063
La Varazon	1097715	1635915	FQ-MB 064
Yerbabuena	1095444	1634730	FQ-MB 065
Sam Miguel	1091789	1635471	FQ-MB 066
Las Animas	1093375	1634717	FQ-MB 067
Ojo de Agua	1093708	1635506	FQ-MB 068

La Ahoya	1094930	1636223	FQ-MB 069
Palmarito	1094192	1637270	FQ-MB 070
Limonar	1096241	1635708	FQ-MB 071
Xilena Maria	1097142	1635230	FQ-MB 072
El Manantial	1098757	1628853	FQ-MB 073
Manicomio	1098188	1632112	FQ-MB 074
Corubal	1098126	1638927	FQ-MB 075
La Cabana	1100870	1640154	FQ-MB 076
Dona Ramona	1101748	1641859	FQ-MB 077
La Granja	1104404	1641438	FQ-MB 078
Divino Nino	1101938	1645685	FQ-MB 079
La Esperanza	1101682	1643316	FQ-MB 080
Corral Negro	1101734	1644301	FQ-MB 081
Barrito Colorado	1099349	1642745	FQ-MB 082
El Progreso Los Mangos	1098822	1644715	FQ-MB 083
America	1098197	1646475	FQ-MB 084
El Manantial	1099853	1647199	FQ-MB 085
La Curubita	1098139	1647657	FQ-MB 086
Tasajera	1098859	1645682	FQ-MB 087
Dona Rosa	1099237	1643658	FQ-MB 088
La Colonia	1097367	1644895	FQ-MB 089
Agroverde_Abonos Organico	1096365	1640458	FQ-MB 090
Palmarito	1095718	1639420	FQ-MB 091
El Porvenir	1094423	1638806	FQ-MB 092
El Corralito			FQ-MB 093

Anexo B: Fotografías de los Puntos de Muestreo (Aljibes o pozos)

Las fotografías presentadas a continuación corresponden a algunos de los aljibes de los cuales se tomaron las muestras. (Fotos: Castillo 2009)

Finca: Porrilla



Finca: La Palizá



Finca: El Guáimaro



Finca: San Rafael



Finca: El Embudo



Finca: San Martin



Finca: Las Delicias



Finca: Milán



Finca: María Auxiliadora



Finca: Las Marías



Finca: Villa Zamora



Finca: Palmarito



Finca: La Granja



Finca: El Corral Negro



Anexo C: Técnica de Filtración por Membrana

La técnica de filtración por membrana consta de los siguientes elementos:

Un depósito cilíndrico o cónico, de vidrio o más corrientemente de acero inoxidable, con capacidad de 50 a 100ml, marcado en su interior con los volúmenes dados.

Un soporte metálico que forma una especie de cubeta cónica cuyo borde superior lleva en su cara interna una hendidura destinada a recibir una placa porosa; la cara superior de esta placa y el borde superior de la cubeta componen una superficie circular plana (generalmente de 50mm de diámetro) destinada a soportar una membrana filtrante del mismo diámetro. La parte inferior de la cubeta queda prolongada por un tubo hueco, provisto de una llave de paso, que permite una aspiración por trompa de vacío y la evacuación del líquido filtrado.

Un dispositivo formado por dos piezas precedentes, variable según el modelo del aparato (abrazadera de presión, pinza inmóvil, entre otras) que permite fijar fuertemente el depósito sobre la cara superior del soporte metálico, recubierto con la membrana, evitando toda fuga del líquido contenido en el depósito. (Fig. 32)

Un material de unión que soporta el conjunto de este aparato de filtración uniéndolo a un dispositivo de obtención de vacío. En su versión más simple, consiste en un matraz con desprendimiento lateral de vidrio, unida a una trampa de agua o a una bomba de vacío por medio de un frasco de seguridad, provisto de un manómetro (Fig. 33). El equipo descrito anteriormente puede esterilizarse en autoclave.

Las membrana filtrantes utilizadas están formadas por nitrocelulosa, el diámetro de los poros utilizado fue de 0.45 micras, dichas membranas no ceden ningún tipo de sustancia inhibidora al medio de cultivo y están estériles y en empaques individuales (Rodier *et al.* 2002). Luego de filtrar la muestra, la membrana se pone sobre el medio de cultivo y se incuba a una temperatura de 35 grados centígrados durante 48 horas.

AGAR CETRIMIDE: Es un medio de cultivo selectivo que posee CETRIMIDE: cetiltrimetilaminobromuro, compuesto que inhibe la flora acompañante. *Pseudomona aeruginosa*, produce dos tipos de pigmentos útiles en el laboratorio: Piocianina, que puede colorear las colonias de azul (Fig. 34), y la PIOVERDINA, (fluorescencia), pigmento amarillo verdoso que fluoresce bajo la luz UV (Fig. 35), propiedad que puede usarse en la identificación temprana; en el laboratorio estos colores se difunden en la placa de agar, impartiendo un color azul verdoso útil para su identificación, teniendo en cuenta que *Pseudomona aeruginosa* es la única especie que sintetiza piocianina.

Fig. 32 Depósito y soporte de la membrana



Fig. 33 Dispositivo de obtención de vacío



Fig. 34 Producción de piocianina

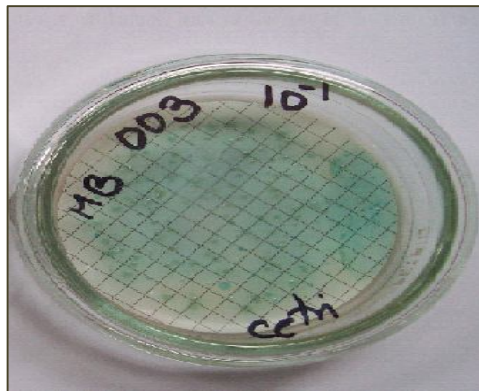
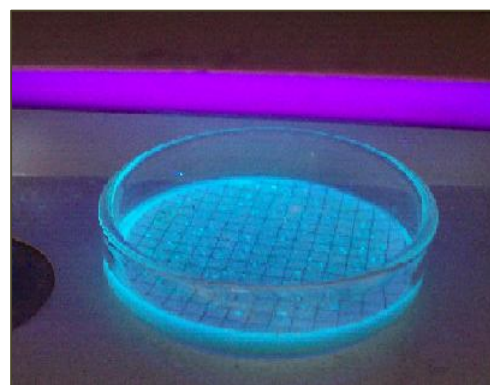


Fig. 35 Producción de pioverdina



Fotos: Vence 2009

Anexo D: Técnica de Flotación por Centrifugación con Sulfato de Zinc Modificada

La técnica modificada, es una adaptación del método propuesto por la APHA, 1985, para la determinación de parásitos en agua. Este método es efectivo para la concentración de quistes de protozoos.

La modificación de la técnica radica, en que se implementó inicialmente la técnica de filtración por membrana. Se filtra un volumen de 1 L de la muestra obtenida, a través de un filtro de nitrocelulosa con diámetro de porosidad de 0.45 micras y se realiza la filtración por membrana (a), quedando retenidos los quistes en el filtro.

Posteriormente, se toma el sedimento de la muestra, (todo el contenido retenido en los filtros), se le adiciona sulfato de zinc (ZnSO_4) al 33% (Densidad 1.8), cuya mezcla se homogeniza en tubos de ensayo de 5 ml, luego se llevó a centrifugación a 2400 rpm durante 5 minutos (b).

Por último se tomó la película superficial, colocándola sobre una lámina portaobjeto con lugol parasitológico, para facilitar su observación el microscopio óptico (40 x) (c y d), (Stándar Methods 2002).

Fig. 36 Procedimiento técnica Protozoos.

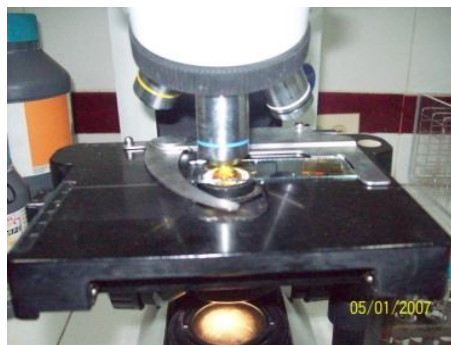
a) Filtración de la muestra



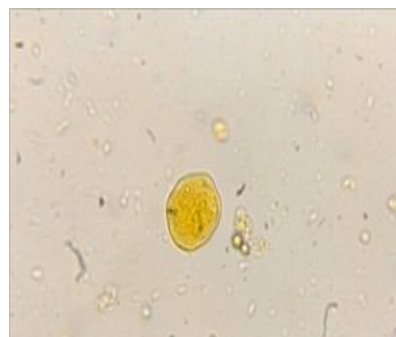
b) Centrifugación con ZnSO_4



c) Observación en objetivo de 40X



d) Quiste de *E. coli*



Fotos: Vence 2009

CONTROL POSITIVO

Para este proceso se utilizó la técnica anteriormente descrita. Se hicieron 4 controles para los cuales se tomó 1 litro de agua del grifo, se le agregó una porción de suelo mojado (lodo) y luego se contaminó con materia fecal infectada con quistes de *Giardia sp*, *B.coli*, *E. coli* y *E. histolytica*.

La observación microscópica corroboró la presencia de los protozoos en estudio, sin embargo no se descarta la posibilidad de que estos ya hubiesen sobrevenido del lodo, ya que la muestra de éste se tomó de una vía pública de la ciudad, en la cual la contaminación por parte de personas y animales es constante.

Para los 4 controles los resultados fueron positivos, sin embargo pudieron hallarse otras estructuras de origen fecal como huevos de helmintos, lo que confirma la confiabilidad de la técnica.

CONTROL NEGATIVO

El control negativo hace referencia al mismo procedimiento anterior, utilizando los mismos componentes, a diferencia de que la muestra no se contamina. El resultado para ese proceso, sorprende con la presencia de quistes y trofozoitos de *Giardia sp*, lo cual confirma aun más la utilización de la técnica anteriormente descrita, y comprueba la sensibilidad a la contaminación por parte de este tipo de parásitos.

Anexo E: Técnica de Análisis Fisicoquímicos Realizados

Los parámetros como pH, conductividad, temperatura y salinidad se determinaron en campo, de forma simultánea a la toma de muestras para análisis químicos, bacteriológico, según la metodología establecida en el **Standard Methods, 1992**. Los parámetros de determinación in situ se realizó con un equipo multiparámetro WTW 350i/set 2F40-114BOE. Para el caso del análisis de las muestras, se conservaron acidulando con 1.0 ml ácido sulfúrico al 0.02 N y refrigeradas hasta su análisis. En el laboratorio se refrigeró con el fin de evitar el cambio de volumen por posibles procesos de evaporación.

Las muestra para los parámetros como alcalinidad, dureza, sólidos, cloruros, (fig. 9), turbiedad, nutrientes (amonio y nitrato) (fig. 10 y 11) y metales (sodio y potasio) se refrigeraron hasta su análisis en laboratorio. Los análisis de los metales potasio y sodio (fig.), se realizaron en el espectro fotómetro de absorción atómica con llama de acetileno. Hierro y manganeso se hicieron en espectro fotómetro GÉNESIS UV.

Fig. 9 Determinación de cloruros

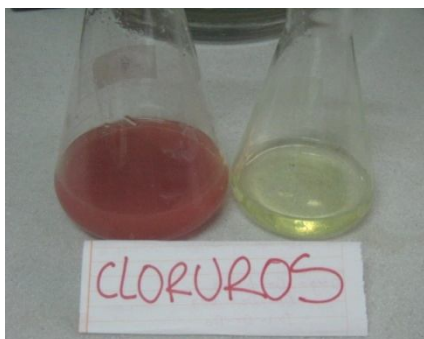


Fig. 10 Determinación de amonio



Fig. 11. Determinación de nitratos



Fig. 12. Determinación de sodio y potasio



Fotos:

Osorio

2009

Anexo F: Resultado de los análisis fisicoquímicos

CODIGO	T° C	PH	C.E. μs/cm	SDT mg/l	SAL	ACD mg/l	ALK mg/l	TURB ftu	Ca mg/l	C. REAL UPC	DUR T mg/l	Cl⁻ mg/l	Mg mg/l
FQ001	29,40	7,50	830,0	415,0	0,41	300,0	6,0	1,51	14,0	10,0	40,0	0,040	1,20
FQ002	30,20	8,20	5270,0	2630,0	2,83	100,0	4,0	4,54	12,0	20,0	35,0	0,600	1,20
FQ003	31,00	7,29	1645,0	823,0	0,83	500,0	4,0	1,01	18,0	10,0	75,0	0,125	7,20
FQ004	31,30	7,05	1740,0	870,0	0,88	500,0	6,0	1,78	42,0	0,0	130,0	0,281	6,00
FQ005	28,50	7,20	240,0	120,0	0,12	260,0	4,0	0,06	16,0	10,0	45,0	0,019	1,20
FQ006	29,50	6,93	448,0	224,0	0,22	600,0	4,0	1,17	10,0	10,0	25,0	0,012	0,00
FQ007	30,00	7,40	984,0	492,0	0,48	300,0	6,0	1,06	16,0	10,0	48,0	0,097	1,92
FQ008	31,40	7,36	1434,0	717,0	0,71	440,0	8,0	0,34	18,0	10,0	48,0	0,118	0,72
FQ009	28,20	7,12	543,0	271,0	0,26	360,0	4,0	0,35	14,0	20,0	35,0	0,012	0,00
FQ010	29,90	7,15	422,0	211,0	0,20	400,0	8,0	11,19	12,0	20,0	32,0	0,012	0,48
FQ011	29,80	6,99	416,0	208,0	0,20	420,0	2,0	0,08	8,0	10,0	23,0	0,009	0,72
FQ012	29,30	7,21	412,0	206,0	0,20	360,0	6,0	0,79	16,0	10,0	150,0	0,005	26,40
FQ013	29,80	7,09	454,0	227,0	0,22	700,0	8,0	0,00	15,2	0,0	45,0	0,005	1,68
FQ014	29,60	6,88	313,0	156,4	0,15	440,0	4,0	0,46	24,0	10,0	72,0	0,009	2,88
FQ015	27,80	6,95	249,0	124,3	0,12	640,0	6,0	8,96	9,2	10,0	65,0	0,005	10,08
FQ016	27,70	6,89	255,0	127,4	0,12	560,0	4,0	1,64	12,0	0,0	34,0	0,004	0,96
FQ017	28,90	6,88	287,0	143,5	0,14	700,0	2,0	1,48	10,0	10,0	33,0	0,014	1,92
FQ018	29,70	6,85	279,0	139,6	0,14	500,0	2,0	2,85	4,0	10,0	15,0	0,009	1,20
FQ019	29,60	6,87	317,0	158,6	0,15	500,0	2,0	0,27	4,8	10,0	20,0	0,016	1,92
FQ020	28,60	7,99	742,0	371,0	0,36	520,0	6,0	2,41	10,0	20,0	30,0	0,019	1,20
FQ021	30,30	7,41	653,0	326,0	0,32	600,0	6,0	1,48	14,0	10,0	40,0	0,016	1,20
FQ022	30,60	7,72	492,0	246,0	0,24	660,0	6,0	2,42	5,2	10,0	15,0	0,085	0,48

CODIGO	T° C	PH	C.E. μs/cm	SDT mg/l	SAL	ACD mg/l	ALK mg/l	TURB ftu	Ca mg/l	C. REAL UPC	DUR T mg/l	Cl⁻ mg/l	Mg mg/l
FQ023	30,50	7,07	434,0	217,0	0,21	500,0	6,0	1,09	8,0	10,0	25,0	0,012	1,20
FQ024	30,40	7,89	447,0	224,0	0,22	160,0	2,0	1,84	10,0	10,0	30,0	0,011	1,20
FQ025	29,40	7,40	956,0	478,0	0,47	360,0	10,0	1,88	14,0	20,0	70,0	0,033	8,40
FQ026	29,50	7,31	308,0	154,0	0,15	360,0	2,0	2,72	10,0	20,0	40,0	0,012	3,60
FQ027	28,80	7,03	221,0	110,3	0,11	300,0	2,0	23,30	14,0	20,0	43,0	0,085	1,92
FQ028	29,90	6,79	246,0	122,9	0,12	500,0	4,0	126,00	12,8	40,0	40,0	0,011	1,92
FQ029	30,20	7,03	500,0	250,0	0,24	300,0	2,0	0,55	16,8	10,0	65,0	0,026	5,52
FQ030	30,60	6,71	515,0	258,0	0,25	800,0	4,0	7,26	6,0	10,0	25,0	0,030	2,40
FQ031	31,50	6,94	386,0	192,8	0,19	600,0	44,0	1,31	8,0	10,0	25,0	0,012	1,20
FQ032	31,10	7,21	478,0	239,0	0,23	900,0	40,0	1,18	9,2	10,0	28,0	0,011	1,20
FQ033	30,80	7,02	446,0	223,0	0,22	500,0	54,0	2,03	10,0	10,0	30,0	0,012	1,20
FQ034	30,90	7,20	467,0	234,0	0,23	600,0	42,0	2,07	6,0	20,0	15,0	0,023	0,00
FQ035	30,90	6,93	451,0	225,0	0,22	600,0	54,0	1,58	8,0	0,0	60,0	0,012	9,60
FQ036	30,80	7,73	463,0	231,0	0,22	300,0	40,0	0,81	7,2	10,0	20,0	0,019	0,48
FQ037	30,20	7,88	655,0	328,0	0,32	300,0	50,0	3,65	8,0	10,0	25,0	0,051	1,20
FQ038	30,40	7,30	527,0	263,0	0,25	400,0	44,0	1,10	10,0	10,0	42,0	0,026	4,08
FQ039	31,70	7,07	1146,0	573,0	0,57	800,0	70,0	1,03	10,0	0,0	25,0	0,065	0,00
FQ040	29,30	7,67	1293,0	646,0	0,64	600,0	100,0	0,74	26,0	40,0	80,0	0,065	3,60
FQ041	30,10	7,44	458,0	229,0	0,22	600,0	40,0	1,32	10,0	10,0	30,0	0,016	1,20
FQ042	29,90	7,21	503,0	251,0	0,24	400,0	36,0	0,95	14,0	10,0	70,0	0,016	8,40
FQ043	29,70	7,34	866,0	433,0	0,42	540,0	50,0	2,47	24,0	20,0	110,0	0,083	12,00
FQ044	30,80	7,35	431,0	215,0	0,22	500,0	40,0	1,25	8,8	10,0	30,0	0,040	1,92
FQ045	29,40	6,93	483,0	242,0	0,23	500,0	50,0	1,57	10,0	10,0	55,0	0,019	7,20
FQ046	30,80	7,29	590,0	295,0	0,29	700,0	60,0	0,24	12,0	10,0	170,0	0,019	33,60
FQ047	31,20	7,09	513,0	257,0	0,25	500,0	60,0	0,00	15,2	10,0	45,0	0,023	1,68

CODIGO	T° C	PH	C.E. μs/cm	SDT mg/l	SAL	ACD mg/l	ALK mg/l	TURB ftu	Ca mg/l	C. REAL UPC	DUR T mg/l	Cl⁻ mg/l	Mg mg/l
FQ048	32,10	6,90	604,0	302,0	0,29	600,0	60,0	2,21	14,0	10,0	70,0	0,023	8,40
FQ049	30,80	6,95	505,0	252,0	0,24	400,0	50,0	1,76	20,0	10,0	130,0	0,019	19,20
FQ050	30,00	7,10	421,0	210,0	0,20	300,0	40,0	0,67	6,0	10,0	25,0	0,016	2,64
FQ051	29,70	6,95	684,0	342,0	0,33	800,0	60,0	1,49	14,0	10,0	70,0	0,030	8,40
FQ052	31,00	7,54	592,0	296,0	0,29	400,0	60,0	2,11	14,8	10,0	45,0	0,030	1,92
FQ053	30,00	6,84	317,0	158,5	0,15	400,0	30,0	0,49	7,2	10,0	20,0	0,051	0,48
FQ054	31,50	7,00	623,0	311,0	0,30	600,0	50,0	0,69	8,0	10,0	35,0	0,019	3,60
FQ055	28,90	7,07	384,0	192,1	0,19	300,0	36,0	1,25	8,0	10,0	20,0	0,085	0,00
FQ056	29,80	6,92	528,0	264,0	0,26	400,0	50,0	0,46	6,0	10,0	20,0	0,064	1,20
FQ057	30,90	6,94	514,0	257,0	0,25	300,0	50,0	0,00	10,0	10,0	30,0	0,014	1,20
FQ058	29,70	7,28	647,0	324,0	0,31	400,0	50,0	0,00	12,0	10,0	35,0	0,023	1,20
FQ059	30,90	7,02	1011,0	505,0	0,50	600,0	64,0	0,00	6,8	10,0	57,0	0,040	9,60
FQ060	30,50	6,95	1728,0	864,0	0,87	1000,0	60,0	0,11	13,6	0,0	168,0	0,260	32,16
FQ061	29,60	7,21	981,0	491,0	0,48	400,0	76,0	0,00	24,0	10,0	80,0	0,048	4,80
FQ062	31,40	7,08	858,0	429,0	0,42	400,0	80,0	0,22	11,2	10,0	28,0	0,035	3,12
FQ063	30,80	7,31	608,0	304,0	0,29	360,0	60,0	0,73	12,8	10,0	46,0	0,026	3,36
FQ064	28,90	6,95	387,0	193,7	0,19	300,0	40,0	0,79	10,0	10,0	25,0	0,085	1,20
FQ065	30,00	7,00	555,0	277,0	0,27	300,0	40,0	0,00	5,2	10,0	52,0	0,014	9,36
FQ066	29,80	8,04	783,0	392,0	0,38	360,0	60,0	0,29	7,2	40,0	85,0	0,048	16,08
FQ067	30,40	7,19	498,0	249,0	0,24	400,0	44,0	0,00	6,0	10,0	20,0	0,013	1,20
FQ068	30,10	7,42	510,0	255,0	0,25	400,0	54,0	0,00	10,0	0,0	32,0	0,012	1,68
FQ069	30,00	7,17	482,0	241,0	0,23	300,0	60,0	0,04	6,0	10,0	25,0	0,017	1,20
FQ070	31,20	7,44	403,0	201,0	0,19	300,0	40,0	0,06	10,0	10,0	35,0	0,012	2,40
FQ071	29,20	7,51	475,0	237,0	0,23	400,0	40,0	0,35	8,0	10,0	28,0	0,085	1,92
FQ072	29,20	6,94	455,0	228,0	0,22	400,0	40,0	0,42	6,0	10,0	33,0	0,071	4,32

CODIGO	T° C	PH	C.E. μs/cm	SDT mg/l	SAL	ACD mg/l	ALK mg/l	TURB ftu	Ca mg/l	C. REAL UPC	DUR T mg/l	Cl⁻ mg/l	Mg mg/l
FQ073	29,00	7,46	544,0	272,0	0,26	360,0	54,0	0,00	10,0	0,0	45,0	0,013	4,80
FQ074	30,90	7,07	807,0	403,0	0,39	660,0	56,0	1,01	10,0	0,0	65,0	0,035	9,60
FQ075	29,50	7,16	1436,0	718,0	0,72	440,0	60,0	0,83	16,0	40,0	50,0	0,011	2,40
FQ076	30,10	7,04	555,0	278,0	0,27	560,0	50,0	1,45	8,0	20,0	20,0	0,012	0,00
FQ077	30,80	7,18	584,0	298,0	0,28	560,0	60,0	0,00	5,2	0,0	20,0	0,014	1,68
FQ078	29,00	7,12	511,0	255,0	0,25	400,0	50,0	0,21	6,0	10,0	20,0	0,085	1,20
FQ079	27,50	7,00	424,0	212,0	0,20	640,0	40,0	0,00	10,0	10,0	30,0	0,012	1,20
FQ080	27,90	7,11	429,0	215,0	0,21	400,0	40,0	0,65	12,0	10,0	30,0	0,085	0,00
FQ081	28,00	7,11	424,0	212,0	0,20	400,0	42,0	0,00	10,0	10,0	50,0	0,085	6,00
FQ082	28,00	7,13	457,0	228,0	0,22	600,0	44,0	0,34	8,0	10,0	25,0	0,050	1,20
FQ083	30,90	7,02	586,0	293,0	0,28	600,0	56,0	0,00	12,0	10,0	35,0	0,012	1,20
FQ084	30,10	7,10	475,0	237,0	0,23	600,0	52,0	0,27	8,0	10,0	20,0	0,012	0,00
FQ085	30,80	7,09	614,0	307,0	0,30	500,0	68,0	0,35	8,0	10,0	23,0	0,085	0,72
FQ086	30,50	7,21	467,0	233,0	0,23	300,0	72,0	0,51	8,0	20,0	25,0	0,012	1,20
FQ087	29,40	7,20	568,0	284,0	0,24	400,0	50,0	0,77	5,2	10,0	18,0	0,012	1,20
FQ088	29,30	7,00	585,0	292,0	0,28	500,0	60,0	0,14	5,6	10,0	25,0	0,099	2,64
FQ089	30,10	6,99	555,0	278,0	0,27	700,0	60,0	6,37	16,8	40,0	180,0	0,011	33,12
FQ090	30,20	7,20	641,0	320,0	0,31	700,0	56,0	0,52	8,0	20,0	40,0	0,019	4,80
FQ091	31,50	7,27	1311,0	656,0	0,65	640,0	114,0	0,11	12,0	20,0	37,0	0,070	1,68
FQ092	30,00	7,27	614,0	307,0	0,30	500,0	56,0	0,90	10,0	10,0	25,0	0,016	0,00
FQ093	29,60	7,24	541,0	270,0	0,26	340,0	52,0	1,01	6,0	10,0	38,0	0,013	5,52

CODIGO	NO₃⁻ mg/l	NO₂⁻ mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Na mg/l	SS mg/l	SD mg/l	ST mg/l	K mg/l	D Mg mg/l	D Ca mg/l	C Ap UPC	NH₃ mg/l
FQ001	5,338	0,691	33,556	0,014	34,125	0,100	320,00	120,00	0,882	5,0	35,0	10,0	1,773
FQ002	7,618	3,088	33,222	0,020	41,010	0,350	40,00	160,00	6,135	5,0	30,0	20,0	2,033
FQ003	52,206	0,912	26,667	0,011	41,107	0,150	340,00	620,00	0,658	30,0	45,0	10,0	1,784
FQ004	128,824	2,529	35,000	0,019	38,217	0,070	900,00	320,00	0,804	25,0	105,0	10,0	1,903
FQ005	0,662	0,647	39,556	0,019	1,433	0,050	2,00	20,00	0,779	5,0	40,0	20,0	1,251
FQ006	0,956	0,500	18,111	0,018	25,142	0,450	4,20	22,00	0,702	0,0	25,0	10,0	1,299
FQ007	0,613	0,529	28,222	0,020	20,424	0,100	8,00	20,00	0,694	8,0	40,0	10,0	1,299
FQ008	9,809	0,603	24,222	0,021	21,687	0,050	20,00	10,00	0,682	3,0	45,0	10,0	1,156
FQ009	3,235	1,588	19,222	0,018	23,383	0,050	200,00	4,40	1,489	0,0	35,0	10,0	5,825
FQ010	7,426	0,794	5,556	0,017	23,809	0,050	6,80	2,20	1,005	2,0	30,0	60,0	1,287
FQ011	13,691	0,662	8,222	0,018	41,103	0,050	20,00	4,80	0,710	3,0	20,0	10,0	1,322
FQ012	39,324	1,441	12,000	0,017	38,999	0,350	6,40	7,00	0,874	110,0	40,0	10,0	1,322
FQ013	9,647	1,338	5,111	0,018	18,784	0,350	6,80	24,80	0,769	7,0	38,0	10,0	1,275
FQ014	7,882	1,353	9,111	0,018	4,057	0,300	1,20	4,00	0,743	12,0	60,0	20,0	1,239
FQ015	6,103	1,294	4,333	0,019	10,612	0,330	4,20	2,00	0,910	42,0	23,0	10,0	1,204
FQ016	4,750	1,309	8,333	0,019	10,237	0,350	3,40	2,40	0,856	4,0	30,0	10,0	0,659
FQ017	4,279	1,324	8,778	0,018	12,661	0,350	4,80	8,20	1,229	8,0	25,0	10,0	1,441
FQ018	4,529	1,279	8,222	0,018	13,551	0,300	4,80	3,80	0,939	5,0	10,0	10,0	0,528
FQ019	5,779	1,324	11,556	0,018	15,275	0,350	3,40	4,60	0,567	8,0	12,0	10,0	0,682
FQ020	3,044	0,618	21,889	0,018	29,679	0,380	9,00	8,20	0,835	5,0	25,0	10,0	0,576
FQ021	5,132	0,632	30,556	0,015	33,543	0,340	1,60	9,20	0,650	5,0	35,0	10,0	0,611
FQ022	2,088	0,618	10,000	0,017	30,147	0,300	8,40	6,40	0,677	2,0	13,0	10,0	0,517
FQ023	1,824	0,515	21,778	0,017	22,344	0,050	3,80	2,21	0,648	5,0	20,0	10,0	0,552
FQ024	0,956	0,515	14,889	0,017	31,527	0,025	3,80	5,00	1,067	5,0	25,0	10,0	0,588

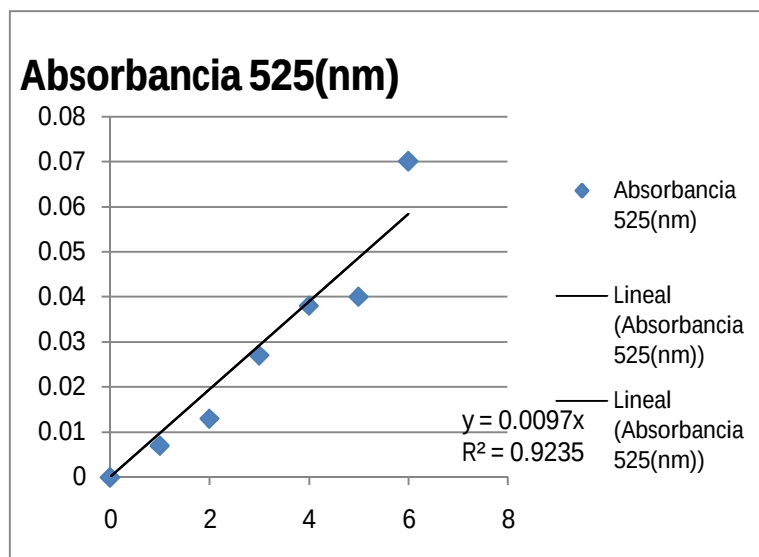
CODIGO	NO₃⁻ mg/l	NO₂⁻ mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Na mg/l	SS mg/l	SD mg/l	ST mg/l	K mg/l	D Mg mg/l	D Ca mg/l	C Ap UPC	NH₃ mg/l
FQ025	0,706	0,324	19,222	0,018	37,009	0,045	8,60	8,80	1,063	35,0	35,0	20,0	0,754
FQ026	0,838	0,441	22,000	0,019	15,276	0,025	3,60	3,10	0,897	15,0	25,0	20,0	11,002
FQ027	3,485	0,515	6,667	0,016	11,974	0,065	2,80	2,80	0,770	8,0	25,0	20,0	1,168
FQ028	5,235	0,279	7,333	0,036	12,106	0,140	2,80	2,40	0,799	8,0	32,0	40,0	0,765
FQ029	16,279	0,471	16,333	0,017	30,560	0,025	5,20	5,20	5,535	23,0	42,0	10,0	0,517
FQ030	8,926	0,515	23,111	0,017	25,749	0,045	4,60	4,60	0,861	10,0	15,0	20,0	0,493
FQ031	1,838	0,456	10,889	0,018	23,616	0,020	0,40	0,80	0,789	5,0	20,0	10,0	0,517
FQ032	1,956	0,471	10,444	0,016	30,505	0,025	4,60	3,20	0,669	5,0	23,0	10,0	0,659
FQ033	8,132	0,456	9,889	0,018	26,000	0,065	5,00	5,00	0,740	5,0	25,0	20,0	0,505
FQ034	0,750	0,221	13,111	0,015	27,691	0,020	4,40	5,20	1,020	0,0	15,0	20,0	0,576
FQ035	10,985	0,941	20,667	0,016	26,719	0,045	5,40	4,50	0,887	40,0	20,0	0,0	0,718
FQ036	2,765	0,618	24,889	0,017	25,240	0,020	4,20	3,40	0,799	2,0	18,0	10,0	0,528
FQ037	7,882	2,074	28,667	0,016	35,124	0,025	5,40	4,50	0,559	5,0	20,0	10,0	22,009
FQ038	10,809	0,221	27,333	0,017	27,863	0,010	4,20	4,20	0,885	17,0	25,0	10,0	0,943
FQ039	25,132	0,309	28,333	0,018	35,807	0,030	9,00	8,80	0,658	0,0	25,0	0,0	0,552
FQ040	20,324	1,368	24,889	0,019	33,588	0,025	9,80	4,20	4,974	15,0	65,0	40,0	0,777
FQ041	28,735	0,191	23,667	0,018	28,116	0,010	4,40	4,20	0,819	5,0	25,0	10,0	0,505
FQ042	4,397	0,221	16,333	0,018	17,604	0,085	4,20	3,40	0,988	35,0	35,0	10,0	0,552
FQ043	1,691	0,882	33,556	0,021	32,772	0,040	11,40	7,20	2,109	50,0	60,0	20,0	1,453
FQ044	5,294	0,706	33,778	0,019	26,170	0,045	5,94	6,20	0,836	8,0	22,0	10,0	7,175
FQ045	15,603	0,691	34,778	0,018	27,172	0,075	6,82	6,80	1,511	30,0	25,0	20,0	1,512
FQ046	33,015	0,691	39,778	0,019	23,884	0,003	6,00	6,60	0,760	140,0	30,0	10,0	1,073
FQ047	35,044	0,809	51,444	0,020	26,914	0,025	6,60	5,20	0,854	7,0	38,0	10,0	0,991
FQ048	34,603	0,647	29,333	0,020	23,145	0,020	6,60	6,80	0,895	35,0	35,0	10,0	1,085
FQ049	35,088	0,721	29,444	0,019	25,460	0,010	1,00	4,20	1,008	80,0	50,0	10,0	1,168

CODIGO	NO₃⁻ mg/l	NO₂⁻ mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Na mg/l	SS mg/l	SD mg/l	ST mg/l	K mg/l	D Mg mg/l	D Ca mg/l	C Ap UPC	NH₃ mg/l
FQ050	28,956	0,750	26,222	0,019	24,210	0,040	5,80	5,40	0,775	11,0	14,0	10,0	1,204
FQ051	45,794	0,735	29,000	0,020	28,755	0,035	4,60	4,52	0,965	35,0	35,0	10,0	0,991
FQ052	22,397	0,838	19,000	0,020	27,182	0,040	4,94	4,08	1,657	8,0	37,0	40,0	1,145
FQ053	30,500	0,676	10,333	0,017	19,403	0,070	2,80	2,34	1,072	2,0	18,0	10,0	1,014
FQ054	32,735	0,691	10,889	0,017	23,407	0,030	4,20	3,14	0,911	15,0	20,0	10,0	0,991
FQ055	56,485	0,618	8,889	0,018	9,815	0,040	2,40	2,46	0,754	0,0	20,0	10,0	1,204
FQ056	29,441	0,618	12,778	0,017	13,921	0,030	3,60	2,58	0,914	5,0	15,0	10,0	1,109
FQ057	25,735	0,676	29,222	0,017	23,030	0,030	3,80	3,08	0,767	5,0	25,0	10,0	0,825
FQ058	86,926	0,618	35,556	0,016	24,703	0,040	4,40	3,68	0,619	5,0	30,0	10,0	1,038
FQ059	28,853	0,618	39,667	0,016	34,837	0,040	1,60	7,20	0,611	40,0	17,0	10,0	0,872
FQ060	91,118	0,662	35,222	0,018	37,708	0,080	14,00	12,90	0,573	134,0	34,0	0,0	0,884
FQ061	84,368	0,735	38,000	0,017	36,999	0,055	7,40	6,84	0,557	20,0	60,0	10,0	0,872
FQ062	32,088	0,676	35,000	0,016	34,489	0,040	6,40	5,90	0,612	13,0	15,0	10,0	0,825
FQ063	30,324	0,632	42,111	0,019	27,886	0,010	5,18	5,00	1,492	14,0	32,0	10,0	0,765
FQ064	35,221	0,603	30,778	0,017	11,214	0,030	2,70	2,74	0,882	5,0	20,0	10,0	0,801
FQ065	3,544	0,559	18,111	0,019	17,352	0,020	3,60	3,96	0,724	39,0	13,0	10,0	0,848
FQ066	13,147	0,662	40,889	0,020	29,230	0,070	5,80	5,62	1,809	67,0	18,0	40,0	23,064
FQ067	15,441	1,221	32,889	0,019	20,009	0,100	3,80	3,80	0,678	5,0	15,0	10,0	1,204
FQ068	18,456	0,691	42,000	0,018	27,658	0,020	2,60	3,42	0,739	7,0	25,0	0,0	1,358
FQ069	11,529	0,941	36,111	0,136	20,746	0,095	4,06	4,20	0,891	5,0	15,0	10,0	1,417
FQ070	17,647	0,897	42,444	0,018	24,148	0,045	3,04	3,32	1,358	10,0	25,0	20,0	1,642
FQ071	26,000	0,824	8,667	0,018	11,761	0,065	2,98	3,08	1,116	8,0	20,0	10,0	0,754
FQ072	26,029	0,809	15,778	0,018	11,925	0,030	3,06	3,00	0,809	18,0	15,0	10,0	1,370
FQ073	18,779	0,853	27,444	0,019	23,295	0,030	3,70	3,40	0,879	20,0	25,0	0,0	0,813
FQ074	9,838	0,956	44,889	0,020	29,428	0,015	5,18	5,40	0,929	40,0	25,0	0,0	1,405

CODIGO	NO₃⁻ mg/l	NO₂⁻ mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	Na mg/l	SS mg/l	SD mg/l	ST mg/l	K mg/l	D Mg mg/l	D Ca mg/l	C Ap UPC	NH₃ mg/l
FQ075	16,074	0,882	37,667	0,020	23,529	0,035	3,98	3,90	1,202	10,0	40,0	40,0	12,910
FQ076	12,529	0,838	21,222	0,018	19,278	0,065	4,50	3,76	1,000	0,0	20,0	60,0	1,761
FQ077	10,382	0,868	12,111	0,019	18,495	0,035	4,00	3,90	0,833	7,0	13,0	10,0	1,346
FQ078	6,809	0,838	10,667	0,019	11,140	0,015	3,96	2,90	1,442	5,0	15,0	10,0	1,168
FQ079	10,324	0,515	8,444	0,018	10,721	0,030	4,34	4,60	6,955	5,0	25,0	10,0	1,014
FQ080	8,765	0,456	10,000	0,018	10,246	0,020	3,80	4,12	0,915	0,0	30,0	10,0	0,754
FQ081	7,382	0,456	9,333	0,019	9,530	0,015	4,00	4,18	1,167	25,0	25,0	10,0	0,825
FQ082	12,559	0,441	5,222	0,017	8,497	0,025	3,90	4,62	0,855	5,0	20,0	10,0	0,848
FQ083	9,794	1,000	7,000	0,019	22,148	0,035	5,24	2,12	0,704	5,0	30,0	10,0	1,156
FQ084	6,735	0,529	15,333	0,018	14,817	0,015	4,88	5,00	0,729	0,0	20,0	20,0	0,801
FQ085	1,691	0,515	25,778	0,018	17,059	0,020	4,34	5,32	0,627	3,0	20,0	10,0	0,777
FQ086	2,515	0,559	30,778	0,018	28,052	0,040	6,00	6,20	1,478	5,0	20,0	20,0	0,860
FQ087	8,824	0,676	34,222	0,017	21,533	0,010	5,36	4,96	3,231	5,0	13,0	20,0	0,789
FQ088	15,765	0,574	3,667	0,019	14,910	0,010	5,02	5,60	1,103	11,0	14,0	10,0	0,836
FQ089	15,471	0,603	2,889	0,055	11,627	0,055	4,70	5,16	0,693	138,0	42,0	60,0	0,919
FQ090	20,971	0,721	15,000	0,018	26,878	0,015	5,38	5,64	0,695	20,0	20,0	20,0	0,919
FQ091	23,662	0,779	35,667	0,018	41,998	0,040	14,50	14,50	0,823	7,0	30,0	20,0	0,860
FQ092	29,088	0,662	27,333	0,017	31,037	0,035	20,40	6,50	0,882	0,0	25,0	10,0	0,789
FQ093	7,088	0,662	14,667	0,018	23,370	0,015	5,20	6,38	2,692	23,0	15,0	10,0	0,896

Anexo G: Curva de Calibración para Calcular la Concentración de Manganeseo

Curva de calibración de Manganeseo



Ecuación para calcular la concentración de Manganeseo

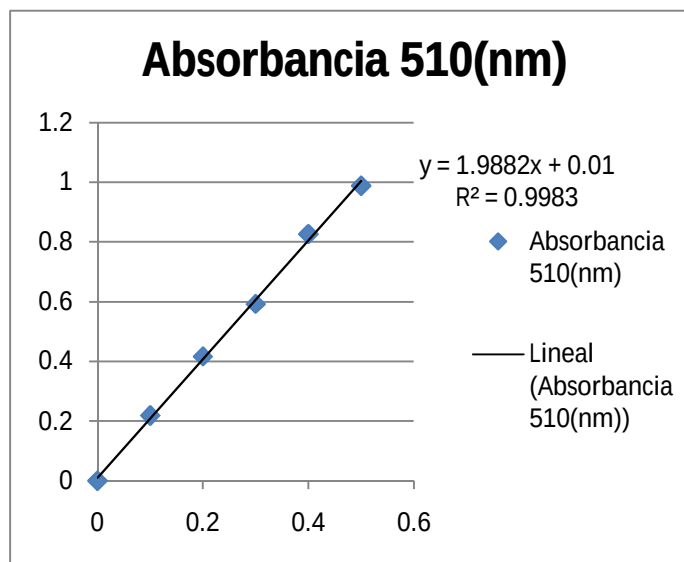
Nutriente	Ecuación	Despeje	m	b
Manganeseo(525 nm)	$y = 0,009x - 0,016$	$x = (y + 0,016) / 0,009$	0,009	0,016

Absorbancia de los patrones

Concentración	Absorbancia
Mn(UM)	525 (nm)
0	0
1	0,007
2	0,013
3	0,027
4	0,038
5	0,04
6	0,07

Anexo H: Curva de Calibración para Calcular la Concentración de Hierro

Curva de calibración de Hierro



Ecuación para calcular la concentración de Hierro

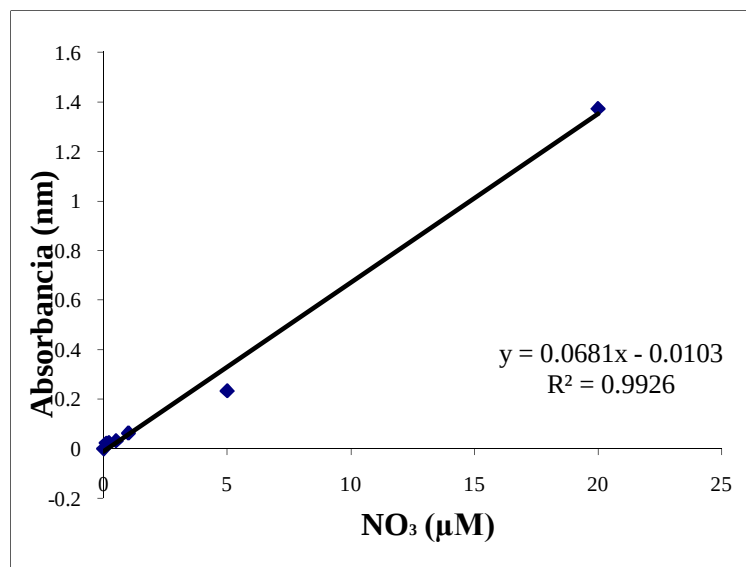
Nutriente	Ecuación	Despeje	m	b
Hierro(510 nm)	$y = 1,988x - 0,01$	$x = (y + 0,01) / 1,988$	1,988	0,01

Absorbancia de los patrones para Hierro

Concentración	Absorbancia
Fe(mg/L)	510(nm)
0	0
0,1	0,219
0,2	0,417
0,3	0,593
0,4	0,827
0,5	0,989

Anexo I: Curva de Calibración para calcular la Concentración de Nitrato

Curva de calibración para Nitratos



Ecuación para calcular la concentración de nitratos

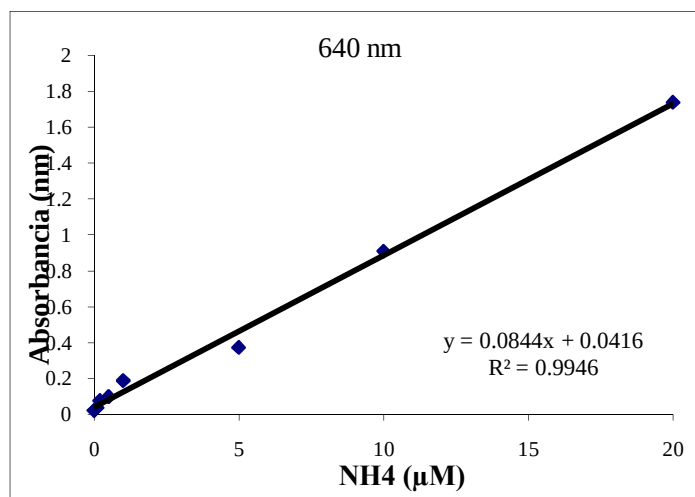
Nutriente	Ecuación	Despeje	m	B
Nitrato (543 nm)	$y = 0,068x - 0,010$	$x = (y + 0,010) / 0,068$	0,068	0,01

Absorbancia de los patrones para nitratos

Concentración	Absorbancia
$\text{NO}_3(\mu\text{M})$	543(nm)
0	0
0,1	0,023
0,2	0,026
0,5	0,032
1	0,063
5	0,234
20	1,374

Anexo J: Curva de Calibración para calcular la concentración de Amonio

Curva de calibración para Amonio



Ecuación para calcular la concentración de Amonio

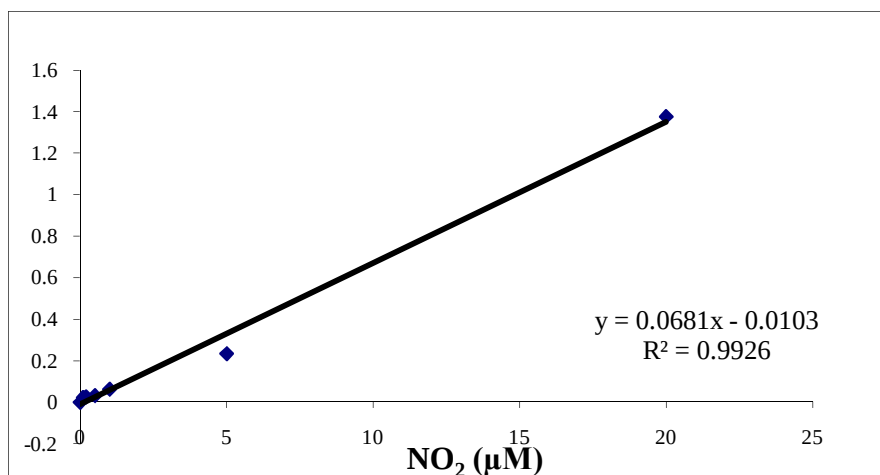
Nutriente	Ecuación	Despeje	m	b
Amonio(640 nm)	$y = 0,0844x - 0,0416$	$x = (y + 0,0416) / 0,0844$	0,0844	0,0416

Absorbancia de los patrones para amonio

Concentración NH4(μM)	Absorbancia 640(nm)
0	0,022
0,1	0,037
0,2	0,076
0,5	0,098
1	0,188
5	0,372
10	0,909
20	1,738

Anexo K: Curva de Calibración para calcular la Concentración de Nitritos

Curva de calibración para nitritos



Ecuación para calcular la concentración de nitritos

Nutriente	Ecuación	Despeje	m	b
Nitrito (543nm)	$y = 0,068x - 0,010$	$x = (y + 0,010) / 0,068$	0,068	0,01

Absorbancia de los patrones para nitritos

Concentración	Absorbancia
$\text{NO}_2(\mu\text{M})$	543(nm)
0	0
0,1	0,023
0,2	0,026
0,5	0,032
1	0,063
5	0,234
20	1,374

Anexo L: Resultados de la determinación de *P. aeruginosa*.

COD	NOMBRE	RESULTAD	COD	NOMBRE	RESULTAD	COD	NOMBRE PREDIO	RESULTADO
MB001	Porrilla	Presencia	MB017	Hda La Giralda	Presencia	MB033	No hay como Dios	Ausencia
MB002	La Palizaa	Presencia	MB018	La Convención	Presencia	MB034	Puente La Mina	Presencia
MB003	Agr El Guáimaro	Presencia	MB019	El Medidor	Presencia	MB035	Casanare Sur	Presencia
MB004	San Rafael	Presencia	MB020	Guamachito	Presencia	MB036	El Centro	Presencia
MB005	El Embudo	Presencia	MB021	Casa de Zinc	Presencia	MB037	Tiburcio	Presencia
MB006	San Martin	Presencia	MB022	San Benito	Presencia	MB038	Los Delirios	Presencia
MB007	Las Delicias	Presencia	MB023	Villa Lucy	Presencia	MB039	La Ceibita	Presencia
MB008	Danabrise	Presencia	MB024	Cotoprix	Presencia	MB040	Los Chaparros	Presencia
MB009	Nueva Idea	Presencia	MB025	Dona Tomasa	Presencia	MB041	Los Angeles	Presencia
MB010	Masahan	Presencia	MB026	El Cerrito	Presencia	MB042	María Auxiliadora	Presencia
MB011	Milán II	Presencia	MB027	Las Guaduas	Presencia	MB043	Pastelillo	Presencia
MB012	La Providencia	Presencia	MB028	El Oriente	Presencia	MB044	Pozo de la Bomba	Presencia
MB013	Villa Mónica	Presencia	MB029	El Oscuro	Presencia	MB045	Las Palmas	Ausencia
MB014	Nuevo Horizonte	Presencia	MB030	Villa Geomar	Presencia	MB046	Siberia	Presencia
MB015	Los Guacimitos	Presencia	MB031	La Frontera	Presencia	MB047	El Higuito	Presencia
MB016	El Prado	Presencia	MB032	La Frontera	Presencia	MB048	Gag Ltda.	Presencia

CÓD	NOMBRE	RESULTAD	CÓD	NOMBRE	RESULTAD	CÓD	NOMBRE PREDIO	RESULTADO
MB049	El Rosario	Presencia	MB065	Yerabuena	Presencia	MB081	La Esperanza	Ausencia
MB050	El Limonar	Presencia	MB066	San Miguel	Presencia	MB082	Corral Negro	Ausencia
MB051	Brilla Lucero	Presencia	MB067	Las Animas	Presencia	MB083	Barrito Colorado	Presencia
MB052	Las Marías	Presencia	MB068	Ojo de Agua	Presencia	MB084	El Progreso	Presencia
MB053	El Tunal	Presencia	MB069	La Ahoya	Presencia	MB085	América	Presencia
MB054	San Martin	Presencia	MB070	Palmarito	Presencia	MB086	El Manantial	Ausencia
MB055	El Doral	Presencia	MB071	Limonar	Presencia	MB087	La Curubita	Presencia
MB056	Villa Zamara	Presencia	MB072	Xilena María	Presencia	MB088	Tasajera	Presencia
MB057	Guadalajara	Presencia	MB073	El Manantial	Ausencia	MB089	Dona Rosa	Ausencia

MB058	La Sonora	Ausencia	MB074	Manicomio	Ausencia	MB090	La Colonia	Presencia
MB059	La Distracción	Presencia	MB075	El Corralito	Ausencia	MB091	Agroverde	Ausencia
MB060	La Virginia	Presencia	MB076	Corubal	Ausencia	MB092	Palmarito	Presencia
MB061	El Ébano	Presencia	MB077	La Cabana	Presencia	MB093	El Porvenir	Presencia
MB062	El Ébano II	Presencia	MB078	Dona Ramona	Ausencia			
MB063	La Maya	Presencia	MB079	La Granja	Ausencia			
MB064	La Varazón	Presencia	MB080	Divino Nino	Ausencia			

Anexo M: Resultados de la determinación e identificación de Protozoos.

COD	NOMBRE DEL	RESULTADOS	COD	NOMBRE DEL PREDIO	RESULTADOS
MB001	Porrilla	<i>Giardia sp, E. coli</i>	MB019	El Medidor	<i>B. coli, E. coli</i>
MB002	La Palizaa	<i>E. coli, Giardia sp</i>	MB020	Guamachito	<i>B. coli</i>
MB003	Agrop. El Guáimaro	<i>Giardia sp</i>	MB021	Casa de Zinc	<i>E. coli, Criptosporidium sp</i>
MB004	San Rafael	<i>E. histolytica</i>	MB022	San Benito	<i>E. coli, Criptosporidium sp</i>
MB005	El Embudo	<i>Gardia sp, E. histolytica</i>	MB023	Villa Lucy	<i>E. coli, Giardia sp, B. coli</i>
MB006	San Martin	<i>B.coli</i>	MB024	Cotoprix	<i>E. coli</i>
MB007	Las Delicias	<i>B. coli, E. coli</i>	MB025	Doña Tomasa	<i>E. coli, E. histolytica</i>
MB008	Danabrise	<i>E. coli, E. histolytica</i>	MB026	El Cerrito	<i>E. coli, Criptosporidium sp</i>
MB009	Nueva Idea	<i>E. coli, E. histolytica</i>	MB027	Las Guaduas	<i>Giardia sp, B. coli</i>
MB010	Masahan	<i>Giardia sp, E. histolytica</i>	MB028	El Oriente	<i>E. coli, E. histolytica</i>
MB011	Milán II	<i>Giardia sp, E. coli</i>	MB029	El Oscuro	<i>Giardia sp, Criptosporidium sp, E. histolytica</i>
MB012	La Providencia	<i>B.coli</i>	MB030	Villa Geomar	<i>Criptosporidium sp, E. coli</i>
MB013	Villa Mónica	<i>B. coli, E. coli</i>	MB031	La Frontera	<i>Criptosporidium sp</i>
MB014	Nuevo Horizonte	<i>Giardia sp</i>	MB032	La Frontera	<i>Criptosporidium sp</i>
MB015	Los Guacimitos	<i>Giardia sp, E. coli</i>	MB033	No hay como Dios	<i>Giardia sp</i>
MB016	El Prado	<i>Giardia sp, Criptosporidium sp.</i>	MB034	Puente La Mina	<i>Giardia sp</i>
MB017	Hda La Giralda	<i>Criptosporidium sp</i>	MB035	Casanare Sur	<i>Giardia sp, Criptosporidium sp</i>
MB018	La Convención	<i>E. coli, Criptosporidium sp, Giardia sp</i>	MB036	El Centro	<i>Giardia sp, E. histolytica</i>

COD	NOMBRE DEL	RESULTADOS	COD	NOMBRE DEL	RESULTADOS
MB039	La Ceibita	<i>Giardia sp</i>	MB060	La Virginia	<i>Giardia sp</i>
MB040	Los Chaparros	<i>Criptosporidium sp, E. coli</i>	MB061	El Ébano	<i>Giardia sp, Criptosporidium sp</i>
MB041	Los Ángeles	<i>B. coli, Giardia sp</i>	MB062	El Ébano II	<i>Giardia sp, E. coli</i>
MB042	María Auxiliadora	<i>Giardia sp, Criptosporidium sp, E. coli</i>	MB063	La Maya	<i>Giardia sp, E. coli</i>
MB043	Pastelillo	<i>Giardia sp</i>	MB064	La Varazón	<i>B. coli, Giardia sp</i>
MB044	Pozo de la Bomba	<i>B. coli</i>	MB065	Yerabuena	<i>Giardia sp</i>
MB045	Las Palmas	<i>E. coli, E. histolytica</i>	MB066	Sam Miguel	<i>Criptosporidium sp</i>

MB046	Siberia	<i>Giardia sp</i>	MB067	Las Animas	<i>Cryptosporidium sp</i>
MB047	El Higuito	<i>Giardia sp, Cryptosporidium sp</i>	MB068	Ojo de Agua	<i>E. histolytica</i>
MB048	GAG Ltda.	<i>Giardia sp, E. histolytica</i>	MB069	La Ahoya	<i>B. coli</i>
MB049	El Rosario	<i>Cryptosporidium sp</i>	MB070	Palmarito	<i>Giardia sp</i>
MB050	El Limonar	<i>E. coli, E. histolytica</i>	MB071	Limonar	<i>E. coli, E. histolytica</i>
MB051	Brilla Lucero	<i>E. coli</i>	MB072	Xilena María	<i>Giardia sp, Cryptosporidium sp</i>
MB052	Las Marías	<i>Cryptosporidium sp</i>	MB073	El Manantial	<i>B. coli, Giardia sp</i>
MB053	El Tunal	<i>Cryptosporidium sp, E. coli</i>	MB074	Manicomio	<i>Giardia sp</i>
MB054	San Martin	<i>Giardia sp</i>	MB075	El Corralito	<i>Cryptosporidium sp, B. coli, E. coli, Giardia sp</i>
MB055	El Doral	<i>B. coli</i>	MB076	Corubal	<i>Giardia sp</i>
MB056	Villa Zamora	<i>Giardia sp</i>	MB077	La Cabaña	<i>E. coli</i>
MB057	Guadalajara	<i>Giardia sp</i>	MB078	Dona Ramona	<i>E. coli</i>
MB058	La Sonora	<i>E. histolytica</i>	MB079	La Granja	<i>E. coli, E. histolytica</i>
MB059	La Distracción	<i>E. coli, E. histolytica</i>	MB080	Divino Nino	<i>Giardia sp</i>

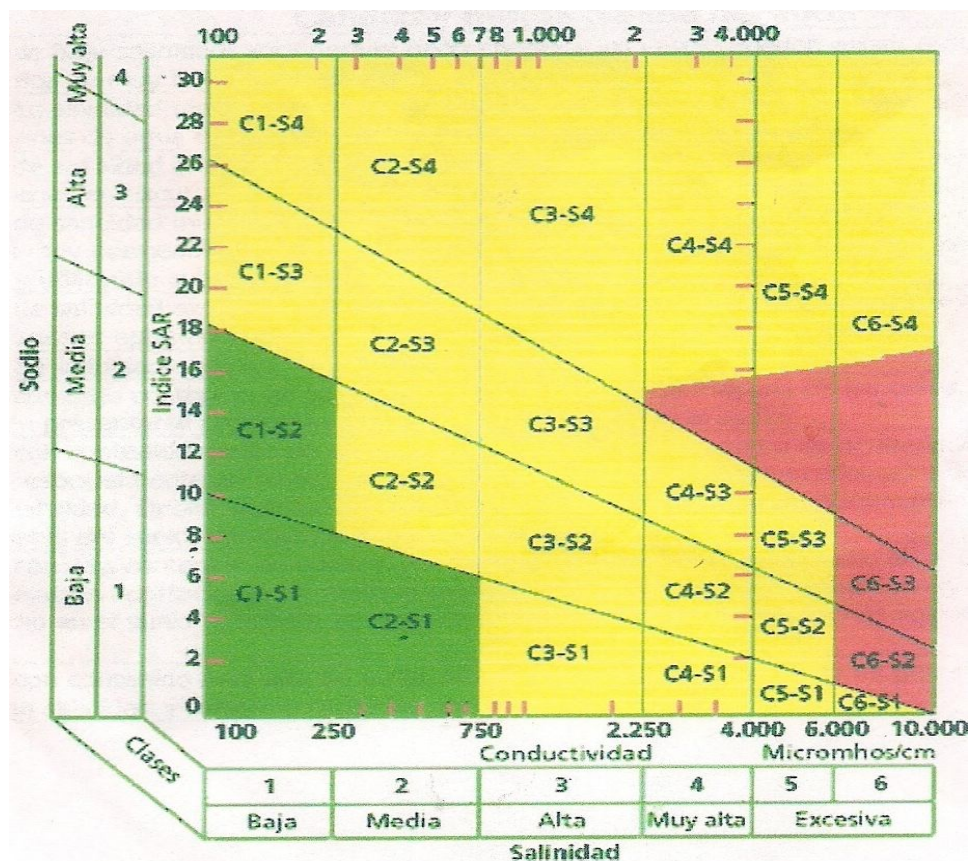
COD	NOMBRE DEL	RESULTADOS
MB081	La Esperanza	<i>Giardia sp, E. histolytica</i>
MB082	Corral Negro	<i>B. coli</i>
MB083	Barrito Colorado	<i>Giardia sp y E. coli</i>
MB084	El Progreso	<i>Cryptosporidium sp</i>
MB085	América	<i>Giardia sp y E. coli</i>
MB086	El Manantial	<i>Giardia sp</i>
MB087	La Churubita	<i>Giardia sp</i>
MB088	Tasajera	<i>E. coli</i>
MB089	Dona Rosa	<i>B. coli y Giardia sp</i>
MB090	La Colonia	<i>Giardia sp</i>
MB091	Agroverde	<i>E. coli</i>
MB092	Palmarito	<i>E. coli</i>
MB093	El Porvenir	<i>Giardia sp</i>

Anexo N. Tabla para interpretación de los tipos de agua según el RAS

TIPO	CALIDAD Y NORMA DE USO DEL AGUA
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para el riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio de sodio y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel del sodio cambiable del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo, también se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: Bastidas *et al.* 2005

Anexo O. Grafico utilizado para interpretar las Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Sanity Laboratory)



- Aguas de buena calidad aptas para el riego
- Aguas utilizadas para el riego con precaución
- Aguas no aptas para riego

Fuente: Bastidas *et al.* 2005